

Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 143

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

Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen

von

Ralf Roos
Rainer Hess
Axel Norkauer
Matthias Zimmermann

Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE)
Universität Karlsruhe (TH)

Heinz Zackor
Joachim C. Otto
Fachgebiet Verkehrstechnik (VTec)
Universität Kassel

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 143

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, Referat 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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 03.362/2003/LGB:
Empfehlungen zur Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an 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

Referat 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 3-86509-491-0

Bergisch Gladbach, August 2006

Kurzfassung – Abstract

Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen

Steigende Transportleistungen im Straßenverkehr stehen derzeit stagnierenden Investitionen in die Straßeninfrastruktur gegenüber. Aus der dadurch erhöhten Verkehrsdichte auf Bundesautobahnen folgt zwangsläufig, dass es zunehmend schwerer wird, die für Unterhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten erforderlichen Fahrstreifensperrungen vorzunehmen, ohne dabei massive Störungen im Verkehrsablauf hervorzurufen. Daher war das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens, neue Empfehlungen zur Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer im Hinblick auf eine möglichst weitgehende Staupermeidung zu geben.

Inhalt des ersten Teils ist die Erarbeitung praxiswertbarer und standardisierter Maßnahmen zur Staupermeidung für den Regelbetrieb in Autobahnmeistereien. Neben der Auswertung bereits vorhandener Forschungsergebnisse erfolgt auch ein Abgleich mit den internationalen Regelwerken zur Sicherung von Arbeitsstellen. Mit Hilfe von Feldversuchen werden die betrieblichen und verkehrlichen Auswirkungen solcher Maßnahmen erfasst und Hinweise für ihren Einsatz im Alltagsbetrieb gesammelt.

In einem zweiten Teil werden die erhobenen Verkehrsdaten aus den Feldversuchen für die Berechnung der Reisezeitverluste an Arbeitsstellen kürzerer Dauer genutzt. Über ein mikroskopisches Simulationsmodell erfolgt eine Erweiterung der Datenbasis, ohne die negativen Konsequenzen von zusätzlichen Feldversuchen in Kauf nehmen zu müssen. Anschließend dient ein makroskopisches Simulationsmodell zur Ermittlung der auftretenden Zeitverluste im Vergleich der Fälle mit und ohne Einsatz von Maßnahmen zur Staureduktion.

Der dritte und letzte Teil der Untersuchung führt die Ergebnisse zusammen und nimmt, auf der Grundlage einer Systematik zur objektiven Bewertung von Maßnahmen zur Staureduktion, eine Analyse und Beurteilung vor. Sie ist die Basis der am Schluss gegebenen organisatorischen Detail- und übergeordneten Strategieempfehlungen.

Scheduling and organization of short-term road works on German motorways

Presently growing transportation quantities of road traffic meet stagnating investments into our road infrastructure. Because of an increased traffic density resulting from these tendencies, it becomes more and more difficult to set up lane closures for operational und structural maintenance without causing massive interferences with the traffic flow. Therefore the aim of this research project is to give new recommendations for scheduling and organization of short-term road works particularly with regard to the best possible congestion prevention.

Content of the first part is the development of practical und standardized schemes for the prevention of traffic congestion applicable in the everyday work of highway surveillance centers. In addition to the evaluation of existing research results an analysis of the international regulations for work and construction sites on roads is being done. By conducting field tests on German motorways data from the implications of such schemes concerning operational needs and traffic influences is collected as well as noticeable details for a frequent application are derived.

In a second part the collected data about the traffic flow at short-term road works is taken as a basis for the calculation of the additional travel time. First the data pool is extended using a microscopic simulation model in order to avoid the negative implications of field tests. Next step – using a macroscopic simulation model – is the determination of additional travel times at road works with schemes for congestion prevention in comparison to road works without.

The combination of these results in the third and last part of the investigation lead to an evaluation and assessment of schemes for congestion prevention based on a system of objective criteria. This assessment is the basis for detailed hints concerning the organization of congestion reduction at short-term road works as well as for some superior recommendations concerning strategies of congestion prevention on network level.

Inhalt

1	Einleitung	9	3.3.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	28
			3.3.4	Regelpläne	28
2	Grundlagen	10	3.4	Großbritannien	28
2.1	Untersuchungsmethodik	10	3.4.1	Absicherung der Arbeitsstelle	28
2.2	Begriffsbestimmungen	10	3.4.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	29
2.2.1	UI-Leistungen/Tätigkeiten	10	3.4.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	29
2.2.2	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	11	3.4.4	Regelpläne	29
2.2.3	Betriebliche Kosten	11	3.5	Österreich	29
2.2.4	Beschreibung des Verkehrsablaufs	12	3.5.1	Absicherung der Arbeitsstelle	29
2.3	Technisches Regelwerk Inland	13	3.5.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	29
2.3.1	Absicherung der Arbeitsstelle	13	3.5.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	30
2.3.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	13	3.5.4	Regelpläne	30
2.3.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	14	3.6	Schweden	30
2.3.4	Regelpläne	14	3.6.1	Absicherung der Arbeitsstelle	30
2.4	Verkehrsablauf an Engpässen	14	3.6.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	30
2.4.1	Verkehrsnachfrage (Zufluss)	14	3.6.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	30
2.4.2	Kapazität im Engpass	16	3.6.4	Regelpläne	31
2.4.3	Mikroskopische Modelle für den Verkehrsablauf	16	3.7	Schweiz	31
2.4.4	Makroskopische Modelle für den Verkehrsablauf	17	3.7.1	Absicherung der Arbeitsstelle	31
2.4.5	Auswirkungen auf den Verkehrsablauf	20	3.7.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	31
2.5	Maßnahmen zur Staureduktion	20	3.7.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	32
2.5.1	Betriebliche Maßnahmen	21	3.7.4	Regelpläne	32
2.5.2	Verkehrliche Maßnahmen	22	3.8	Tschechien	32
2.5.3	Bauliche Maßnahmen	22	3.8.1	Absicherung der Arbeitsstelle	32
2.5.4	Praxis der Autobahnmeistereien	22	3.8.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	32
			3.8.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	33
			3.8.4	Regelpläne	33
3	Regelwerk Ausland	24	3.9	Vergleich der Regelwerke	33
3.1	Belgien	24	3.9.1	Aufbau der Absicherung	33
3.1.1	Absicherung der Arbeitsstelle	24	3.9.2	Absicherung der Arbeitsstelle	33
3.1.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	25	3.9.3	Geschwindigkeitsregelung	34
3.1.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	25	3.9.4	Annäherungsbereich	34
3.1.4	Regelpläne	25	3.9.5	Verkehrszeichen	34
3.2	Dänemark	25	3.10	Ableitbare Maßnahmen	34
3.2.1	Absicherung der Arbeitsstelle	26	4	Feldversuche	34
3.2.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	27	4.1	Untersuchungsrahmen	34
3.2.3	Ankündigung der Arbeitsstelle	27	4.1.1	Tätigkeiten	35
3.2.4	Regelpläne	27	4.1.2	Verkehrsführung	35
3.3	Finnland	27	4.1.3	Maßnahmen	36
3.3.1	Absicherung der Arbeitsstelle	27	4.2	Versuchsprogramm	36
3.3.2	Geschwindigkeitsbegrenzung	28	4.2.1	Auswahlverfahren	36
			4.2.2	Erforderliche Versuche	37

4.2.3	Vorhandene Versuche	37	5.3.4	Fazit für die Projektbearbeitung	59
4.2.4	Durchzuführende Versuche	38	5.4	Variation der Eingangsgrößen	60
4.3	Erhebungsmethoden	38	5.4.1	Übersicht der Simulations-	
4.3.1	Betriebliche Datenerfassung	38	versuche	60	
4.3.2	Handzählung	38	5.4.2	Eingangsparameter	60
4.3.3	Magnetfelddetektoren	39	5.4.3	Ausgabedaten	61
4.3.4	Radardetektoren	39			
4.3.5	Videoaufzeichnung	40	6	Makroskopische Simulation	61
4.4	Versuchsdurchführung	40	6.1	Zielsetzung und Vorgehen	61
4.4.1	Auswahl der Versuchsstrecken	40	6.2	Erweiterung des makroskopischen	
4.4.2	Unterschiede zur Versuchs-		Modells und Modifikation der ein-		
planung	41		gesetzten Software	62	
4.4.3	Beteiligte Autobahnmeistereien	42	6.2.1	Ausgangssituation	62
4.4.4	Durchgeführte Feldversuche	42	6.2.2	Gewähltes makroskopisches	
4.5	Auswertung (Grunddaten)	43	Simulationsmodell	63	
4.5.1	Arbeitsgeschwindigkeit und		6.2.3	Entwicklung des Programms SAB 3.0	
Sperrzeit	43		aus dem Programm QuantAS	67	
4.5.2	Personal- und Fahrzeugeinsatz	43	6.3	Aufbereitung der Eingangsdaten	68
4.5.3	Verkehrsstärke und Stau-		6.4	Justierung des makroskopischen	
entwicklung	44		Modells	68	
4.5.4	Daten zum Verkehrsablauf	44	6.4.1	Justierung des makroskopischen	
4.6	Auswertung (Arbeitsstelle)	44	Modells – Basis: Feldversuche		
4.6.1	Betriebliche Vergleiche	44	des ISE	68	
4.6.2	Beleuchtung von Arbeitsstellen	47	6.4.2	Justierung des makroskopischen	
4.6.3	Besonderheiten der Verkehrs-		Modells – Erweiterte Datenbasis:		
führung	48		mikroskopische Simulationen	69	
4.7	Betrieblicher Mehraufwand	48	6.5	Simulation der Maßnahmen	70
4.7.1	Zusammensetzung der Kosten	48	6.5.1	Zielsetzungen	70
4.7.2	Stückkosten	49	6.5.2	Variation der Eingangsgrößen	70
4.7.3	Mehraufwand nach Maßnahme	50	6.5.3	Relevanz der Konstellationen im	
			Autobahnnetz	71	
			6.5.4	Referenzfall (Maßnahme D 6)	71
			6.5.5	Maßnahmenfälle	71
5	Mikroskopische Simulation	51	6.6	Volkswirtschaftlicher Nutzen	73
5.1	Erweitern der Datengrundlage	51	6.6.1	Bestandteile des Nutzens	73
5.1.1	Auswahl des Simulationsmodells	51	6.6.2	Reisezeitverluste	74
5.1.2	Eingangsparameter des Modells	52	6.6.3	Monetarisierung	74
5.1.3	Ausgabedaten des Modells	53	6.6.4	Nutzen der Maßnahmen	74
5.1.4	Kalibrieren des Modells	53	6.6.5	Ergebnis als gewichteter Nutzen	75
5.2	Nachbildung der Feldversuche	55			
5.2.1	Auswahl der Feldversuche	55	7	Analyse und Bewertung	77
5.2.2	Modellierung der Realität	55	7.1	Arbeits- und Personalrecht	77
5.2.3	Justieren des Modells	56	7.2	Sicherheit und Gesundheit	77
5.2.4	Ergebnisse	56	7.2.1	Verkehrssicherheit	77
5.3	Zwei-Kapazitäten-Phänomen	57	7.2.2	Arbeitsschutz	78
5.3.1	Untersuchungen aus der Literatur	57	7.2.3	Arbeitsstellen bei Dunkelheit	79
5.3.2	Ergebnisse aus Feldversuchen	58	7.2.4	Nachtarbeit	81
5.3.3	Ergebnisse aus Simulations-				
versuchen	59				

7.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	81
7.3.1	Potenzial der einzelnen Maßnahmen	82
7.3.2	Nutzen für ein Beispielnetz	82
7.3.3	Folgerungen für den Einsatz	83
8	Empfehlungen für die Praxis	84
8.1	Anwenden von Maßnahmen	84
8.2	Hinweise zur Umsetzung	85
8.2.1	Arbeitsorganisation	85
8.2.2	Arbeitsstellenplanung	85
8.2.3	Arbeiten bei Dunkelheit	85
8.2.4	Arbeiten in Ferienzeiten	86
8.2.5	Kooperation von Meistereien	87
8.2.6	Absicherung mit Verschwenkung	87
8.2.7	Streckenseitige Voraussetzungen	87
8.2.8	Information der Verkehrsteilnehmer	88
8.3	Vorschläge für die RSA	88
8.3.1	Absichern von Nacharbeiten	88
8.3.2	Absichern mit Verschwenkung	88
8.3.3	Leitende Beschilderung	88
9	Ausblick	95
10	Literatur	96

1 Einleitung

Eine stetige Zunahme der Fahrleistungen bei gleichzeitig sinkenden Investitionen in Neu- und Ausbaumaßnahmen führt auf deutschen Autobahnen zu einer steigenden Verkehrsdichte. Zwischen 1975 und 2002 hat sich die Gesamtfahrleistung im Personenverkehr verdoppelt und im Schwerlastverkehr nahezu verdreifacht (BMVBW; 2003; Teil B2). Dabei ist die tatsächliche Verkehrsbelastung in der Vergangenheit immer stärker gestiegen, als es in den Prognosen erwartet wurde. Insbesondere die Lage Deutschlands in der Mitte Europas, das durch die Osterweiterung der Europäischen Union zu einem gemeinsamen Wirtschaftsraum zusammenwächst, wird diese Entwicklung weiter verstärken. Bei der Bemessung von Straßen wird derzeit eine jährliche Zunahme des Schwerlastverkehrs von 3 % angenommen (RStO; 2001). Obwohl die Streckenlänge der Autobahnen im deutschen Straßennetz bezogen auf alle Straßen des überörtlichen Verkehrs nur 5 % ausmacht (BMVBW; 2003; Teil B1), werden auf Autobahnen über 30 % der Fahrleistungen des gesamten deutschen Straßennetzes abgewickelt. Es ist also davon auszugehen, dass die Verkehrsdichte auf deutschen Autobahnen in Zukunft weiter erheblich anwachsen wird.

Gleichzeitig führt der Anstieg der Verkehrsleistungen im Straßengüterverkehr um fast 40 % in den letzten zehn Jahren (BMVBW; 2003; Teil B6) nicht nur zu einer höheren Auslastung der Fahrbahnen, sondern auch zu einem gravierenden Anstieg der Beanspruchung des Bauwerks Straße und damit zu einem erhöhten Unterhaltungsbedarf. Hinzu kommt der Bedarf an Instandsetzungsmaßnahmen zur Substanzerhaltung infolge des steigenden Alters der Bundesfernstraßen, von denen 60 % älter als 20 Jahre sind (BMVBW; 2003; Teil A1) und damit inzwischen älter als die bei der Bemessung zu Grunde gelegte Lebensdauer (RStO; 1986). Eine Erhöhung der Beanspruchung der Fahrbahnkonstruktion folgt weiter aus der Steigerung der maximal zulässigen Achslasten, die in Deutschland von ehemals 10 t in den Jahren 1986 und 1990 schrittweise auf 11,5 t erhöht wurden (StVZO). Es ist zu erwarten, dass es im Rahmen der Harmonisierung der Grenzwerte für das zulässige Gesamtgewicht eines Fahrzeuges und das maximale Gewicht der Antriebsachse in der Europäischen Union in Zukunft zu einer weiteren Erhöhung kommen wird, weil in den Nachbarländern bereits höhere Grenzwerte gelten. Es liegt auf der Hand, dass Arbeiten der Instandsetzung immer dann, wenn sie die Fahr-

bahnkonstruktion betreffen, zu einer Sperrung von Fahrstreifen führen müssen.

Aus den dargelegten Tendenzen folgt zwangsläufig, dass es zunehmend schwieriger wird, die für Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen erforderlichen Fahrstreifensperrungen vorzunehmen, ohne massive Störungen im Verkehrsablauf hervorzurufen. Gleichzeitig ist es jedoch weder bei der Straßenunterhaltung noch bei Instandsetzungsmaßnahmen möglich, für die Abwicklung der erforderlichen Tätigkeiten ganz auf Eingriffe in den Verkehrsraum zu verzichten. Ein Eingriff in den Verkehrsraum bedeutet durch die Sperrung eines oder mehrerer Fahrstreifen einen Verlust an Kapazität und kann bei entsprechend großer Verkehrsnachfrage zu Stau führen. Nach einer Untersuchung von DURTH, KLOTZ und STÖCKERT (1999) war bereits vor fünf Jahren ein Viertel der Verkehrsstauungen auf deutschen Autobahnen auf Arbeitsstellen kürzerer Dauer zurückzuführen. Bis heute ist dieser Anteil vermutlich weiter angestiegen. Stauungen haben eine Reihe von negativen Auswirkungen für den Verkehrsteilnehmer, wie zum Beispiel eine Verminderung der Verkehrssicherheit und des Fahrkomforts sowie Zeitverluste. Es gibt verschiedene Verfahren, die Größe der Zeitverluste mit mikroskopischen (NORKAUER; 2004) oder makroskopischen (BECKMANN; 2002) Modellen abzuschätzen. Sind die Zeitverluste bekannt, können sie mit fahrzeugspezifischen Kennwerten quantifiziert (EWS; 1997) und aufsummiert werden. Auch wenn die Angabe eines jährlichen Gesamtbetrages Schwierigkeiten bereitet (OBER-SUNDERMEIER, OTTO, ZACKOR; 2003), steht außer Zweifel, dass der volkswirtschaftliche Schaden immens ist.

Am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) wurde im Auftrag der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg in den letzten Jahren eine Reihe von Untersuchungen (NORKAUER, 2002; und HESS, NORKAUER; 2003) zu den Möglichkeiten einer Begrenzung von Behinderungen im Verkehrsablauf an Arbeitsstellen der betrieblichen und baulichen Erhaltung von Straßen durchgeführt. Aus diesen bisherigen Untersuchungen verschiedener Maßnahmen zur Vermeidung beziehungsweise Verringerung von Stauungen geht hervor, dass bei einer volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise mit sehr hohen Nutzen/Kosten-Verhältnissen zu rechnen ist. Daher ist ein einheitliches und transparentes Vorgehen zur Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer dringend erforderlich. Neben

der Unterstützung für den Entscheidungsträger bei der volkswirtschaftlichen Optimierung sollte ein solches System auch die Weitergabe von Informationen an die Nutzer der Infrastruktureinrichtung Straße ermöglichen.

Mit der vorliegenden Untersuchung werden die verschiedenen Maßnahmen zur Staureduktion systematisiert, ihre betrieblichen und verkehrlichen Auswirkungen ermittelt und Empfehlungen für die Praxis erarbeitet. Mit der beispielhaften Quantifizierung des zu erwartenden Nutzens wird die Grundlage für einen Diskussionsprozess über die Deckung der erforderlichen Mehrausgaben für den Straßenbaulastträger gelegt.

2 Grundlagen

2.1 Untersuchungsmethodik

Aufbauend auf der theoretischen Betrachtung der bekannten und der denkbaren Maßnahmen ist im ersten Schritt ein Programm für Feldversuche zu erstellen, dessen Umfang eine Sicherstellung der Aussagekraft späterer Analysen erlaubt. Auf der Basis der in den Feldversuchen erhobenen Daten erfolgt eine Erweiterung der verkehrlichen Datengrundlage mit Hilfe von mikroskopischen und darauf aufbauenden makroskopischen Simulationsversuchen. Auf diesem Wege soll eine Variation

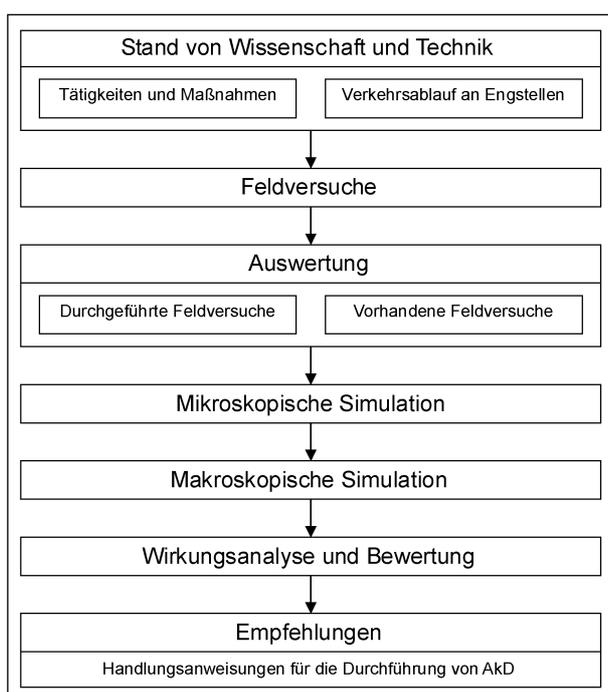


Bild 1: Untersuchungsmethodik

verschiedener Parameter ohne wiederholte Eingriffe in das Verkehrsgeschehen in Form von Feldversuchen möglich werden. Im letzten Schritt sind die erhobenen betrieblichen sowie in Simulationen ermittelten verkehrlichen Auswirkungen der untersuchten Maßnahmen unter Berücksichtigung weiterer Aspekte zu analysieren und schließlich zu bewerten. Das Vorgehen mündet in die Erarbeitung von Empfehlungen für die Praxis.

2.2 Begriffsbestimmungen

Nach deutschem Recht ist der Straßenbaulastträger verpflichtet, die Verkehrssicherheit zu gewährleisten.¹ Aus dieser Verpflichtung resultiert die Notwendigkeit, eine regelmäßige betriebliche und bauliche Straßenunterhaltung durchzuführen. Durch diesen so genannten Betriebsdienst sind nach den Regeln der Technik fest- und fortgeschriebene Standards für den Zustand der Straße und ihres Umfeldes aufrechtzuerhalten.

2.2.1 UI-Leistungen/Tätigkeiten

Unter betrieblicher Unterhaltung und Wartung werden „laufende Reinigungs- und Pflegearbeiten ... sowie Winterdienst“ (FGSV; 2003; Seite 29) verstanden. Zur betrieblichen Unterhaltung zählen Arbeiten der Kontrolle und Wartung sowie Reinigung und Pflege der Fahrbahn, der Entwässerungseinrichtungen und der angrenzenden Vegetation. Unter baulicher Unter- und Instandhaltung werden „Maßnahmen kleineren Umfangs zur Substanzerhaltung von Verkehrsflächen, die mit geringem Aufwand unverzüglich nach dem Auftreten eines örtlich begrenzten Schadens ... ausgeführt werden“ (FGSV; 2003; Seite 22), verstanden. Solche Maßnahmen werden auch mit dem Begriff Instandsetzung bezeichnet und beinhalten darüber hinaus auch Arbeiten zur „Verbesserung von Oberflächeneigenschaften von Verkehrsflächen, die auf zusammenhängenden Flächen in der Regel in Fahrstreifenbreite ... (Asphaltbauweise) beziehungsweise über die volle Plattenbreite (Betonbauweise) ausgeführt werden“ (FGSV; 2003; Seite 80). Im Rahmen der Unterhaltung (U) und Instandhaltung (I) sind sehr unterschiedliche Leistungen zu erbrin-

¹ Diese Pflicht ergibt sich aus dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) §§ 823 und 839 in Verbindung mit dem Grundgesetz (GG) Artikel 34 in Anwendung auf das öffentliche Eigentum Verkehrsweg.

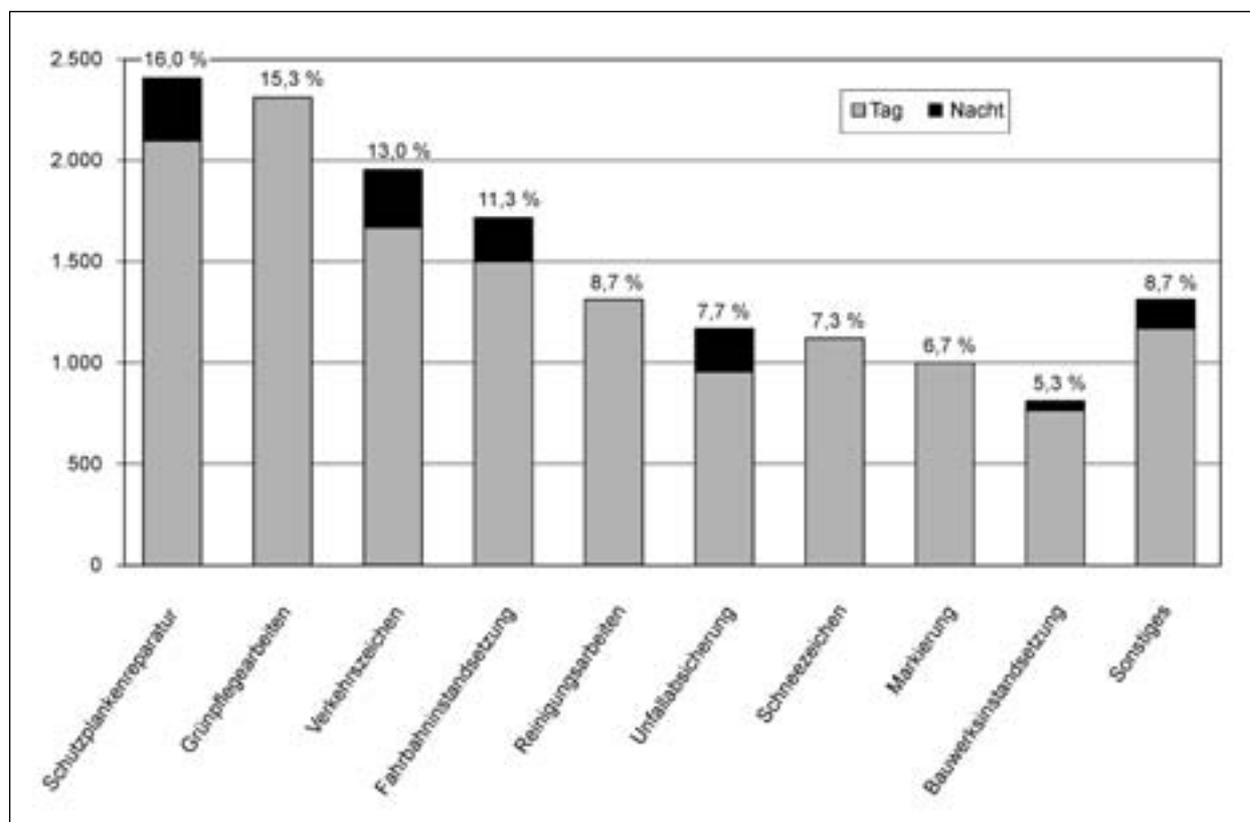


Bild 2: Tätigkeiten in AkD (aus WOLTERECK; 2001)

gen. Die im Rahmen der UI-Leistungen anfallenden Arbeiten lassen sich nach Tätigkeiten weiter untergliedern, wobei unter Tätigkeit im Folgenden die Summe aller durchzuführenden Teilarbeiten für das Erledigen einer Aufgabe verstanden werden soll. Aufgrund saisonaler und regionaler Unterschiede können die Anteile bestimmter Tätigkeiten an der Gesamtarbeitsleistung variieren. Die grundsätzlich in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auftretenden Tätigkeiten sind für Bayern und das Jahr 1999 in Bild 2 aufgeführt. Grundlage ist eine Veröffentlichung von WOLTERECK (2001).

Bei der weiteren Betrachtung wird neben der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Tätigkeiten auch deren Charakteristik bezüglich Planbarkeit und Dauer des einzelnen Einsatzes berücksichtigt.

2.2.2 Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Ist ein Eingriff in den Verkehrsraum im Rahmen des Betriebsdienstes nicht vermeidbar, so kommt es zur Einrichtung einer Arbeitsstelle. Unter einer Arbeitsstelle wird im deutschen Regelwerk eine Stelle verstanden, an der „Verkehrsflächen vorübergehend für Arbeiten abgesperrt werden“ (RSA; 1995; Teil A 1.1 Satz (1)). Hierbei wird die Art der Arbeit

als „Arbeiten an der Straße selbst, Arbeiten neben oder über der Straße, Arbeiten an Leitungen in oder über der Straße sowie Vermessungsarbeiten“ (RSA; 1995; Teil A 1.1 Satz (1)) eingegrenzt. Somit beinhaltet die Definition auch Tätigkeiten der Bauwerkserhaltung, die von der Fahrbahn aus durchgeführt werden müssen. Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) im Sinne der RSA sind „alle Arbeitsstellen, die nur über eine begrenzte Stundenzahl, in der Regel während der Tageshelligkeit eines Kalendertages, bestehen, auch wenn die Arbeiten an den folgenden Tagen fortgesetzt werden“ (RSA; 1995; Teil A 1.1 Satz (5)). Hierzu zählen kurzzeitig stationär eingerichtete Baustellen, bewegliche Arbeitsstellen sowie Vermessungsarbeiten. Als Arbeitsstellen längerer Dauer werden demzufolge Arbeitsstellen verstanden, die mindestens einen Kalendertag durchgehend und ortsfest aufrechterhalten werden. Tätigkeiten des Betriebsdienstes erfordern, sofern sie mit einem Eingriff in den Verkehrsraum verbunden sind, in aller Regel Arbeitsstellen kürzerer Dauer.

2.2.3 Betriebliche Kosten

Unter betrieblichen Kosten werden alle Kosten verstanden, die auf der Seite des Straßenbaulastträ-

gers als verantwortlichem Organ im Zusammenhang mit der Erfüllung seiner Aufgaben entstehen. In einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zu Maßnahmen zur Staureduktion sind für die betrieblichen Mehrkosten einheitliche Annahmen erforderlich. Die Kostensätze für Personal und Fahrzeuge variieren von Bundesland zu Bundesland insbesondere deshalb, weil Teile der Arbeiten über Rahmenverträge an private Unternehmer vergeben sind. Bei einer späteren Diskussion wird zu berücksichtigen sein, dass sich geänderte Anforderungen an die agierenden Firmen mittelfristig auf die Preise für eine angebotene Tätigkeit niederschlagen können.

2.2.4 Beschreibung des Verkehrsablaufs

Die Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke, der Verkehrsdichte und der mittleren Geschwindigkeit erfolgt im Fundamentaldiagramm. Unter Verkehrsstärke wird die „Anzahl der Verkehrselemente eines Verkehrsstromes je Zeiteinheit an einem Querschnitt“ (FGSV; 2000; S. 37) verstanden. Es handelt sich folglich um eine zeitliche Betrachtung, die analog auch wegbezogen erfolgen kann. In diesem Fall bezeichnet der Begriff Verkehrsdichte die „Anzahl der Verkehrselemente eines Verkehrsstromes je Wegeinheit zu einem Zeitpunkt“ (FGSV; 2000; S. 34). In beiden Fällen wird die Verkehrsmenge innerhalb eines Intervalls (Zeit/Weg) einer Dimension beschrieben, während das Intervall in der jeweils anderen Dimension (Weg/Zeit) infinitesimal klein zu wählen ist. Für verschiedene Rahmenbedingungen wie zum Beispiel unterschiedliche Strecken bilden sich die Zusammenhänge zwar quantitativ leicht verschoben, aber qualitativ vergleichbar heraus. Die Berechnung einer Größe aus den beiden anderen ist dann zulässig, wenn die Verhältnisse innerhalb der betrachteten Intervalle als stationär zu bezeichnen sind – auf diesen Nachweis wird allerdings meist verzichtet.

Für die Untersuchung der verkehrlichen Auswirkungen von Arbeitsstellen ist darüber hinaus die Kapazität eines Verkehrsstroms von besonderer Bedeutung. Es handelt sich dabei um die „größte Verkehrsstärke, die ein Verkehrsstrom bei gegebenen Weg- und Verkehrsbedingungen an dem für ihn bestimmten Querschnitt erreichen kann“ (FGSV; 2000; S. 36). Hier hat es einen Wandel in der Begrifflichkeit gegeben: In der Ausgabe von 1989 der zitierten Quelle wird diese Definition für den Begriff Leistungsfähigkeit eingesetzt.

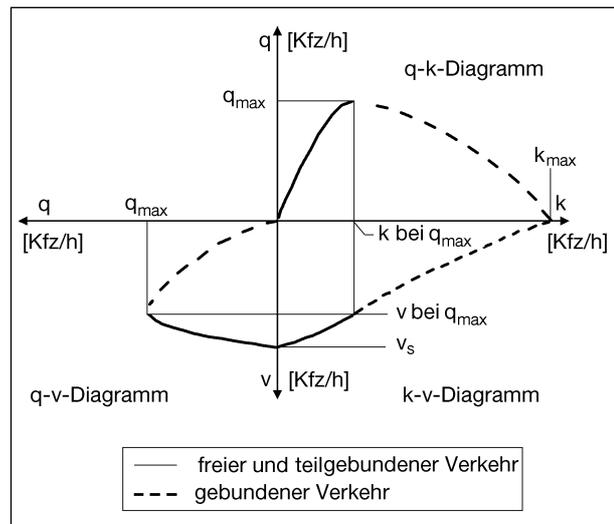


Bild 3: Schematisches Fundamentaldiagramm (BRILON; 2003; S. 15)

Wird die Kapazität eines Engpasses von der Verkehrsnachfrage überschritten, so werden Behinderungen im Verkehrsablauf beobachtet. RESSEL (1994) beschreibt das verkehrstechnische Phänomen des Verkehrsstaus im Hinblick auf den Verkehrsablauf an Baustellen qualitativ als eine „Verkehrssituation, in der – aufgrund des eingegengten Fahrbahnquerschnittes – die reduzierte Leistungsfähigkeit des Baustellenengpasses geringer als die gegenwärtig nachgefragte Verkehrsstärke ist und dadurch die Gesamtheit der Fahrzeuge im Annäherungsbereich der Baustelle und über einen längeren Zeitraum in ihrer freien Geschwindigkeitswahl derart beeinträchtigt wird, dass mehrere Fahrzeuge hintereinander wiederholt anhalten müssen“ (RESSEL; 1994; S. 17). Der Arbeitskreis Pulk- und Staubildung der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) empfahl eine aus verkehrstechnischer Sicht ebenfalls qualitative Definition, die sich in drei Stufen gliedert (BREITENSTEIN et al. 1980):

- Stau 'im engeren Sinne' ist dann gegeben, wenn in einem Verkehrsstrom mehrere Fahrzeuge hintereinander verkehrsbedingt zum Halt kommen.
- Stau 'im weiteren Sinne' liegt dann vor, wenn die mittlere Geschwindigkeit v_m während eines Zeitintervalls im gestauten Streckenabschnitt unter 30 km/h fällt.
- Stau im 'weitesten Sinne' definiert den instabilen Verkehrsfluss, bei dem sich Stop-and-Go-Wellen ausbilden und die mittlere Geschwindigkeit v_m infolge der hohen Verkehrsdichte deut-

lich unter derjenigen Geschwindigkeit v_{opt} liegt, bei der die größtmögliche Verkehrsstärke Q_{max} abgeführt werden kann.

2.3 Technisches Regelwerk Inland

Wie aus den vorgestellten Begriffsbestimmungen zu Arbeitsstellen kürzerer Dauer (vgl. Kapitel 2.2.2) zu erkennen ist, werden die Bedingungen und Formen der Absicherung im deutschen Regelwerk durch die Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) vorgeschrieben. Im Einzelnen werden die Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) auf Autobahnen im Teil D 3 behandelt. Im Kommentar zu diesem Regelwerk heißt es bezüglich AkD auf Autobahnen: „[Sie] sind besonders unfallträchtig, da im Allgemeinen wegen des Aufwandes und/oder der erforderlichen Beweglichkeit nur mit wenigen Elementen vorgewarnt werden kann“ (SCHÖNBORN, SCHULTE; 1995; S. 282). Besondere Schwierigkeiten bereiten Arbeitsstellen auf dem linken Fahrstreifen infolge der Probleme im Zusammenhang mit der Vorwarnung auf der linken Seite einer Richtungsfahrbahn. Im Hinblick auf die zeitliche Koordination von Arbeitsstellen sind darüber hinaus die Richtlinien für die Planung und Durchführung von Bauarbeiten an Betriebsstrecken der Bundesautobahnen (BMV; 1996; und BMVBW; 2001) zu beachten.

2.3.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Die Absicherung der Arbeitsstelle selbst erfolgt durch eine fahrbare Absperrtafel mit Blinkpfeil (Z 616; RSA; 1995), zu der ein Sicherheitsabstand von 50 m zu halten ist. Wird die Absperrtafel ohne Zugfahrzeug abgestellt, ist dieser Abstand auf 100 m zu erhöhen. Es wird davon ausgegangen, dass beim Aufprall eines Fahrzeuges auf die Absperrtafel dieser Schutzraum in der Regel ausreicht, um der Absperrtafel Bewegungsraum und dem auf der Fahrbahn tätigen Personal Zeit zur Flucht zu lassen. Werden mehrere Fahrstreifen gesperrt, so erfolgt ein gestaffelter Einzug mit vorgegebenem Abstand zwischen den einzelnen Absperrtafeln. Bei temporär ortsfesten AkD und wenn Sicherheit und Verkehrsstärke dies erfordern, wird eine Abgrenzung der Arbeitsstelle zum fließenden Verkehr durch zusätzliche Leitkegel mit einer Höhe von 750 mm (Z 610-42; RSA; 1995) als sinnvoll angesehen und im Text der Richtlinie ausdrücklich erwähnt. Unabhängig von der Lage einer Arbeitsstelle im Querschnitt „darf der Verkehr an Arbeitsstellen von

kürzerer Dauer nur an einer Seite vorbeigeführt werden“ (RSA; 1995; Teil D 3 Satz (13)).

Ausnahmeregelungen gelten sowohl für Anschlussstellen, Autobahnknoten und Arbeitsstellen auf dem Standstreifen als auch für mobile Arbeitsstellen mit Geschwindigkeiten zwischen 5 und 60 km/h. In letzterem Fall darf das Arbeitsfahrzeug die Absperrtafel selbst ziehen. Bei Arbeitsstellen auf dem Standstreifen ist dies ebenso zulässig wie auch die ausschließliche Benutzung von Arbeitsfahrzeugen „mit verbesserter Sicherheitskennzeichnung gemäß [RSA, Teil] A 7.1“ (RSA; 1995; Teil D 3 Satz (7)).

Auf Nachtarbeit ist aus Sicherheitsgründen im Regelfall zu verzichten (RSA; 1995; Teil D 3 Satz (17)). Wenn Arbeitsstellen bei Dunkelheit trotzdem erforderlich werden, sind zusätzliche Maßnahmen in Anlehnung an die Regelungen für Arbeitsstellen längerer Dauer zu ergreifen. Entwicklungen, die sich aus der Notwendigkeit der Stauvermeidung im Zusammenhang mit der stark gestiegenen Verkehrsnachfrage ergeben haben, sind in den RSA – Stand 1995 – noch nicht berücksichtigt und bei Bedarf durch Landesbestimmungen geregelt (zum Beispiel Regelpläne des Landes Baden-Württemberg für Nachtbaustellen in UVM; 2002). Durch die vorliegende Untersuchung werden diesbezüglich Erkenntnisse der Länder und aktuelle Untersuchungsergebnisse zusammengeführt.

2.3.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Zum Schutz der in der Arbeitsstelle beschäftigten Personen ist eine maximal zulässige Geschwindigkeit von 120 km/h in jedem Fall vorgeschrieben. In Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten ist eine Ausweisung einer niedrigeren Geschwindigkeit von bis zu 60 km/h zulässig, diese Reduzierung soll aber durch den Aufbau so genannter Geschwindigkeitstrichter stufenweise erfolgen. Eine Geschwindigkeitsbegrenzung „kann nur mit entsprechender Beschilderung erfolgen, da die fahrbaren Absperrtafeln (Z 616; RSA; 1995) nicht zu den internationalen Verkehrszeichen zählen und damit für Ausländer nicht automatisch mit einem solchen Verhalten verbunden wären“. Ist in dem betroffenen Bereich vor Einrichten der Arbeitsstelle eine höhere Geschwindigkeit zulässig als während der Arbeiten, so muss zusätzlich in angemessenem Abstand eine Vorwarnung durch gesonderte Verkehrszeichen die Arbeitsstelle ankündigen.

2.3.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Eine Ankündigung der Arbeitsstelle – auch als Vorwarnung bezeichnet – ist immer dann erforderlich, wenn die zulässige Geschwindigkeit sonst höher liegt als die während des Bestehens der Arbeitsstelle vorgesehene oder wenn schlechte Sichtverhältnisse ein rechtzeitiges Erkennen der Arbeitsstelle erschweren. Dabei ist es unerheblich, ob die schlechten Sichtverhältnisse Folge der topografischen Randbedingungen oder der Witterungsverhältnisse sind.

Eine Vorwarnung besteht aus Verkehrszeichen, die eine Arbeitsstelle ankündigen, und gegebenenfalls solchen, die auf eine Fahrstreifenreduktion aufmerksam machen. Die Vorwarntafel mit der Anzeige der zu erwartenden Verkehrsführung wird – so weit möglich – auf dem Standstreifen mitgeführt. Treten in letzterem Fall in Verbindung mit einem hohen Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil), der sich auch durch eine starke Belegung des Hauptfahrstreifens auswirkt, Probleme mit der Sicht auf die Vorwarntafel auf, so ist eine Unterstützung durch am Mittelstreifen aufgestellte Warnwinkbaken (Z 605-50 und Z 605-51; RSA; 1995) oder kleine Blinkpfeile (Bild A-6; RSA; 1995) erforderlich. Ist eine Vorwarnung am Mittelstreifen auch mit diesen Verkehrszeichen nicht möglich, so muss eine zweite fahrbare Absperrtafel einen zusätzlichen Schutz der Arbeitsstelle bieten.

2.3.4 Regelpläne

Für die Kombination der einzelnen Verkehrszeichen und die vorgeschriebenen Abstände zwischen den Stufen der Vorwarnung und Geschwindigkeitsbeschränkung enthalten die RSA Regelpläne. Dabei werden die Lage der Arbeitsstelle und die örtlichen Randbedingungen im Hinblick auf die Sichtweite durch verschiedene Varianten berücksichtigt. Im Anhang D III der RSA sind diese Regelpläne für die Absicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer zusammengestellt. Eine systematische Aufstellung der auf zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen möglichen Fälle enthält die Bild 4.

In den Regelplänen D III/4 für zweistreifige und D III/6 für dreistreifige Richtungsfahrbahnen ist bereits die Maßnahme Standstreifenmitbenutzung eingearbeitet, die im Verlauf der vorliegenden Untersuchung noch einmal hinsichtlich der tatsächlich erreichbaren Kapazitäten betrachtet wird.

Zweistreifige Richtungsfahrbahn mit/ohne Standstreifen		Dreistreifige Richtungsfahrbahn			
		Regelfall mit Standstreifen		Ummarkiert ohne Standstreifen	
	stationär beweglich Standstreifenmitbenutzung		stationär beweglich		stationär beweglich
	stationär beweglich		stationär Standstreifenmitbenutzung		stationär
	stationär beweglich		stationär		stationär
	stationär beweglich		stationär beweglich		stationär beweglich
	stationär beweglich		stationär beweglich		

Bild 4: Systematik der Verkehrsführung (in Anlehnung an DURTH, KLOTZ, STÖCKERT; 1999)

2.4 Verkehrsablauf an Engpässen

2.4.1 Verkehrsnachfrage (Zufluss)

Die Verkehrsnachfrage, das heißt die Anzahl von Fahrzeugen, die innerhalb eines bestimmten Zeitabschnitts einen Straßenquerschnitt durchfahren möchten, ist im Wesentlichen abhängig von den Einzelentscheidungen der Fahrzeugführer. Daneben kann die Nachfrage durch überlastete Zuflussbereiche und Stauungen oberhalb des betrachteten Straßenquerschnitts maßgeblich verringert sein.

Von außen betrachtet stellen sich die Verkehrsnachfrage und ihr Verlauf als teilweise stochastisch, teilweise deterministisch bestimmtes Ereignis dar. Eine modellhafte Beschreibung und Prognose der Verkehrsnachfrage sind mit Hilfe von Nachfrageganglinien möglich. Grundsätzlich kann bei der Ermittlung der Verkehrsnachfrage zwischen verschiedenen Kategorien unterschieden werden:

- Modellierung der Verkehrsnachfrage unter Einbeziehung aktueller Verkehrsdaten (zeitliche Auflösung in der Regel 1 Minute bis zu 1 Stunde),
- Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis historischer Daten (zeitliche Auflösung in der Regel ≥ 1 Stunde),
- Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis von typisierten Ganglinien, die aus aggregierten

gierten historischen Daten abgeleitet wurden (zeitliche Auflösung in der Regel ≥ 1 Stunde).

Modellierung der Verkehrsnachfrage unter Einbeziehung aktueller Verkehrsdaten

Grundlage einer Kurzzeitprognose mit aktuellen Verkehrsdaten sind Basisganglinien, welche die historischen, relativen Verkehrsstärken repräsentieren. Diese berechneten Ganglinien werden mit aktuellen Messwerten verglichen, die Differenz zwischen den Messwerten und den Ganglinien analysiert und eine überlagerte Ganglinie als Erwartungswert der Verkehrsstärke berechnet.

Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis historischer Daten

Eine weitere Möglichkeit zur Prognose der Verkehrsnachfrage auf einem bestimmten Streckenabschnitt ist die Verwendung von in Datenbanken (Verkehrsrchnerzentralen) archivierten historischen Ganglinien. Dieses Verfahren wird beispielsweise im Rahmen der Stauprognose an Autobahnbaustellen beim Landschaftsverband Westfalen-Lippe² angewendet. Aufgrund der relativ hohen Ausstattungsrate des Autobahnnetzes mit Erfassungseinrichtungen liegen dort für nahezu jeden Streckenabschnitt archivierte Ganglinien der Verkehrsstärke der letzten Tage und Wochen vor. Bei der Erstellung der Stauprognose wird dann beispielsweise auf die Ganglinie desselben Wochentages der vorangegangenen Woche zurückgegriffen. Dies setzt voraus, dass außergewöhnliche externe Einflüsse, wie z. B. Feiertage, Ferien und Großveranstaltungen, ausgeschlossen werden können.

Modellierung der Verkehrsnachfrage auf der Basis typisierter Ganglinien

Historische Ganglinien von verschiedenen Streckenabschnitten mit ähnlicher Charakteristik können zu typisierten Ganglinien zusammengefasst werden. Erstmals wurde das Verfahren der Typisierung von Verkehrsstärkeganglinien mittels der Clusteranalyse 1982 von HEIDEMANN und WIMBER durchgeführt (HEIDEMANN et al.; 1982). Die periodischen Schwankungen der Streckenbelas-

tung wurden dabei – basierend auf Verkehrsdaten des Normalzeitbereichs – für das gesamte Bundesautobahnnetz auf drei verschiedenen Ebenen dargestellt.

Die untere Ebene wird durch die Tagesganglinien der stündlichen Verkehrsstärken beschrieben. Dabei wird zwischen den Tagesgruppen

- Montag,
- Dienstag bis Donnerstag,
- Freitag,
- Samstag und
- Sonn- und Feiertage

unterschieden. Die mittlere Ebene bilden Wochenanglinien der täglichen Verkehrsstärken und die obere Ebene Jahresganglinien der wöchentlichen Verkehrsstärken.

Da sich durch die Veränderung der Charakteristik der Verkehrsnachfrage in den letzten Jahren immer weniger Dauerzählstellen im deutschen Autobahnnetz einem der von HEIDEMANN und WIMBER (1982) entwickelten Ganglinientypen zuordnen ließen, wurden von PINKOFSKY (2003) neue Ganglinientypen veröffentlicht, die auf der Analyse der Daten aus dem Normalzeitbereich der Jahre 1997 und 1998 beruhen und die mit den Daten der Jahre 1999 und 2000 validiert wurden. Im Unterschied zu den alten Ganglinientypen differenziert PINKOFSKY (2003) die einzelnen Tagesganglinien einer Tagesgruppe nach der genauen zeitlichen Lage der Spitzenstunde. Auf diese Weise splittet sich ein Tagesganglinientyp in bis zu elf weitere Typen auf.

Auch die (wochenbezogenen) Jahresganglinien werden bei PINKOFSKY (2003) differenzierter dargestellt: Neben den Angaben über die Charakteristik der Verkehrsnachfrage in Ferienzeiten wird auch die zeitliche Lage der Ferienwochen zu Ferienhauptgruppen zusammengefasst.

Mit Hilfe der typisierten Ganglinien und des DTV-Wertes ist es möglich, Ganglinien für jeden Tag des Jahres zu berechnen. Unberücksichtigt bleiben in diesem Fall jedoch Faktoren wie z. B. Großveranstaltungen etc., die einen starken Einfluss auf die Verkehrsnachfrage haben.

Da bei der Erstellung der typisierten Ganglinien Verkehrsstärkewerte unterschiedlicher Tage und unterschiedlicher Zählstellen zusammengefasst werden, repräsentiert der resultierende Ganglinien-

² Der Bereich Straßenbau ist heute in den Landesbetrieb Straßen NRW integriert.

typ letztendlich einen Mittelwert aus einer mehr oder weniger heterogenen Grundgesamtheit. Bei der Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen an einem Arbeitsstellenengpass hat die Verwendung dieses Mittelwertes unter Umständen zur Folge, dass die tatsächliche Staubildung systematisch unterschätzt wird. Um den stochastischen Charakter der Nachfrage nachzubilden, kann daher bei der Modellierung eine stochastische Komponente eingeführt werden.

Dabei werden die einzelnen Stundenwerte $q_0(i)$ mit Hilfe einer Normalverteilung um den jeweiligen Erwartungswert $q_0(i)$ gestreut. Die Eigenschaften der Normalverteilung werden durch den Variationskoeffizienten V festgelegt:

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1)$$

mit: V Variationskoeffizient

σ Standardabweichung

μ Mittelwert (hier: Erwartungswert der stündlichen Verkehrsstärke)

Auf diese Weise können Verkehrsnachfragewerte prognostiziert werden, die in ihrer Charakteristik real gemessenen Werten sehr ähnlich sind. Werden sie im Rahmen von Verkehrssimulationen eingesetzt, treten in den Ergebnissen jedoch ebenfalls zufällig bedingte Schwankungen auf. Diese können nur durch mehrmalige Wiederholung der Berechnung eingegrenzt werden.

2.4.2 Kapazität im Engpass

Die Kapazität eines Streckenabschnitts allgemein und eines Engpasses im Besonderen weist grundsätzlich – ebenso wie die Nachfrage – deterministische wie stochastische Komponenten auf. Zur Schätzung ihrer Größe im Fall Arbeitsstellenengpass existieren bereits umfangreiche Untersuchungen. An dieser Stelle sei auf die Arbeit „Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen“ (BECKMANN et al.; 2001) verwiesen, in der die wesentlichen Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen z. B. von RESSEL (1994) und STÖCKERT (2001) zusammengefasst sind.

Von BECKMANN (2001) wurde das folgende Grundmodell zur Kapazitätsprognose entwickelt und auf dieser Basis mit Zahlen hinterlegt: Einem

Grundkapazität 1.830 Pkw-E/h/Fahstreifen	Reduktionsfaktor
Allgemein	
Lage des Streckenabschnitts außerhalb von Ballungsräumen	0,95
Urlaubsverkehr	0,9
Widrige Witterungsbedingungen	0,85 - 0,95
Arbeitsaktivität in der Baustelle	0,95
Schwerverkehrsanteil (E = Äquivalenzwert)	$\frac{1}{(1 - SVA + SVA \cdot E)}$
Reduktion eines benachbarten Fahstreifens	0,95
Dauerbaustelle	
Überleitung auf die Gegenfahrbahn	0,90 - 0,95
Geringe Fahstreifenbreite	0,95
Tagesbaustelle	
Einfache Ausstattung (generell)	0,95
Verschwenkung von Fahstreifen	0,9

Tab. 1: Übersicht über Reduktionsfaktoren für die Ermittlung der Kapazität von Baustellenengpässen

Querschnitt wird eine Grundkapazität zugeordnet. Je nachdem, ob gewisse Zustände im Umfeld eingetroffen sind, wird diese Kapazität durch Reduktionsfaktoren multiplikativ abgemindert (Tabelle 1). Dabei treten im Modell deutliche Kapazitätseinschränkungen auf, sofern mehrere verkehrsbeeinflussende Zustände zugleich auftreten.

In diesem Modell wird bisher vorausgesetzt, dass die Angabe eines einzigen Wertes für die Kapazität des Engpasses möglich und zulässig ist. Eine Unterscheidung der Verkehrszustände hinsichtlich des Fehlens oder Auftretens von Stauerscheinungen erfolgt nicht.

Bei LISTL et al. (2004) wird das Modell um den so genannten ‚Capacity Drop‘ erweitert. Damit ist eine Reduktion der Kapazität beim Auftreten von Stauungen gemeint. Sie dauert an bis zur völligen Wiederherstellung des ungestörten Verkehrsflusses. Die Kapazitätsverminderung wird von LISTL et al. (2004) mit 5 % angenommen.

2.4.3 Mikroskopische Modelle für den Verkehrsablauf

Eine Nachbildung des Verkehrsablaufs in Verkehrsmodellen kann sowohl mikroskopisch als auch makroskopisch erfolgen. Die mikroskopischen Simulationsmodelle beschreiben das Fahrverhalten von Einzelfahrzeugen im Fahrzeugstrom unter Berücksichtigung von äußeren Einflüssen und der Wechselwirkungen mit den anderen Fahrzeugen.

Am weitesten entwickelt ist die Gruppe der Fahrzeugfolgemodelle, die in den Anfängen einen zur Geschwindigkeit proportionalen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug annehmen (REUSCHEL; 1950) und später durch Sensitivitätsfaktoren (GAZIS et al.; 1961) ergänzt werden. Der Ansatz der Modelle beruht auf der Tatsache, dass der Kraftfahrer sein Verhalten von dem Verhalten des ihm unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs abhängig macht, indem er durch Brems- und Beschleunigungsvorgänge zu jedem Zeitpunkt den ihm notwendig erscheinenden Sicherheitsabstand einzuhalten versucht. Eine wesentliche Erweiterung gelingt mit dem psycho-physischen Abstandsmodell, das davon ausgeht, dass der Fahrer Geschwindigkeitsdifferenzen in Abhängigkeit vom Abstand erst ab gewissen Schwellenwerten wahrnehmen kann (MICHAELS; 1963/TODOSIEV; 1963/WIEDEMANN; 1974). Mit der Berücksichtigung des Spurwechselverhaltens (WILLMANN; 1978; SPARMANN; 1978) wird das Interaktionsmodell vervollständigt.

Neuere Ansätze bilden das fuzzy-logic-basierte Fahrzeugfolgmodell von REKERSBRINK (1994) sowie die mikroskopische Verkehrssimulation mit Zellularautomaten (SCHRECKENBERG et al.; 1992 und 1998). In letzterem Ansatz wird ein Fahrstreifen in gleich große Zellen unterteilt, deren Länge aus dem durchschnittlichen Platzbedarf eines Fahrzeugs im Stau abgeleitet wird. Eine solche Zelle kann zwei Zustände annehmen: frei von Fahrzeugen und mit einem Fahrzeug besetzt.

Mikroskopische Verkehrsablaufmodelle bieten aufgrund der vielfältigen Parameter und der damit verbundenen Eichungsmöglichkeiten sehr gute Voraussetzungen für die Anpassung an spezielle Randbedingungen auf einem Streckenabschnitt.

2.4.4 Makroskopische Modelle für den Verkehrsablauf

Im Gegensatz zu den mikroskopischen Modellen bilden makroskopische Modelle den Verkehrsablauf nicht auf fahrzeugfeiner Ebene, sondern mit Hilfe von kollektiven Variablen (Verkehrsstärke, Verkehrsdichte, Geschwindigkeit) ab, die für einen bestimmten Verkehrszustand das mittlere Verhalten der gesamten Fahrzeuggruppe beschreiben. Unter dem Oberbegriff der makroskopischen Modelle werden zahlreiche unterschiedliche Ansätze zusammengefasst, von denen einige im Folgenden vorgestellt werden sollen.

Deterministisches Warteschlangenmodell

Bei den deterministischen Warteschlangenmodellen werden konstante Verkehrszustände für definierte Zeiträume angenommen, sodass wegen der Vernachlässigung des stochastischen Charakters des Verkehrsablaufs Stauungen erst auftreten, wenn die Zuflussrate $q(t)$ [Fz/Zeit] größer als die Servicerate $s(t)$ (Kapazität eines Streckenabschnittes) ist. Durch die zeitliche und räumliche Diskretisierung des gestauten Verkehrsablaufs lässt sich die Stauentwicklung in einem einfachen mathematischen Modell abbilden.

Die Warteschlange am Ende einer Stunde $M_{S,E}(T_S)$ berechnet sich zunächst zu:

$$\begin{aligned} M_{S,E}(T_S) &= M_{S,E}(T_{S-1}) + (q(T_S) - C_B) \\ &= \sum_{S=1}^n (q(T_S) - C_B) \end{aligned} \quad (2)$$

Mit:	$M_{S,E}$	Warteschlange am Ende einer Stunde [Kfz]
	q	nachgefragte Verkehrsstärke [Kfz/h]
	C_B	Verkehrsstärke im Abfluss (Kapazität des Engpasses) [Kfz/h]
	T_S, T_{S-1}	(volle) Staustunde

Dementsprechend ergibt sich die mittlere Warteschlange \bar{M}_S einer Stunde zu:

$$\bar{M}_S(T_S) = M_{S,E}(T_{S-1}) + \frac{1}{2}(q(T_S) - C_B) \quad (3)$$

Diese Gleichung gilt für den Fall, dass der Stau während der gesamten Staustunde auftritt. Wird der Stau innerhalb der Stunde aufgelöst, berechnet sich die mittlere Warteschlange folgendermaßen:

$$\bar{M}_S(T_{S,E}) = M_{S,E}(T_{S,E-1}) \cdot \frac{t_{S,E}}{2} = \frac{M_{S,E}(T_{S,E-1})^2}{[(q(T_{S,E}) - C_B) \cdot 2]} \quad (4)$$

Mit:	M_S	mittlere Warteschlange der Kraftfahrzeuge [Kfz]
	$T_{S,E}$	Stunde, in der der Stau aufgelöst wird
	$t_{S,E}$	Zeitpunkt des Stauendes

Basierend auf der mittleren Anzahl der vor dem Engpass wartenden Fahrzeuge können nun die Wartezeit am Ende einer Stautunde und die mittlere Wartezeit pro Fahrzeug für die jeweilige Stautunde berechnet werden:

$$t_W(T_S) = \frac{M_{S,E}(T_S)}{C_B} \quad (5)$$

$$\bar{t}_W(T_S) = \frac{\bar{M}_S(T_S)}{C_B} \quad (6)$$

Mit: t_W Wartezeit pro Fahrzeug am Ende einer Stautunde

\bar{t}_W mittlere Wartezeit pro Fahrzeug

Weiterhin ergibt sich die Gesamtwartezeit aller vom Stau betroffenen Fahrzeuge aus der Summe der mittleren Warteschlangen über die gesamte Staudauer zu:

$$T_W = \sum_{\Sigma t_S} \bar{M}_S = \sum_{\Sigma t_S} (\bar{t}_W \cdot q) \quad (7)$$

Mit: T_W Gesamtwartezeit aller Kraftfahrzeuge im Stau [Kfz·h]

Σt_S Staudauer [h]

Um weiterhin Aussagen über die wegbezogenen mittleren und maximalen Rückstaulängen in den jeweiligen Stautunden treffen zu können, werden die Fahrzeugschlangen je Stunde durch die Verkehrsdichte im Stau dividiert. Die Verkehrsdichte im Stau ist eine Größe, die sich nicht aus dem hier beschriebenen Verfahren ableiten lässt, sodass daher Erfahrungswerte herangezogen werden müssen.

$$\bar{L}_S(T_S) = \frac{\bar{M}_S(T_S)}{k} \quad (8)$$

$$\bar{L}_{\max}(T_S) = \frac{M_{S,A}(T_{S+1})}{k} \quad (9)$$

Mit: L_S mittlere Rückstaulänge [km]

L_{\max} maximale Rückstaulänge [km]

k Verkehrsdichte im Stau [Kfz/km]

Das deterministische Warteschlangenmodell erweist sich im Hinblick auf eine praktische Anwendung als recht einfach und übersichtlich (RESSEL; 1994). Mittels weniger Rechenschritte kann das

Ausmaß einer Überlastung an einem Engpass in Form von Zeitverlusten geschätzt werden. Verwendet man als zusätzlichen Parameter die Verkehrsdichte im Stau, können indirekt auch Rückschlüsse auf die Staulänge gezogen werden.

Theorie der Dichtestoßwellen

Bei diesen makroskopischen Modellen wird der Verkehrsablauf mit Hilfe der kollektiven Variablen Verkehrsstärke q , Verkehrsdichte k und mittlere momentane Geschwindigkeit v abgebildet. Der Zusammenhang zwischen diesen Größen wird im Allgemeinen im Fundamentaldiagramm dargestellt. Dabei gilt die Zustandsgleichung:

$$q = v \cdot k \quad (10)$$

Jeder Punkt im Fundamentaldiagramm repräsentiert einen bestimmten Verkehrszustand auf einem Streckenabschnitt. Bei freier Wahl von k und v wären alle Verkehrszustände möglich. Es besteht jedoch (wie bereits bei den mikroskopischen Modellen festgestellt) eine stochastische Abhängigkeit zwischen Verkehrsdichte und Geschwindigkeit $v = v(k)$.

Die zugehörige Geschwindigkeit bei einer gegen null tendierenden Dichte entspricht der Wunschgeschwindigkeit. Eine Ausnahme bildet der Fall einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf dem betrachteten Streckenabschnitt. In diesem Fall richtet sich die Geschwindigkeit auch bei niedrigen Dichten im Grundsatz nach der vorgeschriebenen Geschwindigkeit.

Bei Erreichen der maximalen Verkehrsdichte kommt der Verkehr zum Erliegen.

In der Literatur sind zahlreiche Untersuchungen zur Bestimmung der Zusammenhänge $v = v(k)$ angeführt. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Bestimmung von q_{\max} sowie der Verkehrsparameter im Übergangsbereich vom stabilen zum instabilen Bereich zu.

Theorie der Dichtestoßwellen nach LIDTHILL/WITHAM

Tritt innerhalb eines Streckenabschnittes ein Stau auf, kann man nicht mehr von einem stationären Verkehrsfluss ausgehen. LIDTHILL und WITHAM übertrugen dazu die Kontinuumtheorie (Betrachtung der Bewegungen als kontinuierliches Fließgeschehen) auf den Verkehrsfluss und entwickelten

die Kontinuitätsgleichung des Verkehrs (LIGHTHILL et al.; 1955). Sie entspricht der aus der Physik bekannten allgemeinen Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial k(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial q(x,t)}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

Durch die Verbindung der Kontinuitätsgleichung mit dem spezifischen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Verkehrsdichte $q = q(k)$ ergibt sich ein Modell, mit dem Veränderungen der (als Mittelwerte behandelten) Größen q und k in der Raum-Zeit-Dimension analysiert werden können. Insbesondere die Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Störungen im Verkehrsfluss sind Gegenstand dieser Theorie. Es lassen sich damit Konturlinien oder – nach Lighthill/Witham – kinematische Wellen von Übergängen zwischen zwei Dichtebereichen mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit c berechnen. Der Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit v und Wellengeschwindigkeit c lautet:

$$c = v + k \frac{dv}{dk} \quad (12)$$

Da die Fahrzeuggeschwindigkeit mit zunehmender Dichte abnimmt, gilt grundsätzlich $c < v$. Das bedeutet, dass die Wellen relativ zum Fahrzeugstrom stromaufwärts wandern. Wird $q > q_{\max}$, wird c negativ und die Wellen breiten sich auch in Bezug auf einen festen Querschnitt stromaufwärts aus. Läuft eine Welle geringer Dichte und daraus folgend hoher Geschwindigkeit auf eine Welle mit hoher Dichte und niedriger Geschwindigkeit auf, ergeben sich an deren Schnittpunkt Diskontinuitäten. Nach der Kontinuumtheorie wandern diese mit der Geschwindigkeit u im Fahrzeugstrom mit. Kennzeichnen q_1 und k_1 den Zustand vor der Stoßwelle und q_2 und k_2 die Situation dahinter, so ist $q_1 - u \cdot k_1$ die Rate der herausfahrenden Fahrzeuge und $q_2 - u \cdot k_2$ die Ankunftsrate an der Stoßwelle.

Die Stoßwellengeschwindigkeit ergibt sich dann zu:

$$u = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (13)$$

Übertragen auf das Fundamentaldiagramm entspricht dies einer Sekante an der q - k -Kurve mit der Neigung u .

Modellierung der Stauentwicklung an einem Engpass nach ZACKOR

Der Zusammenhang nach letztgenannter Gleichung liegt auch einem von ZACKOR (1976) entwickelten Modell zur Nachbildung der Stauentwicklung an einem Engpass zu Grunde. In dem hier beschriebenen Ansatz wird vereinfachend davon ausgegangen, dass eine Staubildung erst eintritt, wenn die mittlere zufließende Verkehrsstärke die Kapazität eines Streckenabschnittes überschreitet – es handelt sich somit um eine deterministische Betrachtungsweise.

Der Zustand Stau ist im Modell dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität des Engpasses zwar geringer als die des stromaufwärts liegenden Streckenabschnittes ist, aber in jedem Fall voll ausgenutzt wird. Die Verkehrsstärke im Stau entspricht somit der reduzierten Kapazität des Engpasses. Innerhalb des Staus herrscht ein instabiler Verkehrsfluss, gekennzeichnet durch kurzfristige Schwankungen zwischen stehender Kolonne und Stauauflösung. Im Mittel ist dieser Stau durch eine hohe Verkehrsdichte k_{Stau} und eine geringe Geschwindigkeit v_{Stau} charakterisiert, wobei Streuungen dieser beiden Größen vernachlässigt werden. Dies führt dazu, dass der Zustand Stau in diesem Modell als einzelner Punkt im Fundamentaldiagramm abgebildet wird.

Um also den Verkehrsablauf und damit auch die Staubildung an einem Engpass nachbilden zu können, muss das makroskopische Modell in zwei Teilbereiche aufgeteilt werden:

Der erste – stabile – Bereich beschreibt den Verkehrsablauf auf dem vom Engpass bzw. – bei vor-

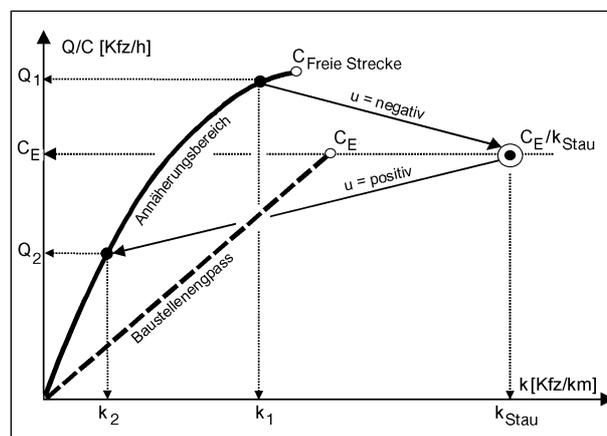


Bild 5: Nachbildung der Stauentwicklung an einem Engpass

handenem Stau – dem Stauende stromaufwärts gelagerten Streckenabschnitt mit:

- v_f Wunschgeschwindigkeit (Geschwindigkeit bei Verkehrsstärke gegen null)
- C_F Kapazität des freien Streckenabschnittes
- v_{opt} Geschwindigkeit bei maximaler Verkehrsstärke

$$u_1 = \frac{Q_2 - C_E}{k_1 - k_{Stau}} \rightarrow \text{negativ} \rightarrow \text{Stauaufbau}$$

$$u_2 = \frac{Q_2 - C_E}{k_2 - k_{Stau}} \rightarrow \text{positiv} \rightarrow \text{Stauabbau}$$

$$v(q) = \frac{v_0}{1 + \frac{v_0}{L_0 \cdot (C_0 - q)}} \quad (14)$$

Mit: $v(q)$ Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke [km/h]

q Verkehrsstärke [Kfz/h]

v_0, L_0, C_0 Modellparameter (siehe HBS; 2001); FGSV; 2001)

Der zweite (instabile) Bereich des Fundamentaldia-gramms beschreibt den Verkehrsablauf bei Stau vor dem Engpass mit:

C_E Kapazität des Engpasses

k_{Stau} durchschnittliche Dichte im Stau vor dem Engpass

v_{Stau} durchschnittliche Geschwindigkeit im Stau

Die Kenngrößen, die den Staubereich beschreiben, müssen entsprechend der vorgegebenen Streckencharakteristik, der Verkehrszusammensetzung und den sonstigen Randbedingungen angesetzt werden. Abgeleitet aus der Stoßwellengeschwindigkeit $u = \Delta q / \Delta k$ ergibt sich dann die Staulänge L_S zum Zeitpunkt t_i

$$\begin{aligned} L_S(t_i) &= -\frac{\Delta q(t_i)}{\Delta k(t_i)} \cdot (t_i - t_{i-1}) + L_S(t_{i-1}) \\ &= -\frac{q(t_i) - C_E}{k(t_i) - k_{Stau}} \cdot (t_i - t_{i-1}) + L_S(t_{i-1}) \end{aligned} \quad (15)$$

Mit: $t_{i...n}$ Zeitpunkt innerhalb der Stauzeit

$L_S(t_i)$ Staulänge [km]

$q(t_i)$ Zuflussverkehrsstärke (innerhalb des Intervalls $(t_i - t_{i-1})$ konstant) [Kfz/h]

$k(t_i)$ Verkehrsdichte im ungestörten Zufluss [Kfz/km]

C_E Kapazität des Engpasses [Kfz/h]

Die Verlustzeit eines Fahrzeugs, das zum Zeitpunkt t_i in den Stau hineinfährt, ergibt sich anschließend zu:

$$t_{W,Stau}(t_i) = L_S(t_i) \cdot \left(\frac{1}{v_{Stau}} - \frac{1}{v(t_i)} \right) \quad (16)$$

Mit: $t_{W,Stau}(t_i)$ Verlustzeit [h]

$v(t_i)$ Geschwindigkeit im ungestörten zufluss [km/h]

Zusätzlich kann die Verlustzeit $t_{W,E}$ berechnet werden, die aus der im Vergleich zur ungestörten Strecke geringeren Geschwindigkeit v_E im Engpassbereich (z. B. Arbeitsstelle) resultiert:

$$t_{W,E}(t_i) = L_E \cdot \left(\frac{1}{v_E} - \frac{1}{v(t_i)} \right) \quad (17)$$

2.4.5 Auswirkungen auf den Verkehrsablauf

Sofern Störungen im Verkehrsablauf auftreten, ist mit verstärkten Brems- und Beschleunigungsvorgängen und kürzeren oder längeren Stauungen zu rechnen. Dies hat negative Auswirkungen auf die Reisezeiten, auf den Energieverbrauch und Schadstoffausstoß und führt zu erhöhten Unfallrisiken. Letzteres zeigt sich in verschiedenen Untersuchungen (GREBE, HANKE; 1991; DURTH, KLOTZ, STÖCKERT: 1999; STÖCKERT: 2001), in denen an Arbeitsstellen erhöhte Unfallkennzahlen registriert werden.

2.5 Maßnahmen zur Staureduktion

Ist beim Einrichten von Arbeitsstellen kürzerer Dauer ein Eingriff in den Verkehrsraum nicht zu vermeiden, so können Maßnahmen zur Staureduktion die Auswirkungen auf den Verkehrsablauf minimieren. Unter Maßnahmen zur Staureduktion werden betriebliche, verkehrliche und bauliche Änderun-

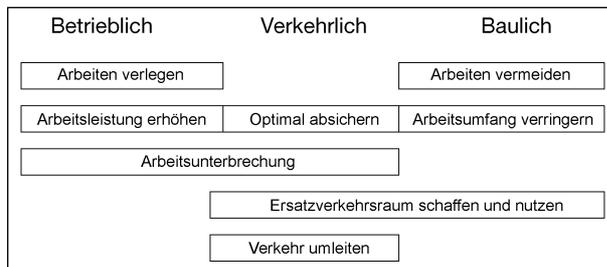


Bild 6: Arten von Maßnahmen zur Staureduktion

gen verstanden, die zu einer Verminderung von Stauerscheinungen im Zusammenhang mit dem Betriebsdienst führen. Prinzipiell steht die Bezeichnung der Veränderung für den induzierenden Einfluss, während die zu erzielende Wirkung am Ende immer verkehrlicher Natur ist. Bild 6 klassifiziert die denkbaren Arten von Maßnahmen entsprechend dieser Systematik. Für die Bewertung durch das Nutzen/Kosten-Verhältnis werden auch andere Auswirkungen berücksichtigt.

Grundsätzlich ist ein gut ausgebautes und staufrei zur Verfügung stehendes Straßennetz eine tragende Säule für das Funktionieren einer Volkswirtschaft. Aus der volkswirtschaftlichen Betrachtungsweise, die einen Schaden über die Reisezeitverluste der Verkehrsteilnehmer aufgrund von Stauungen definiert, lässt sich ein dreistufiges Vorgehen ableiten. Im Idealfall lässt sich Stau ganz vermeiden, weil eine ausreichend große Anzahl von Zeitfenstern für die planbaren Tätigkeiten zur Verfügung steht. Sind nicht genügend Zeiten verfügbar oder treten nicht planbare im Sinne von nicht aufschiebbarer Tätigkeiten auf, so sind Maßnahmen zur Verminderung von Behinderungen an der Arbeitsstelle zu ergreifen. Gegebenenfalls begleitend und für den Fall, dass ein erhebliches Maß an verkehrlichen Auswirkungen zu erwarten ist, sollten die Verkehrsteilnehmer über die Behinderungen informiert werden. Für die Akzeptanz von Arbeitsstellen ist es sicher von Vorteil, wenn die Verkehrsteilnehmer über den Zweck der Arbeiten informiert sind.

2.5.1 Betriebliche Maßnahmen

Im Gegensatz zu den baulichen Maßnahmen lassen sich betriebliche Maßnahmen kurzfristig und mit geringen Mehrkosten für die Straßenbauverwaltung umsetzen. Unter betrieblichen Maßnahmen werden solche verstanden, die durch Änderungen des Arbeitsablaufs zu einer Verminderung der verkehrlichen Auswirkungen der Arbeitsstellen führen. Anhand ihrer verkehrlichen Auswirkung las-

sen sich betriebliche Maßnahmen in zwei Gruppen einteilen: zum einen das Verlegen der Sperrzeiten und zum anderen das Verkürzen der Sperrzeiten.

Durch die Verlagerung von Arbeiten in andere, verkehrsrärmere Zeiten könnte der infolge einer Fahrstreifen-sperrung reduzierte Verkehrsraum zur Deckung der gleichzeitig geringeren Verkehrsnachfrage wieder ausreichen. Neben der Ausnutzung von Zeitfenstern tagsüber sowie in Tagesrandzeiten kann unter Umständen auf die Nacht oder Wochenenden ausgewichen werden. Bei gründlicher Prüfung der Eigenheiten von Strecken ist auch die Ausnutzung von Ferienzeiten oder im Umkehrschluss das Meiden von typischen Ferienreiserouten sinnvoll. Im Zusammenhang mit der Verlagerung von Tätigkeiten ist als besondere Problemstellung die Arbeit bei Dunkelheit zu beachten.

Ist das Einrichten einer Arbeitsstelle, die Stauungen hervorrufen wird, nicht zu vermeiden, so kann durch eine Erhöhung der Arbeitsleistung innerhalb der Arbeitsstelle der volkswirtschaftliche Schaden infolge der Verkürzung der Sperrzeiten im Gesamtsystem verringert werden. So ist die Kombination mehrerer Tätigkeiten in einer Arbeitsstelle denkbar. Sprechen Randbedingungen der Arbeitsorganisation dagegen oder lassen sich keine Tätigkeiten mit vergleichbaren Arbeitsgeschwindigkeiten finden, so könnten die gleichen Tätigkeiten in zwei mit einem Abstand aufeinander folgenden Arbeitsstellen, die in regelmäßigen Abständen umgesetzt werden, ausgeführt werden. Sofern in diesem Fall vor der zweiten Arbeitsstelle kein neuer Stau entsteht, wird auch so eine Verringerung des volkswirtschaftlichen Schadens im Gesamtsystem erzielt.

Einen Sonderfall stellt die Maßnahme Arbeitsunterbrechung dar. Hier werden die Arbeiten so organisiert, dass der Eingriff in den Verkehrsraum in bestimmten zeitlichen Intervallen mit Pausen erfolgt. Durch die Verkehrsfreigabe während der Pausen kann die Entstehung eines langen Staus, der sich später nur sehr langsam wieder abbaut, bereits im Ansatz vermieden werden. In den Pausen kann im günstigsten Fall auf bewirtschafteten und unbewirtschafteten Rastanlagen oder in der Gegenrichtung weiter gearbeitet werden. Erste Untersuchungen lassen aber vermuten, dass selbst bei unproduktivem Warten während der Pausen das Nutzen/Kosten-Verhältnis überzeugend ist.

Bei allen hier beschriebenen betrieblichen Maßnahmen fördert eine Information der Verkehrsteilnehmer die Akzeptanz. Für den einzelnen Verkehrs-

teilnehmer ist weder erkennbar, dass innerhalb einer Arbeitsstelle die doppelte Arbeitsleistung erbracht wird, noch wird der durchschnittliche Autofahrer verstehen, dass die zweite Arbeitsstelle einen Nutzen für das Gesamtsystem hat. Insbesondere Nachtbaustellen stellen derzeit noch eine Verkehrsgefährdung dar, weil sie erheblich seltener sind und von Fahrzeugführern nicht erwartet werden.

2.5.2 Verkehrliche Maßnahmen

Ebenso wie betriebliche Maßnahmen lassen sich verkehrliche Maßnahmen kurzfristig bis mittelfristig und mit geringen Mehrkosten für die Straßenbauverwaltung umsetzen. Unter verkehrlichen Maßnahmen werden solche verstanden, die durch Änderung der Verkehrsführung zu einer Erhöhung der Kapazität im Engpass an der Arbeitsstelle und dadurch zu einer Verminderung von Stauungen führen. Im ersten Schritt folgt daraus eine optimale Absicherung der Arbeitsstelle, zum Beispiel durch eine Absicherung mit Verschwenkung analog zu Arbeitsstellen längerer Dauer.

Darüber hinaus ist unter bestimmten Voraussetzungen das Angebot von Ersatzverkehrsraum möglich. Ist ein hinsichtlich seiner Geometrie und seiner Tragfähigkeit ausreichend dimensionierter Standstreifen vorhanden, so können bei Arbeitsstellen auf dem linken Fahrstreifen durch die Verschwenkung des Verkehrs zumindest die Anzahl der Fahrstreifen und dadurch annähernd auch die Kapazität erhalten bleiben.

Im Ausnahmefall ist auch eine Umleitung von Teilen oder des gesamten Verkehrs über eine Alternativroute denkbar. Muss dieser dafür die Autobahn verlassen, ist der Nutzen der Maßnahme allerdings genau zu prüfen, weil die negativen Folgen hinsichtlich Verkehrssicherheit und Umwelteinwirkung erheblich sein können.

2.5.3 Bauliche Maßnahmen

In diesem Zusammenhang sollen die baulichen Veränderungen nur kurz erwähnt werden, weil eine nachträgliche Realisierung solcher Maßnahmen in der Regel mit hohen Investitionskosten verbunden und nur mittel- bis langfristig möglich ist. Bauliche Maßnahmen folgen aus einer prozessorientierten Betrachtung des Infrastrukturelementes Straße: Werden die Entscheidungen im Entwurf und im Bau bereits unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem Betrieb getroffen, so können später Stau-

ungen infolge der entsprechenden Tätigkeiten vermindert beziehungsweise ganz vermieden werden (PFISTERER; 2002). Im Wesentlichen führt diese Betrachtungsweise auf zwei Gruppen von Maßnahmen. Zum einen solche, die den Arbeitsumfang im Verkehrsraum reduzieren. Beispiele hierfür sind das Vermeiden von Tätigkeiten (durch die Verwendung von Betonschutzwänden anstelle von Schutzplanen im Bereich des Mittelstreifens entfällt in der Regel eine Reparatur der passiven Schutzeinrichtung nach Unfällen) und das Beschleunigen von Tätigkeiten (der Verzicht auf Ablaufbuchten beschleunigt die Reinigung der Entwässerungsrinnen). Zum anderen solche Maßnahmen, die während der Durchführung der erforderlichen Tätigkeiten einen Eingriff in den Verkehrsraum vermeiden helfen. Das klassische Beispiel für die zweite Gruppe ist das Vorsehen eines sowohl hinsichtlich seiner Geometrie als auch hinsichtlich seiner Tragfähigkeit ausreichend bemessenen Standstreifens. Eine solche Erweiterung der Fahrbahn kann auch nachträglich mit vergleichsweise geringen Kosten realisiert werden. Tätigkeiten am rechten Fahrbahnrand können dann vom Standstreifen aus ohne Eingriff in den Verkehrsraum durchgeführt werden, für Tätigkeiten am linken Fahrbahnrand kann durch eine Verschwenkung des Verkehrs auf den Standstreifen unter geringem Kapazitätsverlust zumindest die Fahrstreifenanzahl aufrechterhalten werden.

2.5.4 Praxis der Autobahnmeistereien

Neben den Kostensätzen sind auch die Ressourcen der einzelnen Meistereien insbesondere dann zu berücksichtigen, wenn Tätigkeiten kombiniert oder mehrere Arbeitsstellen mit der gleichen Tätigkeit eingerichtet werden sollen. Es ist dann zu prüfen, ob eine entsprechende Anzahl von Geräten und Geräteträgern zur Verfügung steht beziehungsweise durch Kooperation mehrerer Meistereien leihweise beschafft werden kann. Ein weiterer Faktor, der durch das Verlegen von Arbeiten in andere als die üblichen Arbeitszeiten noch verstärkt wird, ist die Frage, ob eine ausreichende Anzahl von Mitarbeitern für die Tätigkeiten zur Verfügung steht. Insofern können die Ergebnisse dieser Untersuchung nicht nur als Empfehlungen für Planung und Organisation von Arbeitsstellen dienen, sondern auch als Grundlage für Diskussionen über die personelle und finanzielle Ausstattung der Autobahnmeistereien verstanden werden.

Ein Überblick über die bei Autobahnmeistereien im Inland bereits angewendeten Maßnahmen wurde

parallel zur Durchführung der Feldversuche erstellt. Er ergänzt die am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) vorhandenen Erfahrungen bezüglich aller drei Gruppen von Maßnahmen zur Staureduktion.

Verlegen von Arbeiten

In allen untersuchten Bundesländern gibt es die eine oder andere Form der gezielten Verlegung von Arbeiten in verkehrsarme Zeiten. Während in den nördlichen Bundesländern Vorgaben von Seiten der vorgesetzten Behörde existieren, die in Anlehnung an die Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen (BMV; 1996; und BMVBW; 2001) Zeiten – meist den Berufsverkehr und das Wochenende – für das Arbeiten im Verkehrsraum ausschließen, so ist die Entscheidung in den anderen Bundesländern meist der Erfahrung des Autobahnmeisters vorbehalten. In zwei Bundesländern konnten bereits zielführende DV-technische Unterstützungen beobachtet werden. In weiteren Bundesländern wurde von der geplanten Einrichtung entsprechender Systeme berichtet. Die DV-technische Unterstützung besteht in einer Bereitstellung mehr oder minder aktueller Verkehrsnachfragedaten – im Idealfall aus jedem Abschnitt zwischen zwei Anschlussstellen oder aus jeder Anschlussstelle direkt –, der dann die bei Einrichtungen einer Arbeitsstelle verbleibende Kapazität gegenüber gestellt werden kann. Aus den entstehenden Diagrammen kann dann die Gefahr einer Staubildung visuell eingeschätzt werden. Die verwendeten Zahlen für die Kapazität basieren auf der Erfahrung des Autobahnmeisters. Genannt werden 1.500 Kfz/h bei einstreifiger (RSA; 1995; Teil D 3 Satz (15)) und 2.700 Kfz/h bei zweistreifiger Verkehrsführung. Auch wenn die Anwendung in der Praxis die unterschiedlichen Kapazitäten in Abhängigkeit von Gradiente und Verkehrszusammensetzung nicht zu berücksichtigen scheint, ist diese Erweiterung ohne Änderung der Methodik möglich. Ein Bundesland hat für besonders stark belastete Autobahnabschnitte mit Unterstützung des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) streckenspezifische Zeitfenster vorgegeben, die sowohl die Gradiente der Strecke als auch die in der Vergangenheit beobachtete Verkehrszusammensetzung der Nachfrage berücksichtigen.

Nachtarbeit

Das Verlegen von Arbeiten in die Nacht wird in der Praxis durchweg mit erheblicher Skepsis betrachtet. In nahezu allen Fällen erfolgt die Begründung

dieser Skepsis mit der Sicherheit für das Personal. Weder die Arbeitsorganisation noch technische Probleme wie Beleuchtung spielen in den Gesprächen eine entscheidende Rolle. Weit verbreitet ist die Nachtarbeit im Bereich der Fahrbahninstandsetzung durch Fremdfirmen. Bei anderen Tätigkeiten erfolgt die Anwendung nur auf sehr hochbelasteten Autobahnen, bei denen auch in den Nachtstunden mit Stau zu rechnen ist. Nach der Erfahrung betroffener Meistereien wird die Nachtarbeit durch die Mitarbeiter in den Sommermonaten bevorzugt, weil dann die Temperaturen angenehmer sind. Kommt es allerdings nicht zu Behinderungen im Verkehrsablauf, fühlen sich die Mitarbeiter aufgrund der hohen Geschwindigkeiten im Arbeitsstellenbereich zusätzlich gefährdet.

Kombination von Arbeiten

Eine Kombination von Tätigkeiten in einer Arbeitsstelle erfolgt in vielen Bundesländern als Konsequenz aus naheliegenden Arbeitsabläufen. Deren gezielter Einsatz zur Verringerung der Zeiten, in denen ein Eingriff in den Verkehrsraum erforderlich ist, erfolgt nicht. Der Einsatz von zwei Arbeitsstellen konnte nur selten beobachtet werden und stößt auf organisatorische Vorbehalte – Kooperationen zwischen mehreren Autobahnmeistereien scheinen nur in den östlichen Bundesländern reibungslos abzulaufen. Darüber hinaus wird dieses Vorgehen derzeit durch die Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen (BMV; 1996; und BMVBW; 2001) untersagt.

Unterbrechen von Arbeiten

Die meisten Bundesländer kennen einen Abbruch der Arbeiten bei Staubildung. Eine gezielte Umsetzung dessen in eine betrieblich organisierte Arbeitsunterbrechung mit einer Nutzung der Unterbrechungszeiten für Arbeiten außerhalb des Verkehrsraums oder in Gegenrichtung erfolgt jedoch nur in einzelnen Meistereien eines Bundeslandes.

Standstreifenmitbenutzung

Die Standstreifenmitbenutzung ist weit verbreitet. Gefördert wird die Verbreitung sicher durch die bereits 1995 in die RSA aufgenommenen Regelpläne (D III/4 und D III/6; RSA; 1995), die eine solche vorsehen. Einige Meistereien berichten allerdings von Schwierigkeiten bei der Akzeptanz der Standstreifenmitbenutzung durch die Verkehrsteilnehmer, so-

bald der Anteil des Schwerverkehrs in der Verkehrsnachfrage zu gering ist. Diese Fragestellung wird deshalb bei den durchzuführenden Feldversuchen aufgegriffen. In vielen Meistereien wird darüber hinaus beklagt, dass ihnen diese Möglichkeit durch den Bau so genannter „Sparquerschnitte“ mit Standstreifenbreiten von zwei Metern genommen wird. Diese Standstreifenbreite verhindert nicht nur die Standstreifenmitbenutzung als Möglichkeit der Staureduktion bei Arbeiten am Mittelstreifen, sondern führt auch bei Arbeiten mit Auslegergeräten am rechten Fahrbahnrand zu der Notwendigkeit, den Hauptfahrstreifen zu sperren. Damit verliert ein Standstreifen mit verminderter Breite seinen Nutzen für die Durchführung von Tätigkeiten des Betriebsdienstes vollständig. Einen vergleichbaren Effekt bewirkt auch eine dauerhafte Umnutzung von Standstreifen. ARNOLD (2001) und MORITZ (2001) berücksichtigen zwar einen infolge der Umnutzung erhöhten Leistungsumfang und Sicherungsaufwand, gehen aber nicht auf die zusätzlich induzierten Verkehrsbehinderungen bei den tageszeitlich unbeschränkten Betriebsformen (A und B) ein.

Information der Verkehrsteilnehmer

Auf hochbelasteten Autobahnen arbeiten mehrere Bundesländer mit einer Information der Verkehrsteilnehmer bei größeren Eingriffen in den Verkehrsraum. So erfolgt eine planbare Sperrung von zwei von drei Fahrstreifen in Niedersachsen nie ohne eine begleitende Information über die Medien. Darüber hinaus arbeiten Nordrhein-Westfalen, Hessen und Bayern mit einer Ergänzung des bundesweiten Baustelleninformationssystems, die auch Arbeitsstellen kürzerer Dauer aufnimmt.

3 Regelwerk Ausland

Regelwerke für die Absicherung von Arbeitsstellen des Straßenbetriebsdienstes finden sich auch im europäischen Ausland. Während grundsätzliche Prinzipien wieder zu erkennen sind, variiert die konkrete Ausformung der Absicherung hinsichtlich zugelassener Höchstgeschwindigkeit und Abstand der Sicherungen erheblich.

3.1 Belgien

Die Absicherungen von Baustellen auf der Autobahn und auf Bundesstraßen, auf welchen die Ge-

schwindigkeit mehr als 90 km/h beträgt, sind im Regelwerk „Signalisation de chantiers et des obstacles sur la voie publique“ des „Ministère de l'Équipement et des Transports“ (2001) vorgeschrieben. Die Arbeiten werden in verschiedene Kategorien unterteilt: Maßgebend für die Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind die Kategorie 5 („Die Baustelle wird zwischen dem Hell- und dem Dunkelwerden eines Tages durchgeführt und nur so lange es möglich ist, etwa 200 m deutlich voraussehen“) und die Kategorie 6 („Die mobilen Baustellen beeinträchtigen plötzlich den Verkehrsfluss aufgrund ihrer geringen Verlagerungsgeschwindigkeit und der häufigen Zwischenstops zum Ausführen der Arbeiten“).

3.1.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Bei AkD der Kategorie 5 erfolgt die Absperrung der Arbeitsstellen grundsätzlich durch eine Absperrtafel mit Blinkpfeil und einem blauen Schild mit weißem Richtungspfeil (vergleichbar den deutschen Z 222-10 und Z 222-20; RSA; 1995), einem „Achtung Baustelle“-Schild (Zeichen A 31; vergleichbar dem deutschen Z 123; RSA; 1995). Dazu kommen noch zwei orangefarbene Warnlichter auf der Tafel. Von dieser aus muss ein Schutzraum von mindestens 100 m bis zum Anfang der AkD eingehalten werden. Der Schutzraum muss komplett freigehalten werden. Zur Einziehung des Verkehrs werden Leitbaken der Höhe 1.000 mm (Type IIa oder IIb, je nach Seite der Sperrung), die im Abstand von max. 10 m schräg über die Fahrbahn stehen, benutzt. Die Länge der Einziehungsstrecke beträgt 150 m. Entlang der AkD werden Leitkegel mit einer Höhe von 750 mm (Type IIc) im Abstand von max. 30 m aufgestellt. Der Schutzraum seitlich, also der Abstand von der Fahrbahn zur AkD, muss mindestens 0,5 m betragen.

Für Arbeiten auf dem mittleren Fahrstreifen werden der zweite und dritte Fahrstreifen gesperrt. Im Falle dieser zweistreifigen Sperrung wird die o. g. Absperrtafel auf dem zweiten Fahrstreifen platziert. Die erste Sicherungswand wird 600 m davor auf dem dritten Fahrstreifen platziert, davor stehen ebenfalls Leitbaken (Abstände und Maße s. o.). Zum Schutz vor einfahrenden Autos werden auf dem dritten Fahrstreifen zusätzlich zur Längsabsperzung Leitkegel verwendet (Abstände und Maße s. o.). Sie enden, wo die nächste Gruppe der Leitbaken auf dem zweiten Fahrstreifen beginnt. Bei der Sperrung von zwei Streifen ist eine Mitbenutzung des Standstreifens vorgesehen. Bei einer

zweistreifigen Fahrbahn können auch beide Fahrstreifen gesperrt werden. Der Verkehr wird dann komplett über den Standstreifen geführt.

Bei Sperrungen auf dem Standstreifen zeigt die Absperrtafel ein Blinkkreuz und ein blaues Schild mit weißem Richtungspfeil (s. o.). Ragen die Arbeiten in den Fahrstreifen hinein, kann der erste Fahrstreifen mitbenutzt werden, sofern der seitliche Sicherheitsabstand von 0,5 m zur AkD und eine Mindestbreite der Fahrbahn von 3,25 m gewährleistet sind. Der Richtungspfeil zeigt in diesem Fall nach unten. Die Absperrtafel wird 250 m vor der AkD auf dem Standstreifen platziert, zur Fahrbahnverengung leiten Pfeilbaken hin. Entlang der AkD stehen Leitbaken im Abstand von max. 30 m.

Bei AkD der Kategorie 6 wird das Arbeitsfahrzeug immer durch ein Schutzfahrzeug mit befestigter oder gezogener Warntafel (Beschilderung wie bei Kategorie 5) und einem befestigten Aufprallschutz begleitet. Der Abstand zwischen den Fahrzeugen beträgt 50 m. Das Arbeitsfahrzeug selbst zeigt den Richtungspfeil und das „Achtung Baustelle“-Schild. Die AkD darf nicht länger als 5 km sein, oder sie muss zwischen den Anschlussstellen zweier Autobahnkreuze liegen. Auch hier werden bei Arbeiten auf dem mittleren Fahrstreifen der zweite und der dritte Fahrstreifen gesperrt. Die Absperrwände haben dann einen Abstand von 500 m zueinander, sie stehen versetzt auf dem linken und mittleren Fahrstreifen und haben die gleiche Beschilderung. Ist die AkD stationär, werden entlang der Schutzzone und entlang der AkD Leitkegel im Abstand von 12,5 m aufgestellt. Dieser Abstand entspricht der Unterbrechung der Markierungslinie zwischen Fahrstreifen. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen zeigt die Tafel auf dem Schutzfahrzeug anstatt des Blinkpfeils ein Blinkkreuz.

3.1.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Bei AkD der Kategorie 5 ist grundsätzlich eine Geschwindigkeitsreduzierung auf 70 km/h vorgesehen. Diese kann bei geringer Beeinflussung des Verkehrs durch die AkD auf 90 km/h angehoben werden, z. B. bei einer Sperrung von nur einem Streifen oder bei Arbeiten auf dem Standstreifen.

Die Geschwindigkeitsreduzierung erfolgt durch einen Geschwindigkeitstrichter. Ist die AkD länger als 2 km, wird die Geschwindigkeitsbeschilderung in der AkD nach 1.000 m wiederholt, ansonsten nach 500 m.

Bei AkD der Kategorie 6 ist keine Geschwindigkeitsreduzierung vorgesehen. Es gilt weiter die landesweite Begrenzung auf 120 km/h.

3.1.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Bei AkD der Kategorie 5 muss es immer eine Vorwarnung geben. Diese beginnt 1.500–3.000 m vor der AkD und besteht aus einem „Achtung Stau“-Schild (vergleichbar dem deutschen Z 124; RSA; 1995), dem Zusatzschild A 51, das die Information als Text enthält, und einem orangefarbenen Warnlicht.

Auf der Strecke zwischen Vorwarnung und AkD werden die Verkehrsführung, z. B. Verengung der Fahrbahn oder Einziehen eines Fahrstreifens, sowie ein Überholverbot und die Geschwindigkeitsreduzierung angezeigt. Die gesamte Beschilderung wird beidseitig wiedergegeben. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen wird eine zusätzliche Absperrtafel auf dem Standstreifen 500 m vor der AkD platziert.

Die Vorwarnung der AkD der Kategorie 6 besteht aus einem „Achtung Baustelle“-Schild mit orangefarbenem Warnlicht. Als Zusatz wird eine Tafel mit dem Text „Chantier mobile“ („mobile Baustelle“) oder mit Angaben der Art der Arbeiten, die verrichtet werden, angebracht. Diese wird stationär und beidseitig mindestens 500 m vor Beginn der AkD aufgestellt. Hinzu kommt eine Warntafel, die eine eventuelle Verkehrsführung angibt, sofern es möglich ist, diese 500 m vor der Arbeitskolonne auf dem Standstreifen mitzuführen. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen ist keine Vorwarnung vorgeschrieben.

3.1.4 Regelpläne

Die Regelpläne mit genauen Abstandsangaben sowie der kompletten Beschilderung einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer sind in „Signalisation des chantiers et des obstacles sur la voie publique“ des „Ministère de l'Équipement et des Transports“ enthalten. Sie enthalten zusätzlich eine Aufstellung der benötigten Verkehrszeichen zur Realisierung der Absicherung.

3.2 Dänemark

Die Absicherungen für Arbeitsstellen auf der Autobahn sind zusammengefasst in „Afmærkning af vejarbejder“ des „Vejdirektoratet“ (2002).

3.2.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Die Absperrung von Arbeitsstellen auf dem Standstreifen erfolgt durch eine fahrbare Absperrtafel mit blinkendem Kreuz und eventuell einem blauen Schild mit weißem Richtungspfeil (vergleichbar dem deutschen Z 222-10 und Z 222-20; RSA; 1995). Diese kann vor dem Arbeitsfahrzeug abgestellt werden oder direkt am Arbeitsfahrzeug befestigt werden beziehungsweise von diesem gezogen werden. Die Fahrzeuge müssen mit einem orangefarbenen Rundumlicht ausgestattet sein. Falls die Tafel am Fahrzeug befestigt ist, wird der Richtungspfeil nicht benötigt. Steht die Absperrtafel hinter dem Arbeitsfahrzeug, beträgt die Länge des Schutzraumes 100 m. Bewegt sich die AkD nicht weiter, werden Leitpfosten (N 44 „Markierungskegler“; Bild 7) im Abstand von 15 m zueinander entlang der Arbeitsstelle als zusätzlicher Schutz aufgestellt.

Bei Sperrung des ersten oder der ersten beiden Fahrstreifen kann entweder mit oder ohne Verschwenkung gearbeitet werden. Die Absperrung erfolgt durch eine entsprechende Anzahl von Absperrwänden mit angebrachtem Aufprallschutz oder einem rot-weißen Aufprallschutz (Bild 8) im Abstand von 200 m vor der Arbeitsstelle.

Wird ohne Verschwenkung gearbeitet, stehen zur Einziehung des Verkehrs (bei zwei Fahrstreifen) zwei Schutzfahrzeuge versetzt auf dem ersten Fahrstreifen;

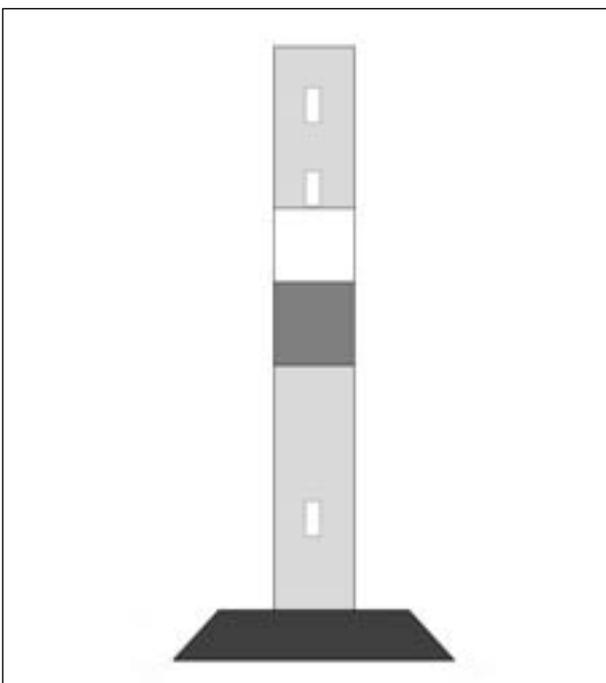


Bild 7: Leitpfosten in Dänemark

fen; diese sind mit einem Aufprallschutz, einem Blinkkreuz, einer Geschwindigkeitsbegrenzung und einem blauen Schild mit weißem Richtungspfeil versehen. Der Schutzabstand ab der letzten Wand zur AkD beträgt in allen Fällen, in denen kein separater Aufprallschutz eingesetzt wird, 60 m. Zur Absperrung des Standstreifens wird ein zusätzliches Fahrzeug mit fahrbarer Leittafel eingesetzt. Diese zeigt eine Geschwindigkeitsreduzierung und die Verkehrsführung an. Wird mit Verschwenkung gearbeitet, gibt es die Möglichkeit, alle Warn- und Gebotsschilder auf fahrbaren Tafeln auf dem Standstreifen anzuzeigen. Dann werden fahrbare Absperrwände mit Aufprallschutz zur Verschwenkung eingesetzt oder es werden alle Warn- und Gebotsschilder einzeln platziert, dann jedoch beidseitig. In diesem Fall werden zur Verschwenkung Leitpfosten (Bild 7) eingesetzt und zum Schutz der AkD ein Aufprallschutz (Bild 8) aufgestellt. Zur Absperrung des Standstreifens wird eine Querbake (Typ 045; ähnlich der deutschen Absperrschranke Z 600; RSA; 1995) benutzt. Vor der Absperrtafel auf dem linken Fahrstreifen werden zum Einziehen des Verkehrs Leitbaken mit blinkenden Warnlichtern (N42,2 „Kantafmaerkningsplader“) im Abstand von 10 m zueinander eingesetzt, die schräg über die Fahrbahn stehen. Eine Verschwenkung von zwei Fahrstreifen wird bei dreistreifiger Richtungsfahrbahn und der Sperrung des ersten Fahrstreifens nicht angewendet. Im Falle der Sperrung der ersten beiden Fahrstreifen werden keine beweglichen Warn- und Gebotsschilder angewendet, sondern fahrbare Absperrwände benutzt. Sie leiten den Verkehr des dritten und zweiten Fahrstreifens auf den ersten Fahrstreifen, welcher danach mit Hilfe von Leitbaken mit Blinkleuchten zurück auf den linken Fahrstreifen geleitet wird (ent-



Bild 8: Aufprallschutz für AkD in Dänemark

lang der AkD dann Leitpfosten!). Zum Schutz der AkD stehen je ein Aufprallschutz auf den ersten beiden Fahrstreifen sowie eine Querbake auf dem Standstreifen.

Die Absperrung des linken oder der linken beiden Fahrstreifen erfolgt durch eine fahrbare Absperrwand mit Aufprallschutz auf dem zweiten oder zweiten und dritten Fahrstreifen, der Schutzabstand beträgt 60 m. Dann sind Warn- und Gebotsschilder auf Tafelwagen auf dem Standstreifen zu platzieren. Erfolgt die Absperrung durch eine Absperrtafel und einen Aufprallschutz dahinter, so sind die Warn- und Gebotsschilder beidseitig aufzustellen. Der Abstand der Absperrtafel zur AkD beträgt dann mindestens 200 m. Entlang der AkD sind Leitpfosten (N44) aufzustellen. Bei Arbeiten im Mittelstreifen kann es der Fall sein, dass der linke Fahrstreifen der Gegenfahrbahn ebenfalls gesperrt wird. Die Beschilderung erfolgt dann analog. Die Absperrung des dritten Fahrstreifens bei insgesamt drei Fahrstreifen erfolgt wie die Absperrung auf dem ersten Fahrstreifen bei rechtsseitiger Sperrung mit Warntafeln auf dem Standstreifen, jedoch kommt eine zusätzliche Warntafel mit der gleichen Beschilderung auf dem Standstreifen hinzu und die Querbake wird nicht benötigt. Bei einer Sperrung der linken beiden Fahrstreifen von insgesamt drei Fahrstreifen werden alle Warn- und Gebotsschilder beidseitig platziert. Es erfolgt eine Einziehung des dritten und dann zweiten Fahrstreifens auf den ersten Fahrstreifen, eine Mitbenutzung des Standstreifens ist nicht vorgesehen. Die Einziehung beziehungsweise Absperrung erfolgt analog derer zur Einziehung der linken beiden Fahrstreifen bei einer AkD auf den ersten beiden Fahrstreifen, allerdings mit Aufprallschutz hinter den Absperrwänden.

3.2.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

In der Regel ist in der AkD die zulässige Geschwindigkeit von 70 km/h einzuhalten. Die Geschwindigkeitsreduzierung von der landesweit zulässigen Höchstgeschwindigkeit 110 auf 70 km/h erfolgt mit Hilfe eines Geschwindigkeitstrichters. Im Falle einer Verschwenkung wird im Verschwenkungsbereich die Geschwindigkeit bis auf 50 km/h reduziert, im Bereich der AkD jedoch wieder auf 70 km/h angehoben.

3.2.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Im Falle einer Arbeitsstelle auf dem Standstreifen wird ohne Vorwarnung gearbeitet. Bei allen ande-

ren Formen der Arbeitsstellen wird sie benötigt. Eine Vorwarnung zeigt ein „Vorsicht Baustelle“-Schild (ähnlich dem deutschen Z 123; RSA; 1995) mit Blinklicht. Die Länge vom Anfang der AkD bis zum Ende muss darauf vermerkt sein. In manchen Fällen wird bis zu 5 km vor der AkD ein „Achtung Stau“-Schild (Typ A20; ähnlich dem deutschen Z 124; RSA; 2004), jedoch mit gelbem Hintergrund und Abstandsangabe eingesetzt, was den eigentlichen Vorwarner jedoch nicht ersetzt.

3.2.4 Regelpläne

Regelpläne für die vollständige Beschilderung mit Längenangaben sind in der „Afmaerkning af vejarbejder“ vollständig enthalten. Darin wird auch eine Absicherung mit Verschwenkung dargestellt.

3.3 Finnland

Die Absicherungen für Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind im Regelwerk „Liikenteen Ohjaus, Liikenne tietyömaalla“ des finnischen „Tielaitos“ (1998) aufgeführt.

3.3.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Die Absperrung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer erfolgt durch fahrbare Absperrwände, die einen weißen Richtungspfeil auf blauem Hintergrund zeigen. Bei einer Sperrung des rechten Fahrstreifens wird mit Verschwenkung gearbeitet, wobei der linke Fahrstreifen auf einer Strecke von etwa 400 m mit Hilfe von Leitkegeln (Bild 9) eingezogen wird. Am Ende der Hinführungsstrecke zur AkD wird die erste Absperrwand auf dem linken Fahrstreifen



Bild 9: Leitkegel in Finnland

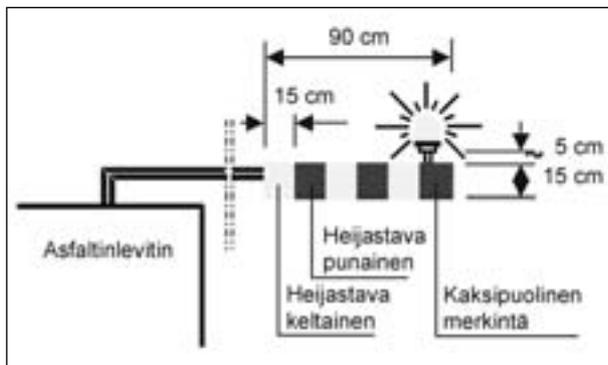


Bild 10: Leitschranke in Finnland

platziert. Zur Weiterführung des Verkehrs werden ebenfalls Leitkegel eingesetzt, die den Verkehr nach der AkD auch wieder auf die wieder zweistreifige Fahrbahn zurückleiten. Die zweite Absperrwand steht auf dem rechten Fahrstreifen zum direkten Schutz der Arbeitsstelle. Ein seitlicher Sicherheitsabstand von 1,5 m und eine Restbreite der Fahrbahn, die an der AkD vorbeiführt, von 3,25 m müssen gewährleistet sein.

Bei Sperrung des linken Fahrstreifens ist eine Standstreifenmitbenutzung vorgesehen. Die Wände stehen in diesem Fall auf gleicher Höhe am Standstreifen und am Mittelstreifen, um die Verkehrsführung anzuzeigen. In deren Mitte wird ein zusätzliches Schild (welches in Deutschland nicht zulässig ist) mit einem Doppelpfeil auf blauem Hintergrund platziert, das den Verkehr zusätzlich in die zwei neuen Fahrstreifen leitet. Die weitere Verkehrsführung erfolgt wieder mit Hilfe von Leitkegeln. Die neu angezeigten Fahrstreifen haben eine Mindestbreite von jeweils 3,5 m. Direkt nach der AkD wird eine Art Schranke mit einer Warnleuchte befestigt (Bild 10), die in der Absperrung das Ende der AkD signalisieren soll.

3.3.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Im Allgemeinen wird die Geschwindigkeit von sonst 120 km/h auf 50 km/h in der AkD reduziert. Die Reduzierung erfolgt durch einen Geschwindigkeitstrichter.

3.3.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Die Arbeitsstelle wird durch ein Schild „Baustelle“ (ähnlich dem deutschen Z 123; RSA; 1995) und die erste Geschwindigkeitsreduzierung angekündigt. Danach folgen Verkehrsleittafeln zur Hinführung an die Arbeitsstelle.

3.3.4 Regelpläne

Regelpläne mit Abstandsangaben und Beschilderungen sind im finnischen Regelwerk für die Absicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer, den „Liikenteen Ohjaus, Liikenne tietyömaalla“ aufgeführt.

3.4 Großbritannien

Die Absicherungen für Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf der Autobahn sind im „Design Manual for Roads and Bridges“, Part 4 „The Mobile Lane Closure Technique (MLC) For Use On Motorways And Other Dual Carriageway Roads“ vorgegeben. Auch wenn im Straßenverkehr Großbritanniens der Linksverkehr eingerichtet ist, lassen sich die Absicherung nach vorherigem Spiegeln durchaus mit deutschen oder anderen europäischen Regelwerken vergleichen.

3.4.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Für eine MLC-Arbeitsstelle werden die gleichen, jedoch weniger Schilder als für eine Lane-Closure-Typ-B-Arbeitsstelle, die über einen längeren Zeitraum besteht, verwendet. Eine Unterscheidung erfolgt also nur zwischen mobil und stationär, nicht zwischen kürzerer und längerer Dauer. Um die Sichtbarkeit der Schilder zu verbessern und die geringere Anzahl an Schildern auszugleichen, sind sie an einer nichtreflektierenden gelben Schutzplatte mit gelben Blinkleuchten an jeder Ecke befestigt. Die MLC sollte bei guter Sicht und wenig Verkehr ausgeführt werden. Verkehrsbehinderungen sollten unwahrscheinlich sein.

Arbeits- und Schutzfahrzeuge haben immer die gleiche Beschilderung. Sie zeigen einen weißen Richtungspfeil auf blauem Hintergrund auf einer Absperrtafel. Diese hat am oberen Rand zwei Warnleuchten befestigt. Schutzfahrzeuge sind zusätzlich mit einem Aufprallschutz ausgestattet (ein so genanntes „lorry mounted crash cushion“ (LMCC)). Es steht in einem Abstand von 50 bis 100 m zur Arbeitsstelle. Bei Arbeiten auf nur einem Fahrstreifen wird nur ein Schutzfahrzeug benötigt. Gehen die Arbeiten über zwei Fahrstreifen, werden mindestens drei Schutzfahrzeuge benötigt. Diese stehen ebenfalls in einem Abstand von 50 bis 100 m zueinander und stehen versetzt über die zwei gesperrten Fahrstreifen. Bei Arbeiten mit Personen auf der Fahrbahn kann in Erwägung gezogen werden, ein oder mehrere zusätzliche Schutzfahrzeuge einzusetzen,

um z. B. sicherzugehen, dass kein Verkehrsteilnehmer in die Arbeitsstelle hinein fährt. Bei zusätzlichen Fahrzeugen müssen dann zur Vermeidung von Irritationen die Rundumleuchten ausgeschaltet sein. Außerdem muss eine seitliche Sicherheitszone von 1,2 m zwischen der Arbeitsstelle und der für den Verkehr freien Fahrbahn gewährleistet sein.

3.4.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Im Normalfall ist keine Geschwindigkeitsreduzierung über die nationale Begrenzung auf 70 mph (112 km/h) hinaus vorgesehen. Falls bei Arbeiten mit Personen auf der Fahrbahn der seitliche Sicherheitsabstand auf bis zu 0,6 m reduziert werden muss, wird die Geschwindigkeit auf 50 mph (80 km/h) herabgesetzt.

3.4.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Auf Autobahnen oder anderen zweistreifigen Fahrbahnen mit Standstreifen, sollte 800 yds (730 m) vor der Arbeitsstelle das Anfangsschild „Fahrbahn gesperrt“ die Arbeiten ankündigen. Es wird an einem Fahrzeug oder Hänger befestigt und auf dem Standstreifen abgestellt. Im weiteren Verlauf müssen zwei weitere Fahrzeuge (ebenfalls auf dem Standstreifen) stehen, die das Schild „Fahrbahn gesperrt!“ mit entsprechender Abstandsangabe zeigen. Diese Fahrzeuge dürfen die Abstände untereinander nicht verändern.

Falls kein Standstreifen vorhanden ist oder wenn dieser sehr schmal ausfällt, müssen die Vorwarnschilder am Straßenrand aufgestellt werden. Diese fahrbaren Schilder dürfen, außer zur Weiterfahrt, nicht in die Fahrbahn hineinragen. Falls es keine Möglichkeiten am Straßenrand gibt, sollten zum Beispiel Notfallbuchten in Betracht gezogen werden. Im Idealfall sollten Fahrer, die sich einer MLC nähern, auf Antrieb mindestens zwei aufeinanderfolgende Warnschilder sehen. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen ist keine Vorwarnung erforderlich.

3.4.4 Regelpläne

Layouts mit Abstandsangaben und Beschilderung sind dem „Traffic Signs Manual Chapter 8“ (TSM) zu entnehmen.

3.5 Österreich

Die Absicherungen für Arbeitsstellen auf der Autobahn sind in den „Richtlinien und Vorschriften für

den Straßenbau“ (RVS; 2001) festgelegt, wobei die Arbeitsstellen kürzerer Dauer speziell im Kapitel 5.42 behandelt sind.

3.5.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Die Absperrung erfolgt durch eine fahrbare Absperrtafel mit Blinkkreuzen und einem blauen Schild mit weißem Richtungspfeil (vergleichbar den deutschen Z 222-10 und Z 222-20; RSA; 1995). Finden die Arbeiten, ohne den Verkehr zu beeinträchtigen, nur auf dem Standstreifen statt, signalisiert die Absperrtafel „Achtung“. Hinzu kommt wahlweise ein Schild „Achtung Baustelle“ (ähnlich dem deutschen Z 123; RSA; 1995), eine Geschwindigkeitsbegrenzung, die am Ende der AkD wieder aufgehoben werden muss, oder eine Tafel mit Beschreibung der Art der unternommenen Arbeiten. Dies alles ist auf einer Absperrtafel zusammengefasst.

Bei einem gesperrten Fahrstreifen beträgt der Sicherheitsabstand zur Absperrtafel 100 bis 200 m. Vor der Absperrtafel werden fünf Leitkegel zur Einziehung des Verkehrs benötigt, die bei Arbeiten auf dem Standstreifen entfallen. Sie stehen schräg über die Fahrbahn verteilt. Falls mehrere Wände zur Absperrung von mehreren Fahrstreifen benötigt werden, sind vor diesen ebenfalls fünf Leitkegel zu stellen. Die Wände haben dann einen Mindestabstand in Längsrichtung von 200 m. Zur seitlichen Absicherung der AkD werden Leitkegel eingesetzt. Die ersten fünf haben einen Abstand von 18 m, die restlichen stehen im Abstand von 36 m zueinander.

Bei Arbeiten auf dem mittleren Fahrstreifen ist entweder eine Sperrung des ersten und zweiten Fahrstreifens oder eine Sperrung des zweiten und dritten Fahrstreifens vorgesehen. Der Verkehr darf grundsätzlich nur an einer Seite vorbeigeführt werden. Bei einer Sperrung des inneren Fahrstreifens ist auch eine Benutzung des Standstreifens in Betracht zu ziehen. Die Verkehrsführung wird dann auf dem Vorwarner angezeigt.

3.5.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Die Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen beträgt in Österreich 130 km/h. Eine Geschwindigkeitsbegrenzung im Bereich der AkD ist nicht immer vorgesehen. Falls doch, so beträgt sie im Normalfall 80 km/h und wird mit dem Aufbau eines Geschwindigkeitstrichters angezeigt. Sie muss auf dem Vorwarner und auf den Absperrwänden zu

sehen sein, wobei auf dem Vorwarner, sofern vorhanden, die erste Stufe und auf der Absperrtafel dann die endgültige Höchstgeschwindigkeit in der AkD angezeigt wird.

3.5.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Zur Vorwarnung werden Leittafeln auf gelbem Grund benutzt. Auf der linken Seite der Tafel wird die Verkehrsführung, auf der rechten Seite ein Schild „Achtung Baustelle“ oder eine Geschwindigkeitsbegrenzung angezeigt. Die Leittafeln sind mit orangefarbenen Warnlichtern an den oberen Ecken ausgestattet und werden auf dem Standstreifen im Abstand von 250 bis 400 m vor der ersten Absperrwand mitgeführt. Die Möglichkeit der Standstreifenmitbenutzung ist gegeben. Es besteht auch die Möglichkeit der beidseitigen Vorwarnung. Diese besteht aus einem Schild „Achtung Baustelle“ oder einer Geschwindigkeitsreduzierung 400 m vor der ersten Absperrwand und einer gelben Tafel 300 m vor der ersten Absperrwand, auf welcher die Verkehrsführung angezeigt wird. Auch hier ist die Möglichkeit einer Standstreifenmitbenutzung bei Sperrung des inneren Fahrstreifens zu erwägen. Bei einer Mindestsichtweite von 300 m ist eine Vorwarnung nicht notwendig.

3.5.4 Regelpläne

Für die Absperrung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind in der RVS Regelpläne zu finden, die unter anderem genaue Abstandsangaben enthalten.

3.6 Schweden

Die Absicherungen für Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind im „Trafikanordningsplaner för arbete på väg“ des „Vägverket“ (1998) enthalten.

3.6.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Die Absicherung der AkD auf der Autobahn erfolgt bei mobilen und kurzzeitig stationären wie z. B. bei Reparaturarbeiten an Schilderbrücken durch ein Schutzfahrzeug mit Aufprallschutz und einem blauen Schild mit weißem Richtungspfeil, welches an einer Tafel am Schutzfahrzeug befestigt ist. Oben an der Tafel befinden sich zwei orangefarbene Warnleuchten. Der Schutzabstand beträgt in der Regel 25 bis 30 m. Hat das Arbeitsfahrzeug ein Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t, wird kein separates Schutzfahrzeug benötigt, jedoch muss das Ar-

beitsfahrzeug dann mit einem Aufprallschutz ausgestattet sein. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen, welche die Fahrbahn nicht beeinträchtigen, wird kein Schutzfahrzeug benötigt.

Bei kurzen, stationären AkD wie z. B. Reparaturarbeiten werden entlang des Schutzraumes rot-gelbe Leitbaken errichtet (abgesehen von der Farbgebung ähnlich den deutschen Z 605-10 und Z 605-20; RSA; 1995). Ragt bei Arbeiten auf dem Standstreifen das Arbeitsfahrzeug in den Fahrstreifen hinein, wird ein Schutzfahrzeug benötigt, das einen Richtungspfeil und einen Aufprallschutz mit sich führt. Dieses dient gleichzeitig der Vorwarnung.

Bei längeren Arbeiten wie z. B. Fahrbahninstandsetzungen wird mit Verschwenkung gearbeitet. Um diese auszuführen, werden Absperrtafeln auf Anhängern eingesetzt. Die zu fahrende Fahrspur wird durch Leitbaken gekennzeichnet. Die Beschilderung der Absperrtafeln entspricht den oben genannten. In diesem Fall wird statt eines Schutzfahrzeugs wie in Dänemark ein Aufprallschutz in Form von Lkw-Reifen (Bild 8) eingesetzt. Die Länge des Schutzraumes bleibt gleich. Entlang der eigentlichen AkD wird seitlich noch ein mobiles Leit- und Schutzsystem eingesetzt (z. B. aus langen Betonbalken, 25 x 25 cm). Besonders ist hierbei, dass bei längeren Arbeiten auf dem linken Fahrstreifen ebenfalls mit einer Verschwenkung gearbeitet wird. Der auf dem rechten Fahrstreifen verflochtene Verkehr wird zunächst auf den linken und unmittelbar danach wieder auf den rechten Fahrstreifen geführt. Zur Absperrung und Verkehrsführung werden wie oben beschriebene Absperrtafeln sowie Leitbaken eingesetzt und ein Aufprallschutz eingesetzt.

3.6.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Bei kurzen und mobilen Arbeiten ist keine Geschwindigkeitsbegrenzung gegenüber der landesweiten Höchstgeschwindigkeit von 110 km/h vorgesehen. Wird mit Verschwenkung gearbeitet, wie in den beiden letzten Fällen beschrieben, wird die Geschwindigkeit auf 70 km/h reduziert. Die Reduzierung erfolgt mit Hilfe eines Geschwindigkeitstrichters.

3.6.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Bei kürzeren Arbeiten wird ein Vorwarner auf dem Standstreifen mitgeführt. Falls es keinen Standstreifen gibt, steht der Vorwarner auf dem ersten Fahrstreifen. Er zeigt die Verkehrsführung, ein Schild „Vorsicht Baustelle“ (ähnlich dem deutschen

Z 123; RSA; 1995) sowie den Abstand zur AkD an und ist mit orangefarbenen Warnleuchten ausgestattet. Bei einem kombinierten Arbeits- und Schutzfahrzeug hat der Vorwarner einen Abstand von 700 m zu diesem. Bei einem separaten Schutzfahrzeug beträgt der Abstand nur 400 m. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen ist kein Vorwarner vorgeschrieben.

Im Falle von längeren Arbeiten wird die Vorwarnung stationär und beidseitig angebracht. Sie zeigt auf Tafeln die Verkehrsführung sowie den Abstand dieser zur Verschwenkung der Fahrstreifen an. Sie muss auch mit orangefarbenen Warnleuchten ausgestattet sein.

3.6.4 Regelpläne

Die Regelpläne mit Abstandsangaben und Angaben zur Beschilderung zur Absicherung bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind im „Trafikanordningsplaner för arbete på väg“ enthalten.

3.7 Schweiz

Die Absicherungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind in der Schweizer Norm 640 885c (SN) wiedergegeben, herausgegeben vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) in Zusammenarbeit mit der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS). Maßgebend für die Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind „Tagesbaustellen“ und mobile Arbeitsstellen vom Typ A1, A2, A4 und A5. Der Begriff „Tagesbaustelle“ entspricht der deutschen Arbeitsstelle kürzerer Dauer und schließt Arbeiten in der Nacht nicht aus.

3.7.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Bei Arbeiten auf dem Standstreifen wird 250 m vor der Baustelle ein Schild „Baustelle“ (SN 1.14) platziert und eines bei der Baustelle selbst. In diesem Fall werden zur Absperrung Leitbaken mit Blinklichtern benutzt. Die ersten stehen auf 20 m (entspricht dem Beginn der Schutzzone) schräg über den Standstreifen. Bei temporär abgestellten und bei arbeitenden Fahrzeugen auf dem Standstreifen wird das Schild „Baustelle“ 100 m vor dem Fahrzeug platziert und auf dem Fahrzeug selbst wiederholt. Finden die Arbeiten direkt auf dem Standstreifen statt, ist ein orangefarbenes Warnlicht auf dem Fahrzeug anzubringen. Ragt das Fahrzeug in den Fahrstreifen hinein, ist an ihm eine Warntafel mit Blinkleuchten anzubringen, auf der das Schild

„Baustelle“ zu sehen ist. Insgesamt darf es nicht mehr als 0,5 m in die Fahrbahn hineinragen. Allgemein werden längs einer Baustelle Leitkegel platziert, bleibt diese jedoch über Nacht bestehen, müssen anstatt der Leitkegel Leitbaken mit Warnlichtern eingesetzt werden. Bei mobilen AkD entfällt die Längsabspernung.

Bei Arbeiten auf dem rechten Fahrstreifen wird, je nach Verkehrsstärke, mit oder ohne Verschwenkung gearbeitet. Wird mit Verschwenkung gearbeitet, ist es möglich, die Verkehrsführung mit Hilfe von Fahrzeugen mit befestigter Absperrtafel, die einen Blinkpfeil, einen Richtungspfeil (2.34 und 2.35, SN) und ein Schild „Baustelle“ zeigen, anzugeben. Diese stehen versetzt auf dem zweiten und ersten Fahrstreifen in einem Abstand in Längsrichtung von 250 m und sind in den oberen Ecken mit gelben Elektronenblitzen ausgestattet. Auch ist es möglich, die Verkehrsführung durch Leitbaken anzuzeigen. Die Einziehung des linken Fahrstreifens erfolgt auf einer Strecke von 100 m durch zehn Leitbaken. Die Rückführung auf den zweiten Fahrstreifen erfolgt nach weiteren 200 m ebenfalls über eine Strecke von 100 m. Jeweils die erste Pfeilbake muss mit einem blinkenden Warnlicht, alle weiteren, die zur Einziehung dienen, mit einem konstanten Warnlicht ausgestattet sein. Wird ohne Verschwenkung gearbeitet, bleibt die eigentliche Absperrung der AkD gleich wie bei Arbeiten mit Verschwenkung, nur der erste, zur Verschwenkung hinführende Teil wird weggelassen.

Anders als in Deutschland ist es in der Schweiz erlaubt, bei Arbeiten auf dem mittleren Fahrstreifen den Verkehr rechts und links an der AkD vorbeizuführen. Die Absicherung erfolgt durch eine fahrbare Absperrtafel auf der mittleren Spur. Auf beiden Seiten der AkD wird eine Längsabspernung errichtet.

Bei Arbeiten auf dem linken von zwei Fahrstreifen ist eine Standstreifenmitbenutzung nur bei Tag und bei einer verbleibenden Mindestfahrbahnbreite von 6,5 m in Betracht zu ziehen. Die Absperrung erfolgt mit einer fahrbaren Absperrtafel oder durch Leitbaken. Bei insgesamt drei Fahrstreifen ist immer eine Standstreifenmitbenutzung vorzusehen, egal ob der dritte Fahrstreifen eingezogen wird oder nicht.

3.7.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

In der Regel wird die Geschwindigkeit in der AkD von 120 km/h auf 100 km/h herabgesenkt. Im Falle einer Reduzierung auf 80 km/h wird diese durch

einen Geschwindigkeitstrichter bekannt gegeben. Es ist möglich, den an der AkD vorbeiführenden Fahrstreifen zum zusätzlichen Schutz auf eine niedrigere Geschwindigkeit zu setzen als die übrigen Fahrstreifen. Eine Geschwindigkeitsreduzierung in der AkD muss dann alle 1.000 m erneut angezeigt werden.

3.7.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

In der Regel werden Arbeitsstellen, die mit fahrbaren Absperrtafeln bzw. Schutzfahrzeugen abgesperrt sind, auch von fahrbaren Vorwarnern begleitet. Bei Arbeiten auf dem Standstreifen kann der Vorwarner entfallen und es genügt das Schild „Baustelle“. Vorwarner haben einen Abstand von 500 m von der Absperrwand und stehen auf dem Standstreifen. Bei Bedarf zeigen sie die Verkehrsführung und eine Geschwindigkeitsbegrenzung an. Sie müssen mit einem gelben Blinklicht ausgestattet sein. Weitere 250 m davor wird das Schild „Baustelle“ beidseitig stationär platziert. Im Falle einer Standstreifenmitbenutzung, bei zwei Fahrstreifen, wird der Abstand vom Vorwarner zur ersten Wand auf 300 m reduziert. Im Falle einer Absperrung mit Leitbaken werden zur Vorwarnung nur stationäre Warn-, Gebots- und Leitschilder verwendet, dann aber beidseitig errichtet. Zur ersten Warnung dient dann eine Verkehrsleittafel 1.000 m vor Beginn der AkD, danach folgen Geschwindigkeitsangaben, Wiederholungen der Verkehrsführung sowie ein Schild „Baustelle“ 250 m vor und direkt zu Beginn der AkD beziehungsweise zu Beginn der geänderten Verkehrsführung.

3.7.4 Regelpläne

Die Regelpläne mit Abstandsangaben sind in der Schweizer Norm 640 885c sowie in einer zugehörigen Beilage enthalten (ASTRA; 1999).

3.8 Tschechien

Die Absicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer ist in den tschechischen Richtlinien „Pomůcka pro označování pracovišť míst na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla“ des „Ministerstvo dopravy a spojů“ (2002) geregelt.

3.8.1 Absicherung der Arbeitsstelle

Bei mobilen oder kurzzeitig stationären Arbeitsstellen erfolgt die Absperrung immer durch eine fahrbare Absperrtafel (Z 7, Typ I, Kapitel 4.2.4). Sie zeigt einen Blinkpfeil und einen weißen Richtungs-

pfeil auf blauem Hintergrund und auf dem Standstreifen statt eines Blinkpfeils ein Blinkkreuz. Die Tafel steht in einem Abstand von 50 m zum Arbeitsfahrzeug.

Bewegt sich die Arbeitsstelle kontinuierlich fort, werden keine Leitkegel als Längsschutz eingesetzt. Bei kurzzeitig stationären AkD stehen diese mit einer Höhe von 750 mm (Z 1, Kapitel 4.2.2) in einem Abstand von max. 18 m zueinander. Bei einer Sperrung des ersten und zweiten Fahrstreifens werden zwei Absperrwände benötigt. Sie stehen mit einem Abstand von 200 m versetzt auf den ersten beiden Fahrstreifen. Zur Längsabsperzung werden Leitkegel verwendet, sowohl zwischen der ersten und zweiten Wand als auch entlang der AkD.

Ein Hindernis bzw. ein abgestelltes Arbeitsfahrzeug auf dem Standstreifen wird durch drei Leitbaken mit Warnleuchten, die schräg über den Standstreifen stehen, geschützt. Wahlweise kann auch eine fahrbare Absperrtafel verwendet werden. Seitlich zur Fahrbahn werden Leitkegel platziert. Ein Arbeitsfahrzeug kann Arbeiten auf dem Standstreifen auch ohne Schutzfahrzeug erledigen. Es ist dann mit einem Blinkkreuz (Typ B, S 8e) auszustatten.

Bei stationären Arbeiten werden im Allgemeinen keine fahrbaren Absperrtafeln eingesetzt. Die Querabsperzung erfolgt hier durch Leitbaken mit Warnleuchten des Typs 1, die den Verkehr schräg zur AkD hinleiten. Sie stehen auf einer Strecke von 50 m. Zur Längsabsperzung der AkD werden Leitbaken ohne Warnleuchten benutzt. Bei einer Fahrbahnverengung des ersten Fahrstreifens, z. B. weil die Arbeiten auf dem Standstreifen in den ersten Fahrstreifen hineinragen, muss eine restliche Mindestfahrbahnbreite von 7,0 m gewährleistet sein. Bei Arbeiten am Mittelstreifen mit Beeinträchtigung des zweiten Fahrstreifens muss die restliche Fahrbahnbreite mindestens 6,5 m betragen.

Bei Arbeiten auf dem ersten Fahrstreifen wird mit Verschwenkung gearbeitet. Der linke Fahrstreifen wird auf einer Strecke von 50 m eingezogen und nach weiteren 200 m wieder zurückgeführt und an der AkD vorbeigeleitet. Die Leitbaken zum Einziehen (Länge 50 m) und zum Zurückführen (Länge 10 m) sind mit Warnleuchten ausgestattet. Bei einer Absperrung des linken Fahrstreifens erfolgt die Absperrung analog, jedoch ohne Rückführung.

3.8.2 Geschwindigkeitsbegrenzung

Bei mobilen oder kurzzeitig stationären Arbeitsstellen ist keine Geschwindigkeitsbegrenzung vorge-

sehen. In Tschechien gelten 130 km/h als Höchstgeschwindigkeit. Bei stationären AkD ist eine Reduzierung auf 80 km/h in der AkD vorgeschrieben. Diese wird mit Hilfe eines Geschwindigkeitstrichters angezeigt.

3.8.3 Ankündigung der Arbeitsstelle

Die mobilen bzw. kurzzeitig stationären Arbeitsstellen werden durch eine fahrbare Warntafel mit zwei Warnlichtern am oberen Rand angekündigt. Diese wird in einem Abstand von 300 bis 500 m auf dem Standstreifen mitgeführt. Je nach Arbeitsstelle kann 200 bis 500 m davor noch eine weitere fahrbare Warntafel des gleichen Typs mitgeführt werden.

Bei stationären Arbeitsstellen besteht die Vorwarnung beidseitig aus einem Schild „Baustelle“ mit Abstandsangabe (800 m) und Warnlicht. Wird mit Verschwenkung gearbeitet, beträgt der Abstand 2.000 m zum Beginn der Verschwenkung. Das Zeichen wird danach bei 800 m wiederholt. Es folgen weitere Schilder zum Anzeigen der Verkehrsführung. Die gesamte Beschilderung wird beidseitig ausgeführt.

3.8.4 Regelpläne

Regelpläne mit genauen Abstandsangaben sowie der detaillierten Beschilderung sind in den „Pomůcka pro označování pracovních míst na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla“ gesammelt.

3.9 Vergleich der Regelwerke

Beim Vergleich der technischen Regelwerke in den europäischen Nachbarländern fallen Unterschiede auf. Unter Berücksichtigung der im angelsächsischen Bereich seitenverkehrten Verkehrsführung kann jedoch der prinzipielle Aufbau bei Einsatz vergleichbarer Komponenten beobachtet werden.

3.9.1 Aufbau der Absicherung

Eine Absicherung wird grundsätzlich durch einen Annäherungsbereich und die Arbeitsstelle selbst charakterisiert. In der Regel existiert auch der stufenweise Aufbau einer Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Unterschiedlich ist jedoch die Definition von Arbeitsstellen kürzerer Dauer. Während in Deutschland strikt nach der Dauer der bestehenden Arbeitsstelle unterschieden wird, un-

terscheiden Großbritannien, Dänemark und Finnland nur Arbeitsstellen mobiler und stationärer Art, wobei auch eine schrittweise vorrückende Arbeitsstelle wie zum Beispiel die Reinigung von Abläufen als mobil gewertet würde.

3.9.2 Absicherung der Arbeitsstelle

Bei der Absicherung einer Arbeitsstelle zeigen sich neben geringen Unterschieden bei den verwendeten Zeichen und Leiteinrichtungen deutliche Unterschiede bei der Sicherung des Arbeitsraumes. Das betrifft zum einen die Bemessung des Schutzraumes – Längen von 25 m in Schweden bis 250 m in Belgien und Breiten von 0,5 m in Deutschland bis 1,2 m in Großbritannien – und zum anderen den Einsatz von Fahrzeugen oder Aufpralldämpfern zum Abfangen von Fahrzeugen, die in die Arbeitsstelle hineinfahren. In Dänemark und Schweden wird auch bei AkD mit Aufpralldämpfern gearbeitet, in Schweden sogar mit einem zusätzlichen seitlichen Schutz. Das in Baden-Württemberg bei schlechten Sichtverhältnissen angewendete System von zwei Schutzwänden hintereinander ist in Belgien für mobile AkD generell vorgeschrieben. In Dänemark und Großbritannien werden zusätzliche Absperrtafeln versetzt zwischen die Schutzwände gestellt, um so eine aus Fahrersicht geschlossene Wand herzustellen. Das System erinnert leicht an die Praxis in Niedersachsen, wo die Sicherungswände abgehängt und die Zugfahrzeug versetzt dazu aufgestellt werden. Von Bedeutung ist auch die Vorschrift in Belgien, die Nachtarbeit aus Sicherheitsgründen bei Arbeitsstellen vom Typ kürzerer Dauer untersagt. Eine solche Tendenz könnte auch aus den deutschen Richtlinien gelesen werden. In der RSA heißt es im Teil D 3, Satz (17): „Für Arbeitsstellen kürzerer Dauer, die ausnahmsweise bei Dunkelheit ... betrieben werden müssen, sind ... [Regelpläne] ... unter Beachtung der erhöhten Gefährdung bei Nacht ... zu gestalten“ (RSA; 1995). Das würde dem Ziel einer Stauvermeidung durch zeitliche Verlagerung von Arbeiten enge Grenzen setzen.

In den meisten Ländern inklusive Belgien ist eine seitliche Einengung von Fahrstreifen, wie sie in Deutschland bei Markierungsarbeiten praktiziert wird, zulässig. Nur ein Land (Schweiz) lässt eine beidseitige Verkehrsführung an Arbeitsstellen zu. Die Verwendung eines Verkehrszeichens am Beginn einer Verschwenkung zur Trennung der Fahrstreifen ist gleichfalls nur in einem Land (Finnland) anzutreffen.

3.9.3 Geschwindigkeitsregelung

Eine Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist nicht in allen Ländern so wichtig wie in Deutschland, weil die nationalen Geschwindigkeitsgrenzen überall zwischen 100 km/h und 130 km/h liegen. Trotzdem wird bei Sperrungen von Fahrstreifen in der Regel eine Reduzierung auf 70 km/h bis 90 km/h angeordnet, nur die Schweiz lässt 100 km/h zu. Alle Länder sehen einen Geschwindigkeitstrichter vor, wobei im Gegensatz zu Deutschland häufig die Kombination mehrerer Informationen auf einer Beschilderung zulässig ist.

3.9.4 Annäherungsbereich

Außer Schweden arbeiten alle Länder in der Regel mit einer Vorwarnung, deren Abstand von der Arbeitsstelle in Abhängigkeit vom Grad der veränderten Verkehrsführung bestimmt wird. Die Abstände betragen 500 m bis 1.000 m, bei Verschwenkungen auch größere Abstände. In Belgien ist darüber hinaus eine Stauwarnung im Abstand von 2 km im Regelwerk verankert.

3.9.5 Verkehrszeichen

Bei den verwendeten Verkehrszeichen zeigen sich viele Unterschiede, deren Tragweite aber schwer zu beurteilen ist. Der in Deutschland zurzeit untersuchte Einsatz von gelbem und gegebenenfalls reflektierendem Hintergrund für die Ankündigungstafeln von Arbeitsstellen ist nicht nur in den Niederlanden, sondern auch in Belgien, Finnland, Österreich und Schweden möglich. Darüber hinaus gibt es Unterschiede beim Einsatz von blinkenden oder nicht blinkenden Lichtern sowie in der Gestaltung von Bakern. Neben den Maßen ist von Bedeutung, dass in Belgien die Gestaltung bei Einengung eines Fahrstreifens einen Pfeil bildet, während in den anderen Ländern inklusive Deutschland der Wechsel zwischen den beiden Farben in einer einheitlichen Richtung verläuft. Noch deutlicher werden die Unterschiede bei der Anzeige der Verflechtung von Verkehrsströmen. Die meisten Länder geben einen Pfeil mit einer Richtungsänderung vor, Großbritannien dagegen zeigt das Ende des Fahrstreifens an.

3.10 Ableitbare Maßnahmen

Durch den Vergleich der unterschiedlichen Regelwerke wird deutlich, dass die in den Kapiteln 2.5.1 und 2.5.2 beschriebenen Maßnahmen zur Staureduktion auch in Europa verbreitet sind. Eine Verlagerung von Tätigkeiten wird in den meisten Regel-

werken angesprochen, wobei der Sicherheitsgedanke sehr unterschiedlich gewertet wird. In der weiteren Untersuchung wird zu prüfen sein, inwiefern letzterer Gedanke in Deutschland zu berücksichtigen ist und gegebenenfalls vorhandene Lösungen aus dem Ausland übernommen werden können.

Eine Absicherung mit Verschwenkung, die vom Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) im Auftrag der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg untersucht wurde (HESS, NORKAUER; 2003), ist in vielen Ländern der Regelfall. Explizit aufgeführt wird sie in Dänemark, Finnland, Großbritannien (spiegelverkehrt), Schweden, der Schweiz und Tschechien.

Ähnlich stellt sich die Lage bei der Standstreifenmitbenutzung dar. Sie wird mit Ausnahme von Dänemark und Großbritannien in allen untersuchten Ländern praktiziert. In der Schweiz werden dabei sogar drei parallele Fahrstreifen verschwenkt. Einen prinzipiellen Unterschied zeigt allerdings die Rückführung verschwenkter Verkehre. Während es in Deutschland (ohne Verkehrszeichen) in der Praxis zu Problemen kommt, weisen viele Länder nicht nur auf das Ende der AkD durch ein Blinklicht hin (Finnland), sondern zeigen auch die dort geänderte Verkehrsführung erneut an (z. B. Belgien).

Interessant ist darüber hinaus, dass die im deutschen Regelwerk gebräuchliche Unterscheidung in Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer so nicht in allen Ländern Bestand hat. Zum Beispiel Großbritannien unterscheidet nach stationären und mobilen Arbeitsstellen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Untersuchung keine grundsätzlich neuen Maßnahmen zur Staureduktion hinzugefügt werden müssen. Aus dem Regelwerk der anderen Staaten lassen sich aber viele Hinweise zur Ausgestaltung der Absicherung von Arbeitsstellen bei Anwendung insbesondere der Nacharbeit und der beiden verkehrlichen Maßnahmen finden, deren Integration in die Empfehlungen für deutsche Arbeitsstellen kürzerer Dauer Vorteile bieten könnten.

4 Feldversuche

4.1 Untersuchungsrahmen

Aus grundsätzlichen Überlegungen lassen sich zwei gegenläufige Bedingungen für Feldversuche ableiten. Einerseits soll so wenig wie möglich in das Verkehrsgeschehen eingegriffen werden, auf

der anderen Seite ist für eine kapazitive Betrachtung der verkehrlichen Auswirkungen einer Maßnahme die Entstehung von Stauungen vor der Arbeitsstelle zwingend erforderlich. Im Folgenden wird zunächst das Auswahlverfahren für die in der Praxis untersuchten Maßnahmen vorgestellt. Das Verfahren löst den scheinbaren Widerspruch auf in möglichst wenige Feldversuche, während deren Durchführung dann aber die Entstehung von Stau angestrebt und toleriert wird.

4.1.1 Tätigkeiten

Ausgehend von der Planbarkeit, der Dauer des einzelnen Einsatzes und der Häufigkeit des Auftretens erfolgt eine Vorauswahl der untersuchten Tätigkeiten. Für die Feldversuche sind erstens nur planbare Tätigkeiten von Interesse und zweitens nur solche, die lang genug sind, um einen prognostizierbaren Effekt auf den Verkehrsablauf zu haben. Bei Anwendung dieser beiden Kriterien entfallen die Tätigkeiten „Unfallabsicherung“ sowie das Setzen von Verkehrszeichen, seien sie unter „Verkehrszeichen“ oder „Schneezeichen“ geführt. Darüber hinaus entfallen „Bauwerksinstandsetzung“ und „Sonstiges“, weil diese Gruppen in Art und Umfang der Arbeiten nicht greifbar sind.

Für das Untersuchungsprogramm sind damit die folgenden Tätigkeiten von Bedeutung. Die dargestellte Codierung wird im anschließenden Auswahlverfahren zur besseren Übersichtlichkeit als Ersatz für die Tätigkeitsbeschreibung verwendet.

- Schutzplanken
 - Schutzplankenreparatur rechts T 5r
 - Schutzplankenreparatur links T 5l
- Grünpflege
 - Grasmahd Bankett und Böschung rechts T 1r
 - Grasmahd Bankett und Böschung rechts, 2 Fahrzeuge T 2r
 - Gehölzpflege rechts T 9r
 - Grasmahd Mittelstreifen T 11
 - Gehölzpflege Mittelstreifen T 9l
- Fahrbahninstandsetzung T 8f
- Reinigung
 - Reinigen von Abläufen rechts T 4r
 - Kehrarbeiten rechts T 3r
 - Kehrarbeiten Mittelstreifen inklusive der Mittelstreifenüberfahrt T 3l

- Reinigen der Abläufe links T 4l
- Markierung
 - Markierungsarbeiten zum Standstreifen T 7r
 - Markierungsarbeiten zwischen Fahrstreifen T 7z
 - zum Mittelstreifen T 7l
- Kombinationen
 - Kombination rechts: Grasmahd, Kehren, Reinigen von Abläufen T 6r
 - Kombination Mittelstreifen: Grasmahd, Kehren, Reinigen von Abläufen T 6l

4.1.2 Verkehrsführung

Entsprechend der Auswahl der Tätigkeiten erfolgt auch eine Einschränkung bezüglich der Lage im Querschnitt. Betrachtet werden nur zwei- und dreistreifige Richtungsfahrbahnen, weil damit über 99 % des deutschen Autobahnnetzes abgedeckt sind (BASt; 2003) und die Berücksichtigung der restlichen Strecken in keinem vertretbaren Verhältnis zum erforderlichen Aufwand steht.

Nach Anwendung der vorgenannten Filterbedingung ergibt sich daraus die Berücksichtigung der folgenden Verkehrsführungen. Die dargestellte Codierung wird im anschließenden Auswahlverfahren zur besseren Übersichtlichkeit als Ersatz für die Beschreibung der Verkehrsführung verwendet.

- zweistreifige Richtungsfahrbahn
 - stationäre AkD, 2. Fahrstreifen V 2.2s
 - stationäre AkD, 1. Fahrstreifen V 2.1s
 - mobile AkD, 2. Fahrstreifen V 2.2m
 - mobile AkD, 1. Fahrstreifen V 2.1m
- dreistreifige Richtungsfahrbahn
 - stationäre AkD, 3. Fahrstreifen V 3.3s
 - stationäre AkD, 1. Fahrstreifen V 3.1s
 - stationäre AkD, 1. und 2. Fahrstreifen V 3.12s
 - stationäre AkD, 2. und 3. Fahrstreifen V 3.23s
 - mobile AkD, 3. Fahrstreifen V 3.3m
 - mobile AkD, 1. Fahrstreifen V 3.1m
 - mobile AkD, Standstreifen V 3.0m
 - mobile AkD, 1. und 2. Fahrstreifen V 3.12m
 - mobile AkD, 2. und 3. Fahrstreifen V 3.23m

4.1.3 Maßnahmen

Ausgehend von den bereits vorgestellten Gruppen von Maßnahmen zur Staureduktion wird für die weitere Betrachtung eine Auswahl vorgenommen. Eine Untersuchung baulicher Maßnahmen erübrigt sich allein aufgrund der vorgesehenen Projektdauer.

Alle anderen Maßnahmen werden zunächst entsprechend ihrem Charakter gegliedert aufgenommen. Inwieweit eine Untersuchung im Feldversuch erforderlich ist, ergibt sich im Auswahlverfahren. Prinzipiell werden die folgenden Maßnahmen zur Staureduktion geprüft. Die dargestellte Codierung wird im anschließenden Auswahlverfahren zur besseren Übersichtlichkeit als Ersatz für die Maßnahmebezeichnung verwendet.

- Verlegen
 - Arbeit bei Dunkelheit D 1
 - Arbeit zu anderen verkehrssarmen Zeiten (Zeitfenster, Wochenende, Ferien) D 2
- Kombination von Arbeiten entweder als mehrere Tätigkeiten in einer Arbeitsstelle oder einer Tätigkeit in zwei Arbeitsstellen D 3
- Arbeitsunterbrechung (bei Stau, in festen Intervallen) D 4
- Verkehrsführung
 - Standstreifenmitbenutzung D 5
 - Absicherung mit Verschwenkung D 7
 - Umleitung des Verkehrs D 8
- Referenz normale Tageszeit D 6

4.2 Versuchsprogramm

Bei Kombination aller im Untersuchungsrahmen angegebenen Eingangsparameter entsteht eine sehr große Anzahl von Möglichkeiten, die eine entsprechend große Anzahl von Feldversuchen nach sich ziehen würde. Deshalb erfolgt die Ermittlung des zur Sicherung der Aussagekraft notwendigen Untersuchungsprogramms über die Betrachtung von Abhängigkeiten sowie unter Berücksichtigung von Möglichkeiten der theoretischen Ableitung und rechnergestützten Simulation von Auswirkungen. Da im Rahmen dieser Untersuchung nur noch solche Versuche durchgeführt werden sollen, deren Aussagen nicht aus bereits vorliegenden Erkenntnissen erschlossen werden können, wird im zweiten Schritt entsprechend der bereits durchgeführten Feldversuchen und den daraus vorliegenden Da-

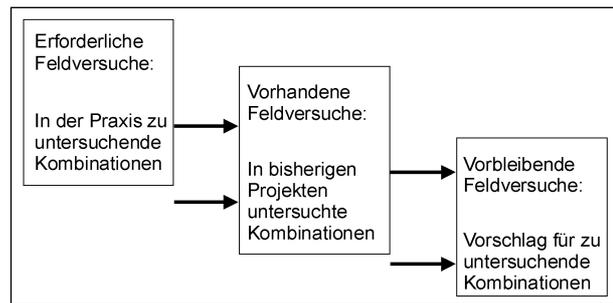


Bild 11: Abschließende Reduktion der Feldversuche

tenmaterial nach der in Bild 11 dargestellten Systematik eine Reduktion des ermittelten Versuchsprogramms vorgenommen. Darüber hinaus erfolgen Ergänzungen, die infolge der Betrachtung besonderer Aspekte sinnvoll erscheinen.

4.2.1 Auswahlverfahren

Für die Beurteilung von Maßnahmen zur Staureduktion werden ihre betrieblichen und verkehrlichen Auswirkungen herangezogen. Verkehrliche Auswirkungen können, wie später vorgesehen, zum Teil über Simulationsversuche abgebildet und vorhergesagt werden. Aus ihnen sollte im Idealfall der Nutzen einer Maßnahme resultieren. Betriebliche Auswirkungen lassen sich zum Teil anhand theoretischer oder rechnerischer Betrachtungen ermitteln. Sie stellen in der Regel die Kostenseite einer Maßnahme dar. In beiderlei Hinsicht ist aberein vollständiger Verzicht auf Feldversuche nicht möglich. Um festzustellen, ob die Auswirkungen einer Maßnahme herzuleiten sind oder im Feldversuch untersucht werden müssen, erfolgt deshalb im ersten Schritt eine Überlagerung der Maßnahmen mit den Verkehrsführungen, dargestellt in Bild 12, und mit den Tätigkeiten, dargestellt in Bild 13. Für jede Kombination erfolgt eine Prüfung der Relevanz und der Fragestellung, ob sie im Feldversuch zu erheben ist. Im Folgenden einige Beispiele zur Verdeutlichung des Vorgehens:

- Über die verkehrlichen Auswirkungen der Maßnahme D 3 „Zwei Arbeitsstellen“ herrscht Unklarheit. Auf den ersten Blick kann nicht gesagt werden, ob sich vor der zweiten Arbeitsstelle erneut ein Stau einstellt oder nicht. Insbesondere bei der Sperrung von zwei Fahrstreifen V 3.12 ist eine Untersuchung hinsichtlich der Kapazität eines solchen doppelten Engpasses erforderlich (U).
- Die verkehrlichen Auswirkungen der Maßnahme D 2 „Verlagerung von Tätigkeiten in verkehrssarmen Zeiten“ lassen sich vollständig aus der Si-

Verkehrsführung	Maßnahmen				
	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5
V 2.2s	a	a	a	a	a
V 2.1s	a		a	a	-
V 2.2m	a	a	U	U	U
V 2.1m	U		U	U	-
V 3.3s	a	a	a	a	-
V 3.1s	a	a		a	-
V 3.12s	U	a	U	U	-
V 3.23s	a	a	a	a	a
V 3.3m	a	a	U	U	-
V 3.1m	a	a	U	U	-
V 3.12m	a	a	a	a	-
V 3.23m	a	a	U	U	a

Bild 12: Auswahlverfahren: Verkehrliche Auswirkung

Tätigkeiten	Maßnahmen				
	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5
T 3r	U	-	U	U	-
T 2r		-	-	a	-
T 3r	U		-	-	-
T 4r	U	a	U	U	-
T 5r	a	a	a	-	-
T 6r	a	-	-	a	-
T 7r	U	a	a	-	-
T 9r	-	a	a	a	-
T 6r	U	a	a	-	-
T 7z	a	a	U	-	-
T 11	a	-	U	-	-
T 2s	U	a	-	-	-
T 4l	a	a	a	a	-
T 5l	U	a	-	-	-
T 6l	U	-	-	U	-
T 7l	a	a	a	-	-
T 9l	-	a	a	U	-

Bild 13: Auswahlverfahren: Betriebliche Auswirkung

mulation ableiten (a). Kern der Maßnahme ist, die Arbeiten in Zeiten zu verlegen, in denen die Kapazität des reduzierten Querschnitts zur Deckung der Verkehrsnachfrage ausreicht.

- Ist die verbleibende Kapazität aus anderen Feldversuchen oder Simulationsversuchen bekannt, kann sie mit vorliegenden Daten der Verkehrsnachfrage überlagert werden. Dadurch können entsprechende Zeiten ohne einen Eingriff in den Verkehrsraum ermittelt werden. Das dargestellte Beispiel V 2.2 entspricht einer Arbeitsstelle auf dem linken Fahrstreifen einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn (a).
- Eine Kombination der Maßnahme D 5 „Standstreifenmitbenutzung“ mit einer Arbeitsstelle auf dem rechten Fahrstreifen V 3.1 ist nicht relevant (-).
- Werden Tätigkeiten infolge einer Verlagerung in der Nacht durchgeführt (Maßnahme D 1 „Arbeit bei Dunkelheit“), sind die Auswirkungen auf die Arbeitsqualität und Quantität und die erforderliche technische Ausstattung insbesondere für die Beleuchtung zu untersuchen (U). Bei dem dargestellten Beispiel T 3r handelt es sich um Kehrarbeiten am rechten Fahrbahnrand.
- Bei der Maßnahme D 4 „Arbeitsunterbrechung“ entstehen durch das Räumen der Fahrbahn während der Pausen zusätzliche Rüstzeiten.

Diese sind bei der Reinigung von Abläufen in der Regel nicht davon abhängig, ob die Arbeiten am rechten T 4r oder linken T 4l Fahrbahnrand ausgeführt werden. Folglich sind die betrieblichen Auswirkungen für Tätigkeiten auf der jeweils anderen Seite ableitbar (a).

- Bei Anwendung der Maßnahme D 5 „Standstreifenmitbenutzung“ ist unter anderem bei Markierungsarbeiten am linken Fahrbahnrand T 7l nicht mit Auswirkungen auf den betrieblichen Arbeitsablauf zu rechnen (-).

In einem weiteren Schritt wird auch die Relevanz zwischen Tätigkeit und Lage der Arbeitsstelle berücksichtigt. Eine Tätigkeit am rechten Fahrbahnrand mit einer Arbeitsstelle auf dem linken Fahrstreifen zu kombinieren, ist sinnlos und wird über eine weitere Matrix ausgeschlossen.

4.2.2 Erforderliche Versuche

Nach Einsetzen der Matrices Verkehrliche Auswirkung einer Maßnahme und Relevanz einer Verkehrsführung für eine Tätigkeit in die Matrix der betrieblichen Auswirkung entsteht eine neue Matrix, welche die zu untersuchenden Tätigkeit-/Maßnahme-Kombinationen beinhaltet. Aufgrund der bereits dargestellten Abhängigkeiten ist es möglich, mit den in einem Versuch erfassten verkehrlichen und betrieblichen Auswirkungen mehrere Kombinationen zu erfüllen. Die Auswahl der erforderlichen Versuche ist unter Berücksichtigung dieser Tatsache getroffen und hinsichtlich einer möglichst großen Erkenntnisbreite optimiert. Bei dieser Optimierung wurde auf Redundanzen hinsichtlich der Datenerhebung verzichtet.

4.2.3 Vorhandene Versuche

Die vorhandenen Feldversuche liegen aus zwei verschiedenen Untersuchungen vor, die das Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) der Universität Karlsruhe (TH) im Auftrag der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg durchgeführt hat. Gegenstand der ersten Grundlagenerforschung war die Entwicklung, Untersuchung und Bewertung von Maßnahmen zur Stauvermeidung beziehungsweise Staureduktion an Arbeitsstellen kürzerer Dauer (NORKAUER; 2002). Ziel war die Erarbeitung von Empfehlungen für die Praxis der Autobahnmeistereien.

In einem weiteren Forschungsprojekt lag das Ziel der Untersuchungen in der Klärung der Anwend-

barkeit und der Einsatzgrenzen einer Absicherung mit Verschwenkung (Maßnahme D 7) an Arbeitsstellen kürzerer Dauer (HESS, NORKAUER; 2003). Diese Form der Absicherung ist in Deutschland für Arbeitsstellen längerer Dauer der Regelfall (RSA; 1995; Regelplan DI/3) und wird gleichermaßen bei ortsfesten Spursubtraktionen angewendet (RAS-Q; 1996; Bild A-13). Im Regelwerk einiger europäischer Länder ist diese Form der Absicherung ebenfalls für Arbeitsstellen kürzerer Dauer bekannt und festgeschrieben.

Aus beiden Untersuchungen liegen eine Reihe von Erkenntnissen sowie Daten zu betrieblichen und verkehrlichen Auswirkungen von Maßnahmen zur Staureduktion vor, die in die spätere Analyse und Bewertung eingebracht werden sollen. Auf diese Weise kann das Programm der erforderlichen Feldversuche reduziert werden.

4.2.4 Durchzuführende Versuche

Nach Abzug der vorhandenen Feldversuche von den erforderlichen Feldversuchen bleibt eine Anzahl von Feldversuchen übrig, die durchzuführen sind. Das Versuchsprogramm ist aufgrund praktischer Randbedingungen bezüglich der Referenzen leicht modifiziert und durch drei „freie“ Versuche ergänzt. Aus den zusätzlichen Feldversuchen werden Erkenntnisse zu Sicherheitsaspekten und zur Auswirkung von starken Steigungen auf das Verflechtungsverhalten erwartet.

4.3 Erhebungsmethoden

Für die Aufnahme betrieblicher Daten steht geschultes und bereits bei früheren Untersuchungen eingesetztes Personal zur Verfügung. Bei der Erhebung verkehrlicher Daten finden neben manuellen Zählungen auch automatische Messverfahren Anwendung. Im Folgenden sind die unterschiedlichen Erhebungsmethoden dargestellt. Im Rahmen der Versuchsvorbereitung erfolgt eine zweckmäßige Auswahl der anzuwendenden Verfahren auf der Basis der Ziele des Feldversuchs und der lokalen Gegebenheiten, sodass nicht bei allen Versuchen alle Erhebungsmethoden zum Einsatz kommen.

4.3.1 Betriebliche Datenerfassung

In für die betriebliche Datenerfassung entwickelten Protokollen werden Grunddaten und spezifische Daten der durchgeführten Tätigkeiten erfasst. Zu den Grunddaten zählen zum Beispiel die Angabe

der Meisterei, die Stationierung der bearbeiteten Strecke und die Lage der Arbeitsstelle im Querschnitt. Alle durchgeführten Tätigkeiten werden im Detail protokolliert, wobei Angaben zu folgenden Bereichen erfasst werden:

- Anzahl der eingesetzten Personen,
- Art und Anzahl der Geräte,
- Mengenangaben zu den im Rahmen der Tätigkeit durchgeführten Teilarbeiten,
- Zeitangaben zu Arbeiten, Teilarbeiten und Unterbrechungen sowie
- Randbedingungen, die den Arbeitsablauf beeinflussen, und deren Ursachen.

Anhand der erfassten Daten können Pausen-, Rüst- und Arbeitszeiten getrennt und Kenngrößen zur Arbeitsleistung ermittelt werden. Über die erfassten Randbedingungen werden eventuell die Vergleichbarkeit beeinträchtigende Sonderfälle aufgedeckt.

4.3.2 Handzählung

Für die Erfassung der verkehrlichen Auswirkungen einer Maßnahme stehen mehrere Erhebungsverfahren zur Verfügung. Bei allen Feldversuchen zu den verkehrlichen Auswirkungen werden zwei voneinander unabhängige Zählungen durchgeführt. Eine Zählung kann als Handzählung oder als automatische Messung mit Radargeräten ausgeführt werden. Zum einen werden die Fahrzeuge auf den einzelnen Fahrstreifen im Vorfeld der Arbeitsstelle, nach Möglichkeit außerhalb des erwarteten Staubereichs, jedoch noch vor der nächsten Anschlussstelle, zum anderen im Bereich des Engpasses auf dem oder den verbleibenden Fahrstreifen erfasst. Falls die Bedingung „vor der nächsten Anschlussstelle“ nicht eingehalten werden kann, werden zusätzlich die aus- und einfahrenden Fahrzeuge an der Anschlussstelle aufgenommen und damit die Verkehrszahlen aus dem Vorfeld korrigiert.

Bei den Handzählungen handelt es sich um manuelle Querschnittszählungen, mit deren Hilfe „Fahrzeuge erfasst [werden], die während eines definierten Zeitabschnittes einen Zählquerschnitt passieren“ (EVE; 1991; Seite 3). Die Zählungen erfolgen in Fünf-Minuten-Intervallen, getrennt nach Fahrstreifen und differenziert nach Fahrzeuggruppen:

- motorisierte Zweiräder,
- Personenkraftwagen (Pkw),
- Kraftomnibusse,

- Lastkraftwagen bis 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht,
- Lastkraftwagen über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht (ohne Anhänger) sowie
- Last- und Sattelzüge.

Aus den erhobenen Daten können Aussagen zu den absoluten Verkehrsstärken sowohl vor als auch im Bereich der Arbeitsstelle getroffen werden. Darüber hinaus ist es möglich, den Schwerverkehrsanteil in der Verkehrsnachfrage (SV-Anteil), bestehend aus Lastkraftwagen über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht, sowie Last- und Sattelzügen zu ermitteln.

4.3.3 Magnetfelddetektoren

Zur Erfassung von Geschwindigkeiten kamen bei den vom Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) in die Untersuchung eingebrachten Feldversuchen Magnetfelddetektoren vom Typ Numetrics NC 90 A zum Einsatz. Sie erlauben automatische Querschnittszählungen und erfassen über Veränderungen im Erdmagnetfeld Anzahl, Typ, Geschwindigkeit und Zeitpunkt der passierenden Einzelfahrzeuge. Auf eine Auswertung hinsichtlich der Fahrzeuggruppen wurde aufgrund der

bekanntem Ungenauigkeiten der Detektoren in Bezug auf diesen Parameter verzichtet. Entsprechende Ergebnisse konnten aus den parallel durchgeführten Handzählungen gewonnen werden. Zwei Magnetfelddetektoren, die in Form von Messplatten aus Aluminium (Bild 14) unter einer Schutzhaube aus Hartgummi auf der Fahrbahn fixiert werden (Bild 15), werden jeweils im Bereich der Absperrtafel der stationären Arbeitsstelle montiert. Die Detektoren verbleiben für die Dauer der Arbeitsstelle auf der Fahrbahnoberfläche und wurden innerhalb eines Versuchs auf das gleiche Aufnahmezeitfenster programmiert.

4.3.4 Radardetektoren

Alternativ zu Handzählungen und Magnetfelddetektor können in der Regel Radardetektoren vom Typ SR 3 des Herstellers Sierzega Elektronik GmbH verwendet werden. Sie bieten vielseitigere Einsatzmöglichkeiten, weil sie einerseits Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten zuverlässig erfassen und andererseits ihre Einsatzbereitschaft schneller herzustellen ist. Nach erfolgreichen Vergleichsuntersuchungen mit anderen Geräten ersetzen die Radardetektoren bei den durchgeführten Feldversuchen die Messplatten vollständig.

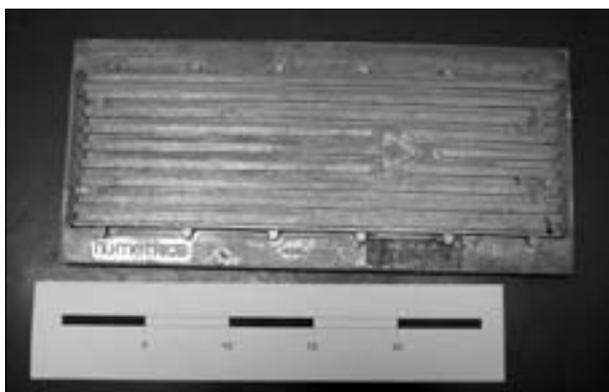


Bild 14: Magnetfelddetektor



Bild 15: Montage des Magnetfelddetektors



Bild 16: Montiertes Radargerät



Bild 17: Komponenten eines Radargerätes

Ihr Messprinzip beruht auf dem „relativistische[n] Doppler³-Effekt“ (DOBRINSKI, KRAKAU, VOGEL; 1984), der die Frequenzverschiebung zwischen ausgesandter und reflektierter Welle bezeichnet. Mit den Geräten können Länge und Geschwindigkeit der passierenden Einzelfahrzeuge sowie der zeitliche Abstand (Zeitlücke) zum vorausfahrenden Fahrzeug bestimmt werden. Für die Ermittlung der Verkehrszusammensetzung wird aus der gemessenen Länge auf den Fahrzeugtyp geschlossen.

Im Rahmen der Einsätze kann mit den Radardetektoren einerseits die Geschwindigkeits- und Zeitlückenmessung an den Absperrtafeln realisiert werden, andererseits können sie aber auch zur Verkehrszählung im Vorfeld zum Einsatz kommen. Da die elektromagnetischen Wellen über einen Fahrstreifen hinaus reichen und die Geräte dadurch den Verkehr auf allen Fahrstreifen in ihrer Reichweite zu messen versuchen, werden Fahrzeuge, die sich in die gleiche Richtung bewegen und dabei teilweise verdecken, als ein langes Fahrzeug registriert. Aus diesem Grund können am Messquerschnitt parallel verlaufende Fahrstreifen nur von oben aufgenommen werden. Hierdurch ist der Einsatz bei manchen Versuchen in Abhängigkeit von den lokalen Bedingungen eingeschränkt und genau zu prüfen.

4.3.5 Videoaufzeichnung

Um das Verhalten der Fahrer-Fahrzeug-Einheiten analysieren zu können, werden in einzelnen Versuchen Videokameras eingesetzt, die stundenweise die Fahrzeugbewegungen auf der Fahrbahn aufzeichnen. Mit dieser Erhebungsmethode „werden äußere Merkmale und aktuelle, sichtbare Verhaltensweisen der Verkehrsteilnahme“ (EVE; 1991; Seite 4) beobachtet. Für die Analyse der Vorgänge bei Annäherung und Verflechtung des Verkehrs kommen die Kameras im Bereich vor der Absperrtafel der Arbeitsstelle zum Einsatz. Diese Aufzeichnungen erlauben zumindest qualitative Aussagen hinsichtlich unterschiedlicher Schwerpunkte, wie zum Beispiel Art und Anzahl gefährlicher Situationen. Für die Feldversuche sind so zumindest Hinweise auf die Qualität und Sicherheit des Verkehrsablaufs an der Arbeitsstelle zu erhalten. Quantitative Aussagen zum Unfallrisiko im Bereich einer Arbeitsstelle sind leider nicht möglich.

4.4 Versuchsdurchführung

Grundsätzlich ist ein Eingriff in den Verkehrsablauf zu Forschungszwecken so weit wie möglich zu vermeiden. Deshalb erfolgt die Versuchsdurchführung in Verbindung mit planbaren Tätigkeiten, deren Ausführungstermin zwischen Forschungsnehmer und Autobahnmeisterei abgestimmt wird. So können zusätzliche Behinderungen des Verkehrsablaufs weitgehend vermieden werden. Im Zeitraum vom 12. Mai 2004 bis 31. Oktober 2004 wurden insgesamt 22 Feldversuche in sechs Bundesländern durchgeführt. In zwei weiteren Fällen erfolgte ein Abbruch der Feldversuche aufgrund besonderer Bedingungen.

4.4.1 Auswahl der Versuchsstrecken

Neben dem Ziel, bei den betrieblichen Erhebungen eine möglichst große Zahl verschiedener Bundesländer und letztendlich Autobahnmeistereien zu berücksichtigen, werden bei den Feldversuchen mit verkehrlichen Erhebungen konkrete Anforderungen an die Streckenabschnitte gestellt. Im Einzelnen bestimmt sich die Auswahl über die Anzahl der Fahrstreifen einer Richtungsfahrbahn, das Vorhandensein eines Standstreifens, die Verkehrsbelastung und -zusammensetzung sowie die Gradienten der Strecke.

Für die Untersuchung einer Maßnahme zur Staureduktion ist in der Regel ein Versuchspaar erforder-

³ Christian DOPPLER, 1803 bis 1853, Veröffentlichung der Entdeckung des nach ihm benannten Dopplereffekts am 25. Mai 1842 in seinem Buch „Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels“ in Prag

lich, bei dem neben einem Feldversuch unter Anwendung einer Maßnahme ein weiterer als Referenzfall ohne deren Anwendung durchzuführen ist. Für betriebliche Referenzen erfolgt in beiden Fällen ein Einsatz der gleichen Kolonne. Eine Untersuchung auf der gleichen Strecke ist nicht zwingend, sofern die Strecken vergleichbare Randbedingungen hinsichtlich der Arbeitsbedingungen aufweisen. Bei der Untersuchung verkehrlicher Referenzen ist die gleiche Strecke zu untersuchen, wobei das in der Regel einen Einsatz der gleichen Kolonne impliziert. Darüber hinaus ist ein Vorfeld von mehreren Kilometern Länge notwendig, in dem sich keine wesentlichen Änderungen der Streckencharakteristik ergeben. Nur so ist sicherzustellen, dass sich die Verkehrsnachfrage im ungestörten Zulauf erfassen lässt.

4.4.2 Unterschiede zur Versuchsplanung

Aufgrund der vielfältigen Randbedingungen unterscheidet sich das tatsächlich durchgeführte Versuchsprogramm etwas von der Versuchsplanung.

Nicht in allen Fällen können infolge der örtlichen Gegebenheiten kurzfristig auftretende Situationen und daraus folgende Änderungen ausgeglichen werden. In drei Fällen hatte das einen entscheidenden negativen Einfluss auf die Feldversuche:

- Im Feldversuch 16 kam es bei einem Einsatz der Maßnahme Arbeit bei Dunkelheit mit verkehrlicher Untersuchung infolge der „großzügigen“ Auslegung der verkehrsrechtlichen Anordnung durch die eingesetzte Fremdfirma statt zu der geplanten einstreifigen Verkehrsführung auf einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn nur zu einer zweistreifigen mit verengtem Fahrstreifen. Dadurch konnten keine Geschwindigkeitsdaten in der Arbeitsstelle erhoben werden. Bei der späteren Umsetzung der Arbeitsstelle von rechts nach links, dann mit einstreifiger Verkehrsführung, erfolgte zwar noch eine Verkehrszählung, traten aber infolge der zeitlichen Verzögerung in die Nachtstunden keine Behinderungen mehr auf.
- Am 08. und 09. September 2004 trat wegen des unerwartet früh einsetzenden Ferienrückreiseverkehrs eine Unterschätzung des Verkehrsaufkommens auf. Dadurch kam es bereits bei zweistreifiger Verkehrsführung auf einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn zu erheblichen Behinderungen. Auf die für später geplante Ausweitung der Arbeiten und dann einstreifige

Verkehrsführung wurde deshalb verzichtet. Die anreisenden Teams für die betriebliche und verkehrliche Datenaufnahme konnten unterwegs verständigt werden und die Fahrt abbrechen.

- Am 22. September 2004 erreichte nach dem Aufbau der Messgeräte eine Starkregenfront den Autobahnabschnitt, auf dem in einer Arbeitsstelle Fahrbahninstandsetzungsarbeiten durchgeführt werden sollten. Es kam in der Folge gar nicht zur Einrichtung der Arbeitsstelle und damit zum Abbruch des Feldversuchs.

Nicht alle Änderungen sind jedoch negativ zu werten. So konnten bei Feldversuch 10 eine neue Maßnahme zur Staureduktion und im Feldversuch 13 eine bisher unbeobachtete Tätigkeit untersucht werden.

Im Laufe der Absprachen mit den Autobahnmeistereien stellte sich heraus, dass die während des Feldversuchs 16 aufgetretenen Schwierigkeiten ein grundsätzliches Problem bei der Untersuchung von Maßnahmen zur Staureduktion im Zusammenhang mit einstreifigen Verkehrsführungen auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen darstellen. Für eine solche Verkehrsführung sind die Sperrung von zwei Fahrstreifen zur Durchführung von Tätigkeiten und bei Arbeiten auf der linken Fahrbahnseite das Fehlen eines ausreichend bemessenen Standstreifens Voraussetzung. Während letztere Voraussetzung im deutschen Autobahnnetz noch relativ leicht zu erfüllen ist, kommen für die Sperrung von zwei Fahrstreifen nur die Tätigkeiten Markierungsarbeiten und Fahrbahninstandsetzung in Frage. Absicherungen von Markierungsarbeiten werden in der Praxis allerdings in einer möglicherweise unbeabsichtigten Auslegung der in den RSA festgelegten Regeln durch ein seitliches „Drücken“ des Verkehrs neben die Markierung realisiert. In der Folge reduziert sich die Auswahl der Tätigkeiten auf Fahrbahninstandsetzungen. Bei dieser Tätigkeit mangelt es jedoch in der Regel an einem ausreichenden Arbeitsumfang innerhalb eines Streckenabschnitts, um mehrere Arbeitsstellen einzurichten, wie es für die Untersuchung der Maßnahme zwei Arbeitsstellen oder für Referenzversuche erforderlich ist. Eine Kombination der Tätigkeit Fahrbahninstandsetzung mit der Maßnahme Arbeitsunterbrechung scheidet aus. Durch die Erhebung zusätzlicher Daten ist es möglich, die betrieblichen Auswirkungen der Maßnahmen theoretisch und die verkehrlichen Auswirkungen im mikroskopischen Simulationsmodell nachzubilden. Es bleibt aller-

dings zu diskutieren, ob eine weitere Untersuchung unter den vorgenannten Bedingungen von Relevanz für die Aufgabenerfüllung im Straßenbetriebsdienst ist.

4.4.3 Beteiligte Autobahnmeistereien

Mit Unterstützung der Straßenbauverwaltungen der Länder wurde zu Autobahnmeistereien mit geeigneten Strecken Kontakt hergestellt. Bei den folgenden Absprachen vor Ort wurden die Versuche in Abhängigkeit von den erforderlichen Rahmenbedingungen terminiert und der Umfang der benötigten Unterstützung des Forschungsnehmers durch die Meistereien abgesprochen. Mit wenigen Aus-

nahmen nahmen die Mitarbeiter von Autobahnmeistereien und Fremdfirmen die Untersuchungen positiv auf und unterstützten die Durchführung der Feldversuche mit großem Engagement.

4.4.4 Durchgeführte Feldversuche

Bei allen durchgeführten Feldversuchen (Tabelle 2) erfolgte eine betriebliche Datenaufnahme, die Personal- und Fahrzeug- bzw. Geräteeinsatz, Arbeitsgeschwindigkeiten und die Aufteilung der zeitlichen Komponenten der Tätigkeit beinhaltet. Viele Versuche galten darüber hinaus auch verkehrlichen Fragestellungen. In diesen Fällen wurden die Verkehrsstärke und der SV-Anteil pro Fahrstreifen so-

Projekt	Versuchs-Nummer	Status	Maßnahme	Tätigkeit	Verkehrsführung
EMPOR AkD	1	13.09.04	D 1: Arbeit bei Dunkelheit	T 4r: Reinigen Entwässerung rechts	V 2.1: Zweistreifig, stationäre AkD 1. FS
EMPOR AkD	2	16.06.04	D 1: Arbeit bei Dunkelheit	T 7r: Markierungsarbeiten zum Standstreifen	V 2.1: Zweistreifig, mobile AkD 1. FS
EMPOR AkD***	3	09.09.04	D 1: Arbeit bei Dunkelheit	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.12s: Dreistreifig, stationäre AkD 1.+2. FS
EMPOR AkD***	3	22.09.04	D 1: Arbeit bei Dunkelheit	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.23s: Dreistreifig, stationäre AkD 2.+3. FS
EMPOR AkD	3	27.09.04	D 1: Arbeit bei Dunkelheit	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.23s: Dreistreifig, stationäre AkD 2.+3. FS
EMPOR AkD	4	26.05.04	D 3: Zwei Arbeitsstellen	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.1s: Dreistreifig, stationäre AkD 1. FS
EMPOR AkD	5	15.07.04	D 3: Zwei Arbeitsstellen	T 1r: Grasmahd Bankett und Böschung rechts	V 3.1m: Dreistreifig, quasi-stationäre AkD 1. FS
EMPOR AkD*	6	17.09.04	D 3 nicht angewendet	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.12s: Dreistreifig, stationäre AkD 1.+2. FS
EMPOR AkD*	7	18.09.04	D 3 nicht angewendet	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.12s: Dreistreifig, stationäre AkD 1.+2. FS
EMPOR AkD	8	12.05.04	D 3: Zwei Arbeitsstellen	T 7l: Markierungsarbeiten zum Mittelstreifen + T 3l	V 3.3m: Dreistreifig, mobile AkD 3. FS
EMPOR AkD	9	10.06.04	D 3 neu: Kombination	T 6l: Kombination links	V 2.2: Zweistreifig, mobile AkD 2. FS
EMPOR AkD	10	07.06.04	D 3 neu: Kombination	T 6: Kombination links + rechts	V 2.20: Zweistreifig, mobile AkD 2. FS + Standstreifen
EMPOR AkD*	11	31.10.04	D 4 nicht angewendet + MdS	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.12s: Dreistreifig, stationäre AkD 1.+2. Fahrstreifen
EMPOR AkD*	11+	12.10.04	D 4 nicht angewendet	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.23s: Dreistreifig, stationäre AkD 2.+3. Fahrstreifen
EMPOR AkD	12	08.06.04	D 4: Arbeitsunterbrechung	T 1l: Grasmahd Mittelstreifen	V 2.2: Zweistreifig, mobile AkD 2. FS
EMPOR AkD	13	04.08.04		T 4: Drainagespülung	V 2.0: Zweistreifig mobile AkD Standstreifen
EMPOR AkD	14	14.09.04	D 6: Referenz (zu V 1)	T 4r: Reinigen Entwässerung rechts	V 2.1: Zweistreifig, stationäre AkD 1. FS
EMPOR AkD	15	27.05.04	D 6: Referenz (zu V 6/7)	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.12s: Dreistreifig, stationäre AkD 1.+2. FS
EMPOR AkD**	16	11.07.04	D 1: Arbeit bei Dunkelheit	T 7z: Markierungsarbeiten zwischen Fahrstreifen	V 3.23s: Dreistreifig, stationäre AkD 2.+3. FS
EMPOR AkD*	16+	27.09.04	D 6: Referenz (zu V 3) + MdS	T 8f: Fahrbahninstandsetzung	V 3.23s: Dreistreifig, stationäre AkD 2.+3. Fahrstreifen
EMPOR AkD	17	08.06.04	D 6: Referenz (zu V 9/10)	T 6l: Tätigkeiten einzeln	V 2.2: Zweistreifig, mobile AkD 2. FS
EMPOR AkD	18	09.06.04	D 6: Referenz (zu V 9/10)	T 6l: Tätigkeiten einzeln	V 2.2: Zweistreifig, mobile AkD 2. FS
EMPOR AkD	19	16.06.04	D 6: Referenz (zu V 2)	T 7l: Markierungsarbeiten zum Standstreifen	V 2.1: Zweistreifig, mobile AkD 1. FS
EMPOR AkD	20	09.06.04	D 6: Referenz (zu V 12)	T 1l: Grasmahd Mittelstreifen	V 2.2: Zweistreifig, mobile AkD 2. FS

* Versuch mit Unterschieden zwischen Planung und Realität, die den Nutzen ändern oder einschränken
** Versuch mit so gravierenden Unterschieden zwischen Planung und Realität, dass nur wenig Nutzen daraus gezogen werden kann
*** Versuch wurde so früh abgebrochen, dass keine Ergebnisse vorliegen

Tab. 2: Durchgeführte Feldversuche

wohl vor als auch im Bereich der AkD, die Geschwindigkeiten neben den Absperrtafeln sowie das Annäherungsverhalten erfasst. Hierbei kamen die im Kapitel 4.3 vorgestellten Erfassungsmethoden zur Anwendung.

4.5 Auswertung (Grunddaten)

Zunächst erfolgt eine Vorauswertung der erhobenen Versuchsdaten, die eine gezieltere Analyse für die spätere Erarbeitung der Empfehlungen möglich machen soll.

4.5.1 Arbeitsgeschwindigkeit und Sperrzeit

Zur Beurteilung der betrieblichen Aspekte werden die Feldversuche in Bezug auf die erreichten Arbeitsgeschwindigkeiten und die damit erzielbaren Tages-Arbeitsleistungen sowie den Personal- und Fahrzeugeinsatz betrachtet.

Bei der Auswertung der Arbeitsgeschwindigkeiten werden in Anlehnung an DURTH, ROOS, HOLL-DORB (1995) die folgenden Unterscheidungen getroffen:

- **Praktische Arbeitszeit:** Unter der praktischen Arbeitszeit wird die Zeit von Arbeitsbeginn bis Arbeitsende am Einsatzort verstanden. Die Rüstzeiten in der Meisterei sowie die An- und Abfahrzeiten von/zur Meisterei sind aus Vergleichbarkeitsgründen nicht enthalten.
- **Nettoarbeitszeit:** Unter der Nettoarbeitszeit wird die praktische Arbeitszeit abzüglich der Verlustzeiten durch nicht vorhersehbare Unterbrechungen und Störungen der Arbeit verstanden (z. B. durch Arbeitsunterbrechung infolge von Staubbildung oder der Zeitverlust durch Ausfall eines Mähkopfes).
- **Effektive Arbeitszeit:** Unter der effektiven Arbeitszeit wird die Nettoarbeitszeit abzüglich der

Verlustzeiten durch vorhersehbare Unterbrechungen der Arbeit verstanden (z. B. der Zeitverlust durch das erneute Positionieren der Mäheinrichtung nach Brückendurchfahrten oder nach dem Passieren von Schilderbrücken).

Schwierigkeiten treten bei der Untersuchung von Fahrbahninstandsetzungen auf. Hier überlagern sich aufgrund der Bearbeitung mehrerer Stellen innerhalb einer Absperrung Zeiten für das Auskühlen oder -härten des Baustoffes mit den Rüstzeiten vor Ort. Darüber hinaus sinkt der Anteil der produktiven Zeit an der Zeit des tatsächlichen Eingriffs in den Verkehrsraum deutlich. Deshalb wird zunächst eine weitere Definition – die Sperrzeit – eingeführt. Darunter wird die Zeit verstanden, die von der Einrichtung der Arbeitsstelle bis zur Verkehrsfreigabe vergeht.

Analog zu den Festlegungen bezüglich der Arbeitszeit werden im Folgenden die Begriffe praktische, Netto- sowie effektive Arbeitsgeschwindigkeit verwendet. Während die praktische Arbeitsgeschwindigkeit also die von einer bestimmten Kolonne auf einem bestimmten Streckenabschnitt tatsächlich erbrachte Leistung widerspiegelt, beschreibt die Nettoarbeitsgeschwindigkeit, unter Wegfall der unvorhersehbar auftretenden Zeitverluste, die theoretisch von dieser Kolonne auf diesem Abschnitt erbringbare Leistung. Die effektive Arbeitsgeschwindigkeit entspricht der Leistung, die diese Kolonne unter Wegfall der unvorhersehbaren sowie der streckenbezogen auftretenden Zeitverluste theoretisch (unabhängig von der Streckenausstattung) hätte erbringen können.

Ausgehend von diesen Definitionen und Festlegungen ergibt sich, dass zum Vergleich der erbrachten Leistungen bei einem Versuch in Bezug auf eine bestimmte Tätigkeit (Grasmahd, Kehren, Reinigen von Entwässerungseinrichtungen, Reparatur von Schutzplanken, Markierung oder Fahrbahninstandsetzung) mit den in den Referenzfällen bzw. einem anderen Versuch mit vergleichbarer Tätigkeit erbrachten Leistungen bei gleicher/ähnlicher Strecke die Nettoarbeitsgeschwindigkeit und bei unterschiedlicher Strecke die effektive Arbeitsgeschwindigkeit herangezogen werden müssen.

4.5.2 Personal- und Fahrzeugeinsatz

Aus der betrieblichen Datenerfassung geht weiter hervor, wie viel Personal und Fahrzeuge im Einsatz waren, um die Leistung zu erbringen. Arbeiten im Verkehrsraum erfordern immer eine Sicherung der

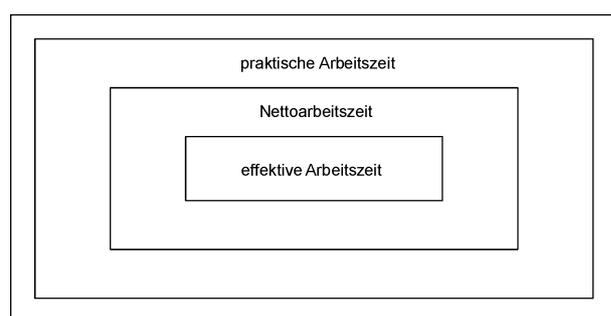


Bild 18: Zusammenhang der Arbeitszeitbegriffe

Feldversuch	Leistung	Sicherung		Tätigkeit	
		Personal	Fahrzeuge	Personal	Fahrzeuge
D – 9	Grünpflege	2	2	3	2
D – 11	Markieren	2	2	2	1
E – 2	Grünpflege	3	3	1	1
E – 15	Grünpflege	2	2	2	2
E – 22	Kehren	3	3	4	2
E – 26	Reinigen von Abläufen	2	2	3	2

Tab. 3: Fahrzeug und Geräteeinsatz (beispielhaft)

Arbeitsstelle. Im Hinblick auf die später zu quantifizierenden Differenzen mit und ohne Anwendung einer Maßnahme zur Staureduktion wird bei der Auswertung der Feldversuche eine getrennte Ausweisung von Personal und Fahrzeugen für Tätigkeit und Sicherung vorgenommen (Tabelle 3).

Es zeigt sich, dass der für die Sicherung der Arbeitsstelle erforderliche Aufwand in der Regel die gleiche Größenordnung erreicht wie für die auszuführende Tätigkeit selbst. Nur bei manuellen Arbeiten sind noch eindeutig mehr Personen mit der Tätigkeit als der Sicherung beschäftigt.

4.5.3 Verkehrsstärke und Stauentwicklung

Bei allen Messungen kann aus den Daten der Radardetektoren und den Zählraten ein vollständiges Bild der Verkehrsmengen im Vorfeld und in der AkD ermittelt werden. Bei einigen Messungen sind auch Zählraten aus Anschlussstellen zwischen Vorfeldzählung und Arbeitsstelle vorhanden. Sie dienen der Korrektur der Vorfeldzählung, um die Verkehrsnachfrage direkt an der Arbeitsstelle zu bestimmen. Aus den Sätzen von Fünf-Minuten-Zählungen werden Stundenwerte berechnet und

- Minimum,
- Mittelwert sowie
- Maximum

der Stundenwerte für die Verkehrsstärke ermittelt. Für das Vorfeld erfolgt dies auch für die Summen aus den Werten aller Fahrstreifen. Auf diese Weise ist die nachgefragte Verkehrsstärke zu bestimmen, sofern der Rückstau vor der Arbeitsstelle nicht bis über den Vorfeldzählquerschnitt hinaus reicht. Diese Bedingung ist für alle durchgeführten Feldversuche erfüllt. Aus der nach Fahrzeuggruppen

getrennten Aufnahme werden die Schwerverkehrsanteile der Verkehrszusammensetzung berechnet.

Diese Daten bilden die Grundlage für das weitere Vorgehen in der mikroskopischen und makroskopischen Simulation des Verkehrsablaufs. Eine Verwendung erfolgt ausschließlich zur Kalibrierung der Simulationsmodelle. Es erfolgt kein direkter Vergleich der Ergebnisse mit anderen Feldversuchen.

4.5.4 Daten zum Verkehrsablauf

Neben der Verkehrszählung kamen die Radardetektoren auch zur Messung der Geschwindigkeiten und Zeitlücken neben den Sicherungswänden zum Einsatz. Über die Verteilung von Geschwindigkeiten und Zeitlücken lassen sich Rückschlüsse auf den Verkehrsablauf und die Akzeptanz von Geschwindigkeitsbegrenzungen ziehen. Zusätzlich dienen Videoaufzeichnungen der Verflechtungs- und Verschwenkungsbereiche als Hilfsmittel zur visuell-subjektiven Beurteilung hinsichtlich der Verkehrssicherheit.

4.6 Auswertung (Arbeitsstelle)

Im nächsten Auswertungsschritt erfolgt zunächst die Betrachtung der betrieblichen Arbeitsabläufe.

4.6.1 Betriebliche Vergleiche

Aufgrund der Vielzahl der zur Ermittlung der effektiven Arbeitszeit zu erfassenden Daten hat es sich bei der Auswertung der Versuchsprotokolle und den daraufhin durchgeführten Vergleichen vor Ort gezeigt, dass die Quote der nicht systematischen Fehler in der Erfassung der streckenbezogenen Verlustzeiten, insbesondere bei zeitlich längeren mobilen Arbeitsstellen, zu unplausiblen Aussagen hinsichtlich der effektiven Arbeitszeit und damit in der Ermittlung der effektiven Arbeitsgeschwindigkeit führen kann. So sollte für den Vergleich der Versuche mit den Tätigkeiten Grasmahd und Kehren nicht die effektive, sondern die Nettoarbeitszeit beziehungsweise -geschwindigkeit herangezogen werden.

Schon auf den ersten Blick fällt auf, dass die Spanne zwischen der niedrigsten und höchsten erreichten Arbeitsgeschwindigkeit (Bild 19) sehr groß ist.

Die Nettogeschwindigkeiten liegen zwischen etwas mehr als einem Kilometer pro Stunde in Feldversuch (FV) D-13 und E-7 sowie bei acht Kilometer pro Stunde in FV D-6 und E-19. Bei der getrennten

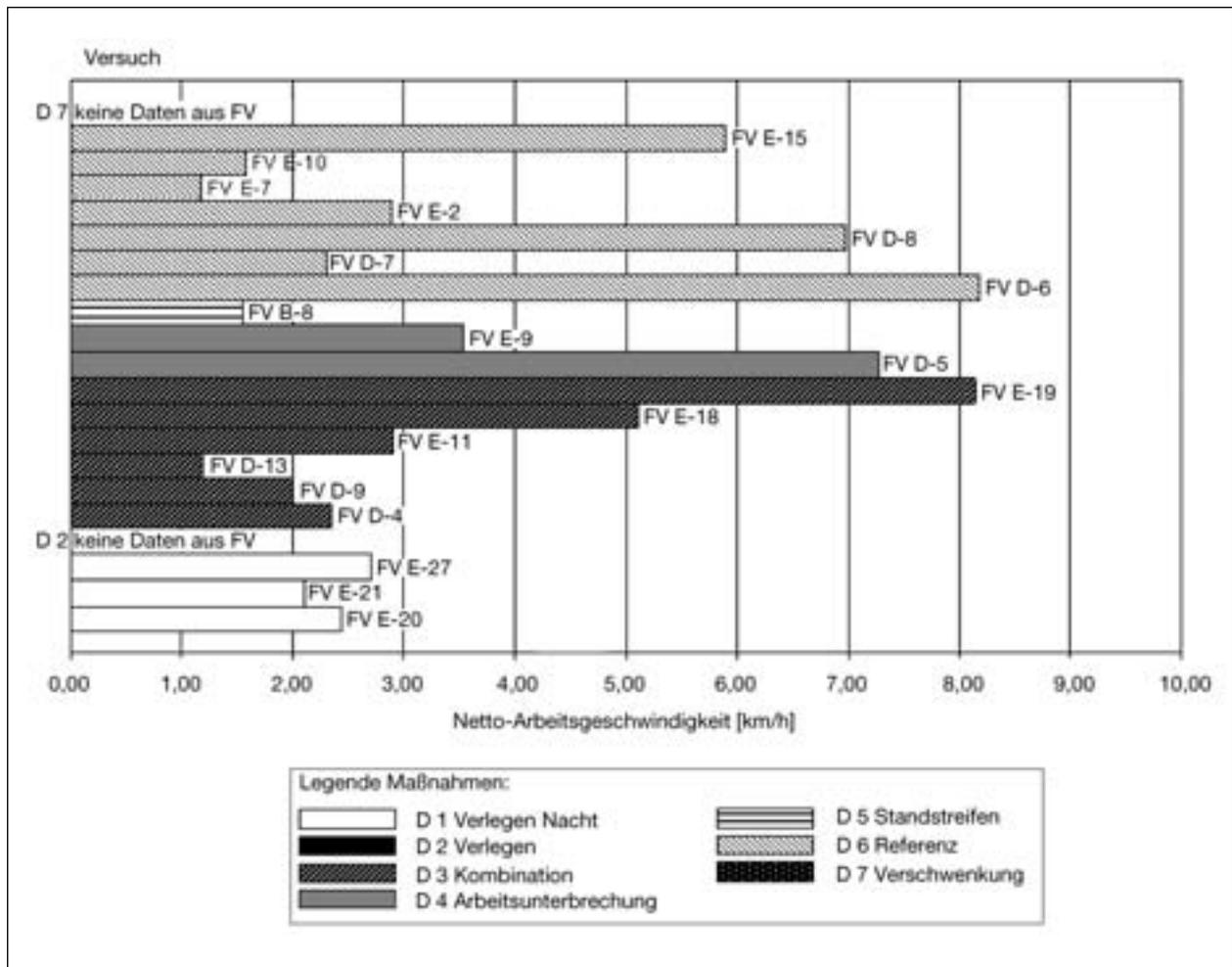


Bild 19: Netto-Arbeitsgeschwindigkeit – Grasmahd

Betrachtung der beiden Arbeitsstellen in einer Maßnahme D 3 „Zwei Arbeitsstellen“ fällt auf, dass die Geschwindigkeitsunterschiede deutlich geringer ausfallen. Im Mittel liegen die beobachteten Geschwindigkeiten jedoch im Bereich der aus der neueren Literatur bekannten Werte. DURTH, ROOS, HOLLDORB (1995) nennen für die Grasmahd in Abhängigkeit vom eingesetzten Geräteträger und Mähgerät eine erreichbare Arbeitsgeschwindigkeit von zwei bis vier Kilometern pro Stunde.

In den Feldversuchen erfolgte die Begleitung von Arbeitsstellen mit zum Teil sehr unterschiedlich langer Dauer. Eine Hochrechnung der Arbeitsleistung auf einen Arbeitstag wird diese Unterschiede noch deutlicher hervortreten lassen. Trotzdem setzt der Vergleich von Maßnahmen insbesondere im Hinblick auf ihre verkehrlichen Auswirkungen eine einheitliche Dauer der Arbeitsstellen voraus. In Anlehnung an DURTH, ROOS, HOLLDORB (1995) werden daher alle Daten auf eine Arbeitsdauer von fünf

Stunden umgerechnet. Anhand zweier Tätigkeiten, Mäharbeiten (Tabelle 9, S. 45) und Leitpfostenreinigung (Tabelle 12, S. 47) kommt vorgenannte Untersuchung zu dem Schluss, dass die im Verlauf eines regulären Arbeitstages mit einer Tätigkeit verbrachte Zeit einer Arbeitskolonne im Durchschnitt fünf Stunden beträgt. Die verbleibende Zeit entfällt auf „tätigkeitsbedingte Nebenarbeiten“, „Fahrten“ und „sonstige Tätigkeiten“ (DURTH, ROOS, HOLLDORB; 1995). Auf dieser Basis werden die Arbeitsgeschwindigkeiten auf potenzielle Tagesleistungen hochgerechnet.

Dabei verstärken sich die beobachteten Unterschiede erwartungsgemäß noch deutlich (Bild 20).

Analog erfolgt die Auswertung auch für die anderen Tätigkeiten. Die beobachteten Differenzen der Arbeitsgeschwindigkeiten sind dabei nicht so hoch wie bei der Grasmahd. So liegen der niedrigste, FV E-22, und höchste, FV E-1, Wert beim Kehren (Bild 21) ähnlich wie bei der Schutzplankenreparatur, FV

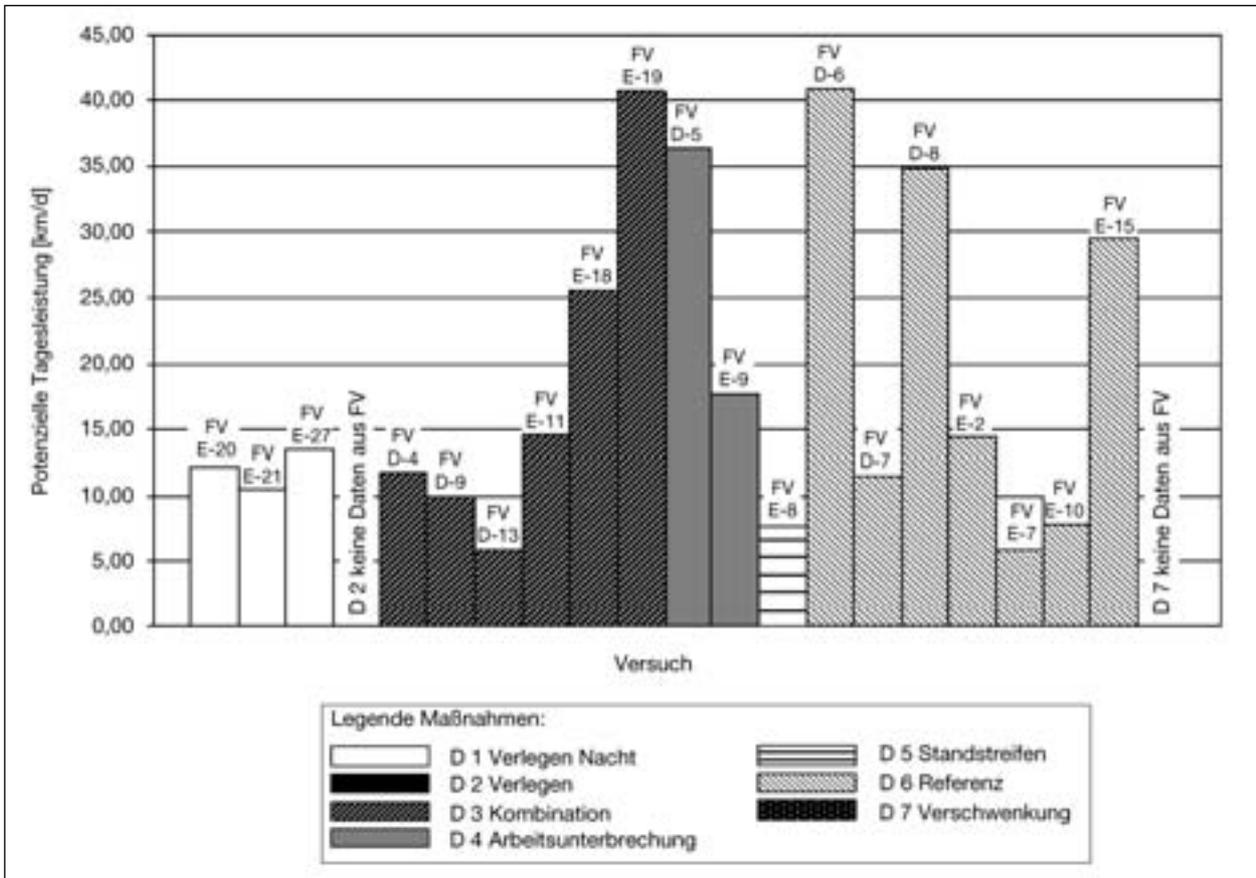


Bild 20: Potenzielle Tagesleistung – Grasmahd

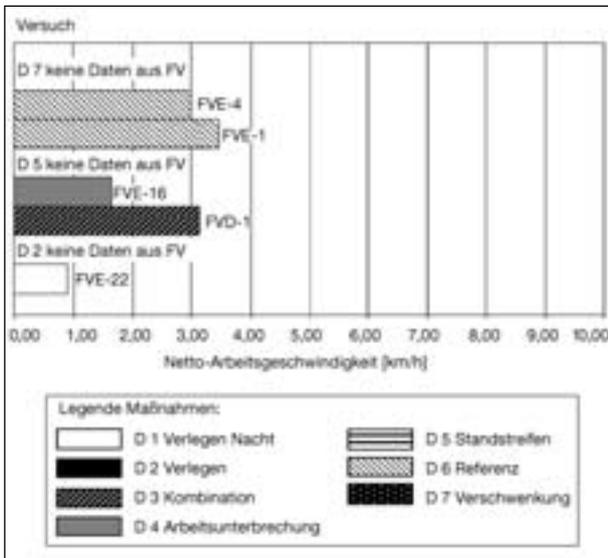


Bild 21: Netto-Arbeitsgeschwindigkeit – Kehren

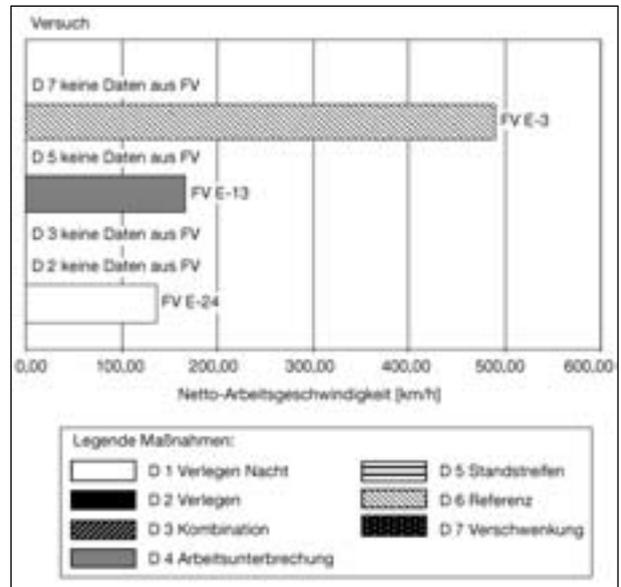


Bild 22: Netto-Arbeitsgeschwindigkeit – Schutzplattenreparatur

E-24 und FV E-3 (Bild 22), nur um den Faktor drei auseinander.

Bei der Reinigung der Entwässerungseinrichtungen ist eine solche Auswertung differenzierter zu betrachten. Hier wird zwischen der Reinigung von Schlitzrinnen und Abläufen unterschieden.

Während sowohl beim Kehren als auch bei der Schutzplattenreparatur der Versuch mit Nacharbeit, FV E-22 beziehungsweise FV E-24, eine geringere Arbeitsgeschwindigkeit aufweist als die anderen, liegen die Werte für die Tätigkeiten Grasmahd

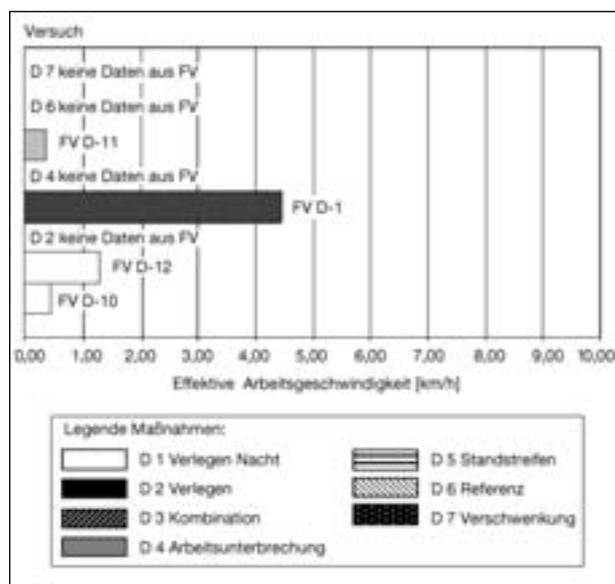


Bild 23: Effektive Arbeitsgeschwindigkeit – Markieren

oder Markieren (Bild 23) im mittleren Bereich aller Versuche. In den Untersuchungen von NORKAUER (2002) fällt bezüglich der Tätigkeit Grasmahd auf, dass die Versuche, bei denen zwei Arbeitskolonnen zum Einsatz kamen – auch bei Betrachtung der einzelnen Kolonne –, immer zu den schnelleren einer Meisterei zählen. Ausgehend von den drei durchgeführten Versuchen stellt er fest, dass durch die Maßnahme D 3 „Zwei Arbeitsstellen“ eine Leistungssteigerung zu beobachten ist, die nicht mit einer Erhöhung der technischen oder personellen Kapazität zu erklären ist. Er gibt aber zu bedenken, dass die Ausgangssituation für die zu bearbeitenden Bereiche wie zum Beispiel die Höhe des Grases nicht objektiv nachvollziehbar war. Letztere Tatsache erschwert die Vergleiche zwischen unterschiedlichen Einsätzen in allen Fällen. Es können auf Grundlage der fast 40 Feldversuche in den Untersuchungen von NORKAUER (2002) und der 22 aktuell durchgeführten Feldversuche mit betrieblicher Datenerhebung aber folgende Schlüsse gezogen werden:

- Zumindest kurzfristig scheint der Einsatz von zwei Arbeitsstellen eine Art Konkurrenzsituation auszulösen, die sich in einer Steigerung der Arbeitsleistung niederschlägt.
- Sofern für eine ausreichende Beleuchtung von Arbeitsplatz und Arbeitsraum gesorgt ist, können bei Nachtarbeit weder eine Verringerung der Quantität noch eine Verschlechterung der Qualität nachgewiesen werden.
- Der Einfluss auf die Arbeitsleistung einer Kolonne aus nicht systematisch erfassbaren Rah-

menbedingungen wie der Ausgangssituation, Motivation oder unvorhersehbaren Zeitverlusten ist deutlich größer als die Auswirkungen einer Maßnahme zur Staureduktion.

4.6.2 Beleuchtung von Arbeitsstellen

Im Rahmen der vorliegenden Auswertung zur Beleuchtung von Arbeitsstellen werden Erkenntnisse aus fünfzehn Feldversuchen mit Arbeitsstellen bei Dunkelheit betrachtet, davon zwei aus den Pilotversuchen von KOB (2000), acht aus Untersuchungen von NORKAUER (2002) und fünf aus den aktuellen Untersuchungen. Hierbei kamen fünf unterschiedliche Arten der Beleuchtung des Arbeitsbereiches zum Einsatz:

- keine zusätzliche Beleuchtung,
- tragbare Halogenstrahler,
- zusätzliche Halogenstrahler am Arbeitsfahrzeug,
- Mehrfach-Halogenstrahler auf einem Fremdfahrzeug,
- Leuchtballone.

Eine zusätzliche Beleuchtung ist für alle Arbeiten erforderlich. Für maschinelle Arbeiten genügen Halogenstrahler am Arbeitsfahrzeug, die den Arbeitsplatz beleuchten. Da die Anforderungen an die Anbringung wegen der Blendgefahr für andere Verkehrsteilnehmer sowie der Vermeidung einer Übertragung von Vibrationen des Fahrzeugs auf den Strahler hoch sind, sollte diese Beleuchtungsart nur mit einer vom Hersteller am Arbeitsgerät vorgesehenen Ausstattung erfolgen. Für manuelle Tätigkeiten genügen solche Lichtquellen nicht. Mit tragbaren Halogenstrahlern wird zwar eine hohe Leuchtdichte am Arbeitsplatz selbst erzielt, die erforderliche Grundausleuchtung des Arbeitsbereiches wird aber wie bei Strahlern am Arbeitsfahrzeug nicht erreicht. Eine Blendwirkung für andere Verkehrsteilnehmer ist in beiden Fällen unwahrscheinlich. Auch eine Beeinträchtigung der Wirkung von Verkehrszeichen kann weitgehend ausgeschlossen werden. Problematisch ist aber, dass Personen, die aus den unbeleuchteten Randbereichen in den Arbeitsbereich treten, aufgrund der auffällig reflektierenden Kleidung plötzlich hell erleuchtet sind. Im Hinblick auf Verkehrssicherheit und die Gefährdung des Personals ist dieser Effekt nicht zu tolerieren.

Mit vergleichsweise hohen Betriebskosten sind Formen der zusätzlichen Beleuchtung verbunden.

Schwierigkeiten in der praktischen Durchführung traten auf, wenn bei mobilen Arbeitsstellen eine solche Beleuchtung auf einem Fremdfahrzeug montiert war. „Sich mit konstantem Tempo möglichst nahe vor dem (Mäh-)Fahrzeug zu bewegen“ (KOB; 2000; S. 28) erfordert eine hohe Konzentration. Bei der Anwendung von Halogenstrahlern treten infolge des gerichteten Lichtes Schlagschatten auf. Zusätzlich ist das Ausrichten der Beleuchtungseinrichtung mit besonderer Sorgfalt vorzunehmen, um Blendwirkungen für die Verkehrsteilnehmer und Beeinträchtigungen der Wirkung von Verkehrszeichen zu vermeiden. Daraus folgt, dass ein Einsatz eigentlich nur bei Arbeiten am rechten Fahrbahnrand zu vertreten ist. Grundsätzlich besteht bei Halogenstrahlern das Problem, dass zur Reduktion von Blendwirkungen möglichst wenige, für eine Reduktion von Schlagschatten aber möglichst viele Strahler eingesetzt werden müssten. Abhilfe können hier Leuchtballone schaffen. Sie erzeugen eine gute bis sehr gute Grundausleuchtung ohne negative Auswirkungen für den angrenzenden Verkehr bei einer ebenfalls guten Arbeitsplatzbeleuchtung.

4.6.3 Besonderheiten der Verkehrsführung

Bei den Maßnahmen Absicherung mit Verschwenkung und bei der Standstreifenmitbenutzung traten Besonderheiten bezüglich der Verkehrsführung an der Arbeitsstelle auf.

Grundlage der vorliegenden Auswertung zur Absicherung mit Verschwenkung sind 18 Feldversuche aus einer Untersuchung von HESS und NORKAUER (2003). Aus den Daten zum Verkehrsablauf sowie in den visuellen Beobachtungen zeigt sich, dass der Abstand der beiden Absperrtafeln nicht beliebig groß gewählt werden darf. Einige Fahrzeugführer versuchen dann, den Bewegungsraum für Überholmanöver zu nutzen. In einem Versuch auf einer Strecke mit hohem Schwerverkehrsanteil interpretierten Fahrer von Lastkraftwagen die erste Absperrtafel als Aufforderung zur Mitbenutzung des Standstreifens, obwohl eine solche nicht angezeigt war. Die daraus resultierenden Situationen vor der Sicherungswand der Arbeitsstelle entsprachen den Beobachtungen bei zu großen Abständen und dürfen nicht toleriert werden. Darüber hinaus traten gefährliche Situationen bei Auf- und Abbau der Absicherung auf. Wenn die in Fahrtrichtung erste Absperrtafel zuerst aufgestellt oder abgebaut wird, kommt es beim Passieren der zweiten Absperrtafel an der Arbeitsstelle zu einer kurzen Vollsperrung

der Fahrbahn. Diese Situation löste bei den nachfolgenden Fahrern häufige Spurwechselvorgänge auf sehr kleinem Raum aus.

Grundlage der vorliegenden Auswertung zur Standstreifenmitbenutzung sind drei Feldversuche aus den Untersuchungen von NORKAUER (2002) und zwei aus den aktuellen Untersuchungen. Es hat sich gezeigt, dass die Verschwenkung auf den Standstreifen nur selten von Personenkraftwagen vollzogen wird. In der Regel müssen Lastkraftwagen als Pulkführer wirken. Daraus folgt die durch die nach Fahrstreifen getrennten Verkehrszahlen gestützte und visuell bestätigte Erkenntnis, dass von einer ausreichenden Akzeptanz der Standstreifenmitbenutzung nur bei deutlichen Schwerverkehrsanteilen in der Verkehrsnachfrage ausgegangen werden kann. Im Feldversuch 11, Maßnahme D 5 „Standstreifenmitbenutzung“ an einem Sonntag, blieb der Standstreifen trotz eines langen Staus vor der Arbeitsstelle weitgehend unbenutzt. Die Kapazität im Engpass unterschied sich nicht erkennbar von Feldversuchen mit einstreifiger Verkehrsführung. Mit den dargestellten Schwierigkeiten lässt sich vermutlich auch ein anderes Phänomen begründen, das in allen Feldversuchen auftrat. Am Ende der Arbeitsstelle mussten sich die Fahrzeuge auf dem Standstreifen mit den Fahrzeugen auf dem Hauptfahrstreifen, in der Regel Personenkraftwagen, verflechten oder ihre Rückkehr auf den regulären Fahrstreifen durch physisches Drängen erzwingen. Inwieweit dieses Phänomen ähnlich mindernd auf die Kapazität im Engpass wirkt wie ein geringer Schwerverkehrsanteil, konnte nicht festgestellt werden.

4.7 Betrieblicher Mehraufwand

Wenn Maßnahmen zur Staureduktion ergriffen werden, können dadurch aus unterschiedlichen Gründen betriebliche Mehrkosten entstehen. Um diese zusätzlichen Aufwendungen einer gezielten Analyse zugänglich zu machen, werden sie zunächst anhand der Feldversuche und dann verallgemeinert betrachtet.

4.7.1 Zusammensetzung der Kosten

Bei Arbeiten im Verkehrsraum ist immer eine Absicherung der Arbeitsstelle erforderlich. Deshalb kann zwischen echten Arbeitskosten und Kosten der Sicherung unterschieden werden. Hinzu kommen so genannte Gemeinkosten, die aus dem Vor-

halten von Kapazitäten und der Organisation der Arbeiten herrühren. Es ist zu erwarten, dass einer konsequenten Umsetzung von Maßnahmen zur Staureduktion in der täglichen Praxis ein Anstieg der Gemeinkosten folgt. Aus den durchgeführten Feldversuchen lassen sich diesbezüglich jedoch keine quantitativen Rückschlüsse ziehen. Folglich beschränkt sich die Auswertung der zusätzlichen Kosten auf

- Arbeitskosten und
- Sicherungskosten.

Die betriebliche Erhaltung des deutschen Fernstraßennetzes obliegt den Straßenbauverwaltungen der Länder. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Kostensätze für eine Personalstunde oder den Geräteeinsatz in Abhängigkeit von der durchführenden Institution. Häufig existieren darüber hinaus verschiedene Verrechnungssätze innerhalb der einzelnen Länder. Um trotzdem eine Vergleichbarkeit in der Monetarisierung betrieblicher Mehraufwendungen zu erreichen, erfolgt deshalb die Berechnung von mittleren Kostensätzen aus den verschiedenen Sätzen der Bundesländer Brandenburg (Stand 2004 und 2005) und Baden-Württemberg (Stand 2002). Bei Fahrzeugen und Geräten werden zusätzlich Gruppen gebildet. Personalstunden werden einheitlich mit 29,50 € angesetzt.

4.7.2 Stückkosten

Ausgehend von den ausgewerteten Daten über Personal- und Fahrzeugeinsatz lässt sich durch Multiplikation mit den genannten Kostensätzen ein Vergleichspreis der ausgeführten Tätigkeit berechnen. Da bei fast allen Feldversuchen Angaben zu den bearbeiteten Längen oder Flächen vorliegen, können in einem weiteren Schritt die Stückkosten ermittelt werden. Auch hier bilden sich die bereits diskutierten großen Unterschiede heraus.

Aufgrund des zusätzlich entstehenden Aufwands für die Beleuchtung und die verbesserte Absicherung der Arbeitsstelle liegen die Kosten der Feldversuche mit Nachtarbeit nun im Vergleich zu den anderen Versuchen höher, wie am Beispiel der Schutzplankenreparatur (Bild 24) und von Markierungsarbeiten (Bild 25) zu erkennen ist. Für alle anderen Maßnahmen scheint sich keine Tendenz identifizieren zu lassen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass zur Maßnahme D 7 „Absicherung mit Verschwenkung“ kein einziger betrieblich ausgewerteter Feldversuch zum Vergleich vorliegt.

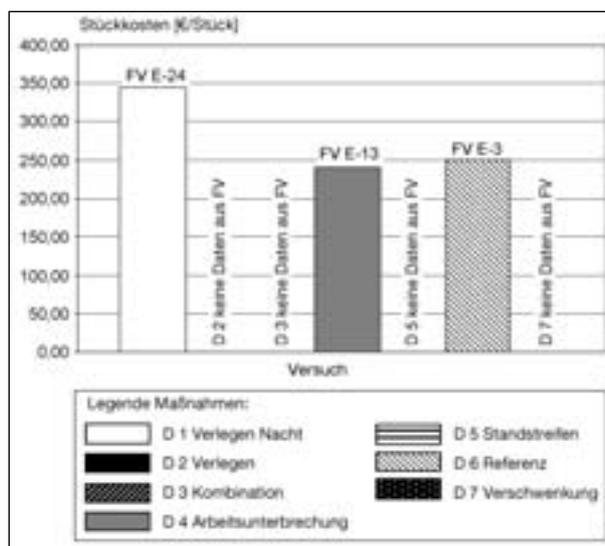


Bild 24: Stückkosten – Schutzplankenreparatur

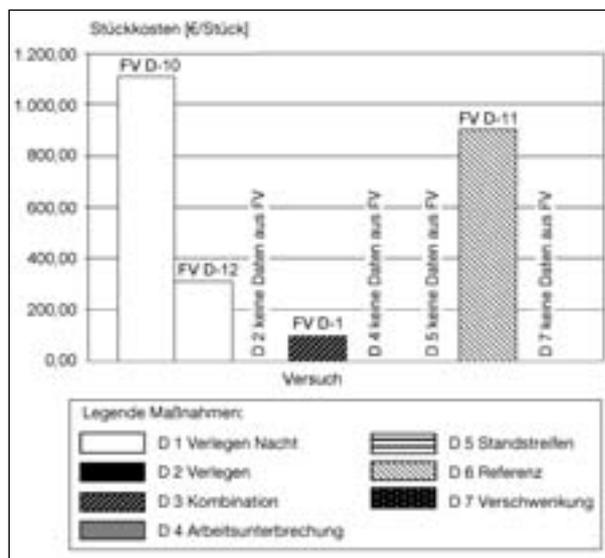


Bild 25: Stückkosten – Markieren

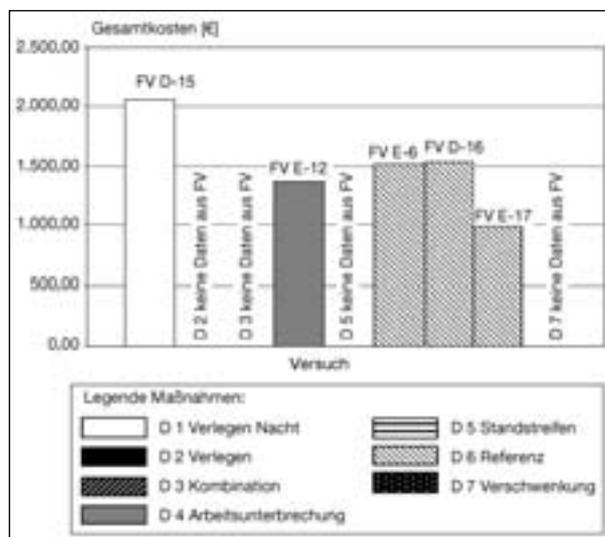


Bild 26: Gesamtkosten – Entwässerung Reinigung Rinnen

Für die Stückkosten erfolgt wieder eine Hochrechnung auf die theoretische Tagesleistung (vgl. Kapitel 4.6.1), repräsentiert als Gesamtkosten von ausgeführter Tätigkeit und erforderlicher Absicherung für einen Tag (Bild 26). So weit möglich, erfolgt im ersten Schritt eine getrennte Berechnung der Arbeits- und Sicherungskosten. Auf diese Weise kann bei der Hochrechnung der Kosten eine Unterscheidung zwischen den Kosten für die Absicherung der Arbeitsstelle und den reinen Arbeitskosten getroffen werden.

4.7.3 Mehraufwand nach Maßnahme

Infolge von Randbedingungen bei der praktischen Durchführung der Feldversuche ist eine Ermittlung der Mehrkosten aus der Differenz zwischen einem Versuch mit und einem Versuch ohne Maßnahme zur Staureduktion nur in seltenen Fällen möglich. Die Tätigkeiten werden entweder nicht von der gleichen Kolonne und nicht mit vergleichbarer Ausstattung durchgeführt oder die bearbeitete Strecke ist verschieden.

Für spätere Nutzen/Kosten-Betrachtungen ist eine Vergleichbarkeit unerlässlich, deshalb wird parallel zu den Auswertungen der in den Feldversuchen protokollierten Arbeitsstellen eine Musterbaustelle definiert (Tabelle 4). Auf der Grundlage der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Tätigkeiten wird hierfür eine Arbeitsstelle zur Grünpflege, bestehend aus

- einem Mehrzweckgeräteträger
- mit Anbaumähgerät und
- Grasaufnahmeanhänger sowie
- einer selbstfahrenden Kehrmaschine

gewählt.

Musterbaustelle (MB) Grünpflege und Reinigung	Kosten [€/d]
1 MGT über 7,5 t	266,05
1 Anbau Mähgerät	94,60
1 Gras- und Laubaufnahmeanhänger	44,00
1 selbstfahrende Kehrmaschine	166,50
3 Personen Kernarbeit	442,50
2 Zugfahrzeuge (1 x Lkw ü. 2,8 t bis 12 t; 1 x Lkw ü. 12 t)	377,90
1 Sicherung	30,90
1 Vorwarntafel	30,90
2 Personen Sicherung (Tagestarif)	295,00
Summe	1.748,35

Tab. 4: Kosten der Musterbaustelle

Betrieben wird diese Arbeitsstelle durch drei Personen, die für die Kernarbeit zuständig sind. Im Referenzfall wird diese Arbeitsstelle durch

- ein schweres Zugfahrzeug
- mit Sicherungsanhänger und
- ein leichtes Zugfahrzeug
- mit Vorwarntafel

abgesichert. In der Realität müssen gelegentlich die gleichen Personen die Absicherung aufbauen, die auch die Arbeitsstelle betreiben. Über die Zulässigkeit dieser Verfahrensweise ist im Einzelfall zu diskutieren. Bei einer mobilen Arbeitsstelle ist das in keinem Fall möglich. Deshalb werden für die Absicherung zwei Personen angesetzt.

Für diese Musterbaustelle lassen sich nun die Mehrkosten, die aus der Anwendung einer Maßnahme zur Staureduktion entstehen würden, ohne verzerrende Einflüsse ermitteln. Psychologisch motivierte Mehr- oder Minderleistungen bleiben hier unberücksichtigt. Folgekosten einer Maßnahme können zum Beispiel Lohnzuschläge sein, die

Maßnahme D 1 „Verlegen von Arbeiten – Nacht“	Kosten [€/d]
Charakteristik: Sperrung eines FS	
Basiszenario MB	1.748,35
+ 1 Zugfahrzeug (1 x Lkw ü. 12 t)	233,00
+ Sicherung	30,90
+ 1 Person Sicherung (Nachttarif)	155,00
+ 5 x Nachtaufschlag	37,50
+ Beleuchtung	1.700,00
Summe	3.904,75
= MB +2.156,40	
Maßnahme D 2 zweistreifig	Kosten [€/d]
Charakteristik: Sperrung eines FS	
Basiszenario MB	1.748,35
+ 5 x WE-Aufschlag	221,25
Summe	1.969,60
MB +221,25	

Tab. 5: Mehrkosten beim Verlegen von Arbeiten

Maßnahme D 7 „Absicherung mit Verschwenkung“	Kosten [€/d]
Charakteristik: Sperrung eines FS	
Basiszenario MB	1.748,35
+ 1 Zugfahrzeug (1 x Lkw ü. 12 t)	233,00
+ Sicherungen	30,90
+ 1 Person Sicherung (Tagestarif)	147,50
Summe	2.159,75
= MB +411,40	

Tab. 6: Mehrkosten bei Maßnahme D 7 AmV

in Anlehnung an § 27 des Manteltarifvertrages für Arbeiter des Bundes und der Länder mit

- 1,50 €/Stunde für Nachtarbeit und
- 8,85 €/Stunde für Sonn- und Feiertagsarbeit, dies entspricht 30 % des Stundensatzes für Personalkosten,

angesetzt werden. Ein weiteres Beispiel ist die Anwendung der Maßnahme D 1 „Arbeiten bei Dunkelheit“. Hier können zusätzliche Kosten für die Beleuchtung des Arbeitsraumes entstehen. Diese werden pauschal mit

- 340 €/Stunde, berechnet aus den Kosten für Beleuchtung einer achtstündigen Nachtbaustelle bei KOB (2000),

berücksichtigt. In der Praxis werden diese Kosten in Abhängigkeit von der durchgeführten Tätigkeit und der dafür gewählten Beleuchtungsart deutlich variieren. Ansonsten entfallen die zusätzlichen Kosten auf Änderungen bei der Absicherung der Arbeitsstelle.

Aus einer häufigeren Anwendung der Maßnahmen D 1 „Verlegen von Arbeiten in die Nacht“ und D 2 „Verlegen von Arbeiten in andere verkehrsarme Zeiten“ – dargestellt ist hier nur das Wochenende, weil andere Tageszeiten während der üblichen Arbeitszeit keine Mehrkosten verursachen würden – kann ein erhöhter Bedarf an Personal in einer Meisterei resultieren. Solche Effekte müssen zunächst unberücksichtigt bleiben.

Bei Anwenden der Maßnahmen D 3 „Kombination von Tätigkeiten oder Arbeitsstellen“, D 4 „Arbeitsunterbrechung“ – bei produktiver Nutzung der Freigabezeiten – und D 5 „Standstreifenmitbenutzung“ entstehen in der Regel keine nennenswerten Mehrkosten.

Nur bei D 7 „Absicherung mit Verschwenkung“ wird in Bezug auf die Regelungen der RSA eine weitere Sicherung erforderlich. Zum Teil ist diese zweite Absperrtafel aber aufgrund von Vorgaben in den Einführungserlassen der Bundesländer bereits vorgeschrieben und muss nur auf den anderen Fahrstreifen umgesetzt werden.

5 Mikroskopische Simulation

5.1 Erweitern der Datengrundlage

Bei einer Untersuchung der Maßnahmen zur Stau-
reduktion ist es erforderlich, Chancen und Grenzen

möglicher Einsatzkonstellationen in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen aufzuzeigen. Das Aufzeigen solcher Grenzen impliziert die Betrachtung von Extremfällen. Eine Durchführung von Feldversuchen insbesondere zur Untersuchung von extremen Verhältnissen geht zwangsläufig mit negativen betrieblichen und verkehrlichen Auswirkungen einher. Im Vergleich dazu können Simulationsversuche nicht nur Kosten bei der praktischen Ausführung von Untersuchungen sparen, sondern auch die entsprechenden negativen Folgen für Dritte vermeiden. Deshalb ist vorgesehen, die Datengrundlage für die verkehrliche Analyse durch Simulationsversuche zu erweitern. Dabei dienen die verkehrlichen Ergebnisse der durchgeführten Feldversuche sowie der durch den Forschungsnehmer eingebrachten älteren Feldversuche zum Kalibrieren und Justieren des Simulationsmodells. Mit dem so auf die vorgefundenen Situationen angepassten Modell werden dann unter Variation der Eingangsparameter zusätzliche (Simulations-)Versuche durchgeführt, die in Verbindung mit den Feldversuchen eine breitere Datengrundlage für die Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen zur Staureduktion bilden.

5.1.1 Auswahl des Simulationsmodells

Für die Durchführung der Simulationsversuche soll ein geeignetes und bestehendes Modell zur Anwendung kommen. Bei der Beurteilung der Eignung eines Modells spielen neben der Beschreibung des Verkehrsablaufs die Möglichkeit und der Aufwand einer Anpassung an die unterschiedlichen Situationen an Arbeitsstellen eine entscheidende Rolle. Letzteres führt bei der Betrachtung von einzelnen Arbeitsstellen auf spezifischen Streckenabschnitten zwangsläufig auf ein mikroskopisches Simulationsmodell (vgl. Kapitel 2.4.3).

Mit den beiden neueren Modellgruppen sowohl des fuzzy-logic-basierten Ansatzes als auch mit den Zellularautomaten liegen bisher wenige Erfahrungen vor. Auch die Bedingung eines geringen Aufwandes für Modifikationen zur Nachbildung der lokalen Randbedingungen wird in den beiden Fällen (noch) nicht erfüllt. Bei den Fahrzeugfolgmodellen steigt der Grad der Eignung für die vorliegende Aufgabe mit dem Detaillierungsgrad der Abbildung der Fahrzeuginteraktionen.

Folglich erscheint die Verwendung eines Fahrzeugfolgmodells, am besten des umfangreichen Interaktionsmodells, am zielführendsten. Dieses Modell ist als Software VISSIM der PTV AG verfügbar. Es liegen nicht nur beim Forschungsnehmer umfang-

reiche Erfahrungen mit diesem Modell vor, das auch die Anforderungen an die Handhabbarkeit hinsichtlich erforderlicher Modifikationen erfüllt. Aus den dargelegten Gründen wird dieses Modell im Folgenden für die Erweiterung der Datengrundlage verwendet.

5.1.2 Eingangsparameter des Modells

In der Natur eines mikroskopischen Simulationsmodells liegt die fahrzeugfeine Betrachtung des Verkehrsablaufs. Jedes Fahrzeug wird deshalb als Fahrer-Fahrzeug-Einheit (FFE) beschrieben. Eine solche FFE wird innerhalb des Simulationsablaufs durch vier Gruppen von Daten charakterisiert:

- technische Spezifikation des Fahrzeugs,
- Verhalten des Fahrzeugführers und
- Abhängigkeiten der FFE untereinander.

Alle entsprechend festgelegten FFE bewegen sich während der Simulation auf einem Streckennetz, das durch die vierte Datengruppe in

- Eigenschaften und potenziellen Messquerschnitten dargestellt wird.

Einzelne Daten dieser Gruppen lassen sich darüber hinaus in statische und dynamische Daten unterscheiden. Statische Daten bleiben während eines Simulationslaufs unverändert, dynamische Daten sind Attribute, die sich ändern können.

Eine Verkehrsmenge wird an Zuflüssen, modelliert durch Startquerschnitte im Streckennetz, aus individuellen Fahrzeugen generiert. Grundlage ist eine zufällige Verteilung, die durch die Parameter gesamte Fahrzeuganzahl je Zeiteinheit und Zusammensetzung des Verkehrs aus Fahrzeugtypen eingeschränkt ist. Die einzelnen Fahrzeuge werden durch die Daten des Fahrzeugtyps definiert, die Informationen über die Fahrzeugabmessungen, die erreichbare Höchstgeschwindigkeit, das Beschleunigungsvermögen abgeleitet aus Fahrzeuggewicht und Motorisierung sowie Parameter der Darstellung und solche für weitere, zum Beispiel umwelttechnische Untersuchungen enthalten. Mit diesen Daten wird die technische Spezifikation der FFE festgelegt. Während der Simulation werden für jede FFE aktuelle Daten wie die Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung bzw. Verzögerung protokolliert.

Basis des Verhaltens eines Fahrers als Folge von Abhängigkeiten zwischen den FFE ist das psycho-

physische Abstandsmodell von WIEDEMANN (1974), das Schwellenwerte für die Wahrnehmung beinhaltet und darüber hinaus eine differenzierte Reaktion des Fahrers berücksichtigt. Letztere wird durch die Angabe von Wunschbeschleunigungen in den drei Fällen

- aus dem Stillstand,
- bei freier Fahrt und
- während der Fahrzeugfolge

realisiert. Im Abstandsmodell bestimmen Wahrnehmungs- und Akzeptanzgrenzen für räumliche Abstände und Geschwindigkeitsdifferenzen das Verhalten. Für angestrebte Beschleunigungen und erwünschte Höchstgeschwindigkeiten sind für jede Fahrzeugklasse, definiert als Gruppe aus festgelegten Fahrzeugtypen, Verteilungen hinterlegt, aus denen das Verhalten einer FFE zufällig generiert wird. Das Grundprinzip des Modells lässt sich in einer Darstellung der Zusammenhänge der Differenzen zweier Fahrzeuge hinsichtlich Geschwindigkeit (Δv) und Abstand (Δx) zu einander verdeutlichen (Bild 27).

Ein Fahrer nähert sich dem vorausfahrenden Fahrzeug (Pfeil in Bild 27), bemerkt seine Annäherung und verringert seine Geschwindigkeit über das erforderliche Maß hinaus. Sobald er dies bemerkt, beschleunigt er wieder. Diese Folge von Vorgängen wiederholt sich ständig, weil ein Fahrer in der Regel nicht in der Lage ist, den angestrebten, von ihm als notwendig erachteten Sicherheitsabstand zu halten. Dafür müsste er die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges exakt einschätzen und in sein Fahrverhalten kopieren können.

Bei der Nachbildung mehrstreifiger Fahrbahnen erfordert ein realistisches Interaktionsmodell für das Verhalten von FFE Daten der beiden Gruppen nicht nur bei Fahrzeugen im eigenen, sondern auch in benachbarten Fahrstreifen. Neben den tatsächlich auftretenden räumlichen Abhängigkeiten der FFE untereinander werden durch die vorstehend beschriebenen Parameter zu Abständen und Geschwindigkeitsdifferenzen auch beeinflussende FFE in benachbarten Fahrstreifen berücksichtigt. Basis ist hier das Spurwechselmodell von SPARMANN (1978). Eine FFE wird demnach sowohl von neben ihr fahrenden FFE als auch von vor ihr fahrenden FFE in allen Fahrstreifen beeinflusst (Bild 28).

Mit der vierten Datengruppe wird das Streckennetz definiert, auf dem sich die FFE im Verlauf eines Si-

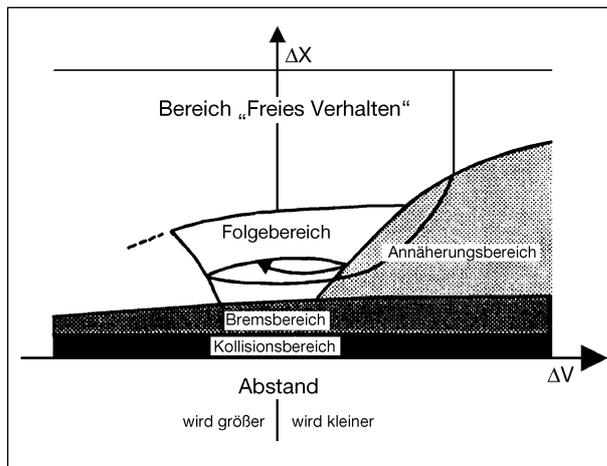


Bild 27: Fahrzeugfolgmodell (WIEDEMANN; 1974)

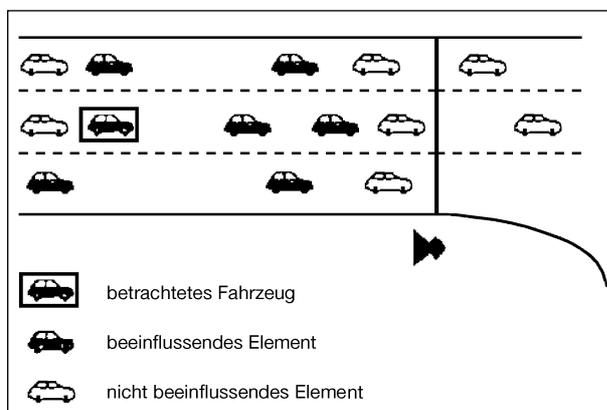


Bild 28: Spurwechselmodell (SPARMANN; 1978)

simulationsversuches bewegen. Ein Streckennetz besteht aus Strecken und Verbindern, die jeweils im Wechsel aufeinanderfolgen müssen. Sie werden durch Verlauf im Lageplan (Länge, Kurven), Verlauf im Höhenplan (Steigung, Gefälle) und Fahrstreifenanzahl festgelegt. Darüber hinaus können sie Richtungs- und Routenentscheidungen, Fahrstreifensperrungen und Geschwindigkeitsvorgaben enthalten, die selektiv für einzelne Fahrzeugklassen definiert werden. Auch hier liegt die statische, während einer Simulation konstante Zuordnung von einzelnen Fahrzeugtypen zu Fahrzeugklassen zu Grunde.

5.1.3 Ausgabedaten des Modells

Für die Netzelemente (Strecke, Verbindner) oder für innerhalb einer Strecke festgelegte Messquerschnitte können Erfassungsaufgaben definiert werden. Als Ergebnis eines Simulationsversuches liegen protokollierte Daten des Verkehrsablaufs vor. Die Möglichkeiten der Aufnahme sind vielfältig, weil der Verkehrsablauf dank der fahrzeugfeinen und

zeitschrittorientierten Nachbildung des Verkehrsablaufes in seinen Einzelheiten bestimmt und ausgegeben werden kann. Dazu stehen Auswertungen zur Verfügung, die

- Fahrzeugbewegungen,
- Streckenzustände und
- Querschnittsmessungen

sowohl für einzelne Fahrzeuge als auch für vorgegebene Zeitintervalle zulassen. Neben den drei Grundgrößen Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und mittlere Geschwindigkeit können so auch Staulängen und Reisezeiten protokolliert werden.

5.1.4 Kalibrieren des Modells

Zur Kalibrierung des Simulationsmodells wurden bereits in den vorangegangenen Projekten des Forschungsnehmers Feldversuche durchgeführt. Daraus wurden globale Parametereinstellungen für die Untersuchung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen abgeleitet.

Für die Modellierung der Fahrzeugflotte werden im ersten Schritt vier Fahrzeugklassen festgelegt. Diese Fahrzeugklassen orientieren sich an den Fahrzeugarten der EVE (1991). Es erfolgt eine Unterteilung in

- Personenkraftwagen (Pkw),
- Kleintransporter (Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht kleiner 3,5 t),
- Lastkraftwagen (Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht größer 3,5 t) und
- Last- und Sattelzüge.

Fahrräder, Kleinkrafträder und Motorräder werden vernachlässigt, weil ihr Auftreten auf Autobahnen in den ersten beiden Fällen unwahrscheinlich, im letzten Fall selten und in allen drei Fällen für die vorliegende Fragestellung unerheblich ist. Busse und Sonderfahrzeuge werden dem gewerblichen Verkehr zugeordnet und vereinfachend in Abhängigkeit von der Fahrzeuglänge in die drei Klassen einsortiert. Mit diesen Festlegungen wird auch bei den manuellen Querschnittszählungen (vgl. Kapitel 4.3.2) in den Feldversuchen gearbeitet. Sie erlauben so nicht nur den Vergleich zwischen manuellen Zählungen und Ergebnissen der Simulation, sondern auch den Vergleich mit den automatischen Zählungen. In der Messung mit Radardetektoren (vgl. Kapitel 4.3.4) kann zum Beispiel die Zuord-

nung von Fahrzeugen zu Fahrzeugklassen ausschließlich über die Fahrzeuglänge erfolgen. Für die Angabe der Verkehrszusammensetzung werden die ersten beiden Fahrzeugklassen im Pkw-Verkehr und die letzten beiden im Schwerverkehrsanteil zusammengefasst.

Zur technischen Spezifikation schlägt VERSTEGE (2002) eine Aufteilung der vier Fahrzeugklassen in 14 Fahrzeugtypen vor. Bei der Auswahl der charakteristischen Daten stützt er sich auf die Zulassungsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA; 2001) und des Bundesamtes für den Güterverkehr (BAG; 2001). Für die erste Fahrzeugklasse wählt er aus den vier Gruppen Ober-, Mittel-, Kompakt- und Kleinwagen jeweils das Fahrzeug mit der höchsten Zahl an Neuzulassungen in den Jahren 1999 bis 2001 als repräsentativen Personenkraftwagen aus. Eine Unterteilung der zweiten Fahrzeugklasse unterbleibt wegen des ähnlichen Fahrverhaltens der zugehörigen Fahrzeuge. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Fahrzeugindustrie die in § 32 Satz (3) und (4) der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO; 2005) geregelten Fahrzeugabmessungen ausnutzt. Demnach unterscheiden sich die Fahrzeuge des Schwerverkehrs innerhalb der vorgegebenen Gruppen nur bezüglich Gewicht und Motorisierung. Im Verlauf der Kalibrierung musste gegenüber den dargestellten Vorgaben eine Korrektur der angenommenen Motorleistung erfolgen, bevor die verwendete Fahrzeugflotte (Tabelle 7) feststand.

Fahrzeugklasse	Fahrzeugtyp	Leistung [kW]	Masse [t]	Länge [m]	
1	Pkw	1	40 – 60	0,7 – 1,5	3,74
		2	60 – 80	0,7 – 1,5	4,15
		3	80 – 120	0,7 – 1,5	4,47
		4	120 – 140	0,7 – 1,5	4,80
2	Lkw < 3,5 t	5	60 – 115	2,6 – 3,5	5,90
6		255 – 330	3,5 – 18,0	12,00	
3	Lkw > 3,5 t	7	300 – 375	3,5 – 18,0	12,00
		8	375 – 450	3,5 – 18,0	12,00
		9	255 – 330	20,0 – 28,0	18,00
4	Lastzug	10	300 – 375	28,0 – 40,0	18,00
		11	375 – 450	28,0 – 40,0	18,00
		12	255 – 330	20,0 – 28,0	15,50
	Sattelzug	13	300 – 375	28,0 – 40,0	15,50
		14	375 – 450	28,0 – 40,0	15,50

Tab. 7: Eingesetzte Fahrzeugflotte

Für die Verteilung der erwünschten Höchstgeschwindigkeiten werden analog der Aufteilung in der Verkehrszusammensetzung jeweils zwei Fahrzeugklassen zusammengefasst. Es wird davon ausgegangen, dass alle eingesetzten Fahrzeuge die für eine Benutzung von Autobahnen und Kraftfahrstraßen vorgeschriebene Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h (StVO; § 18 Satz (1)) erreichen wollen und auf ebener Strecke auch erreichen können. Die Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten (Bild 29) wird für Pkw und Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von weniger als 3,5 t aus Untersuchungen von KELLERMANN (1995) und für den Schwerverkehr aus Untersuchungen von HOTOP (1985) abgeleitet.

Bei Lastkraftwagen ist das Geschwindigkeitsverhalten einheitlicher als bei Personenkraftwagen, weil in Deutschland für diese Fahrzeuge eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h gilt, die in den neueren Fahrzeugen durch technische Regelungen auch umgesetzt wird. Streckenspezifische Einschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit werden wie Überholverbote für den Schwerverkehr über räumlich begrenzte Vorgaben bei der Modellierung der Fahrbahn realisiert.

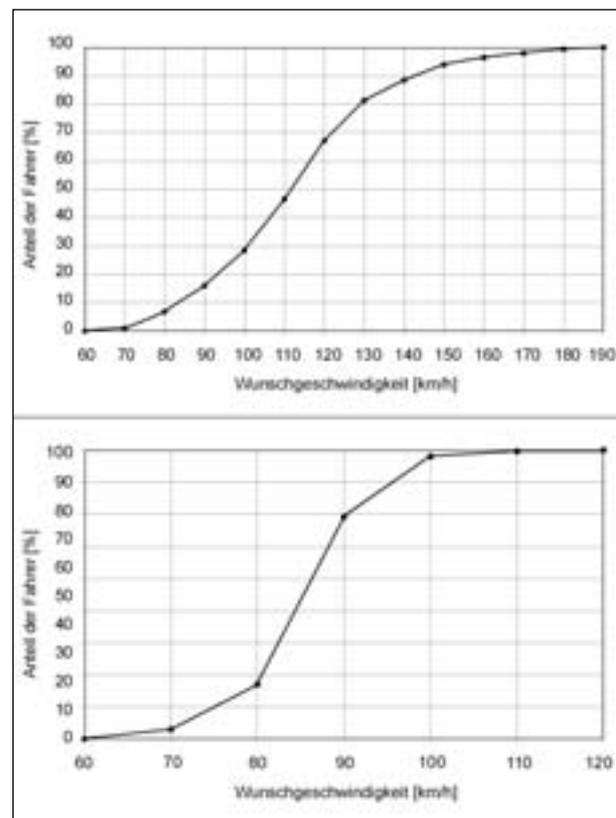


Bild 29: Verteilung der Wunschgeschwindigkeiten für Pkw (oben) und Lkw (unten)

5.2 Nachbildung der Feldversuche

Bevor eine Erweiterung der Datengrundlage erfolgen kann, müssen die Feldversuche ausreichend genau im Modell nachgebildet werden. Das ist nicht bei allen Versuchen möglich. Darüber hinaus müssen einige Parameter anhand der erhobenen Daten justiert werden, bevor eine Variation der Eingangsdaten beginnen kann.

5.2.1 Auswahl der Feldversuche

Für die Nachbildung werden die Feldversuche im Hinblick auf ihre Eignung ausgewählt. Ein Justieren des Modells an der Realität ist nur bei Versuchen möglich, bei denen verkehrliche Daten erhoben

Versuchsnummer	Eignung
01	eingeschränkt
03	gut geeignet
04	eingeschränkt
05	gut geeignet
06	gut geeignet
07	eingeschränkt
08	eingeschränkt
11	gut geeignet
11+	gut geeignet
14	eingeschränkt
15	gut geeignet
16	eingeschränkt
16+	gut geeignet

Tab. 8: Übersicht der verkehrlichen Feldversuche

wurden. Zum Teil sind diese Daten nur eingeschränkt verwendbar, weil es zu Abweichungen zwischen geplantem und erfolgtem Arbeitsablauf gekommen ist und dadurch Messgeräte und Zählpersonal räumlich oder zeitlich nicht optimal positioniert waren (vgl. Kapitel 4.4.2). Im Sinne des Projektes gut geeignet sind weiter diejenigen Feldversuche, bei denen Stauerscheinungen aufgetreten sind. In diesem Fall ist die Zuverlässigkeit des kalibrierten und justierten Modells allgemein anerkannt. Eine Simulation ohne aufgetretene Behinderungen ist möglich, Fehleinschätzungen beim Justieren können jedoch nicht ausgeschlossen werden, weil die Einflüsse aus der Verflechtung sich im Ergebnis der Simulation nicht auswirken.

Mit den dargelegten Vorgaben können die durchgeführten Feldversuche (Tabelle 8) hinsichtlich ihrer Eignung beurteilt werden. Analog wird diese Auswahl auch für die eingebrachten Feldversuche vorgenommen.

5.2.2 Modellierung der Realität

Wesentliche Grundlage der Modellierung der Feldversuche in der Simulation bilden die erhobenen Verkehrsdaten im Vorfeld, Daten zur Absicherung der Arbeitsstelle und die Streckendaten aus Karten und Luftbildaufnahmen.

Der Lageplan der Strecke wird auf dem Hintergrund einer Luftaufnahme der Strecke an der Arbeitsstelle und im Vorfeld eingerichtet. Streckenelemente lassen sich in beliebigem Kurvenverlauf

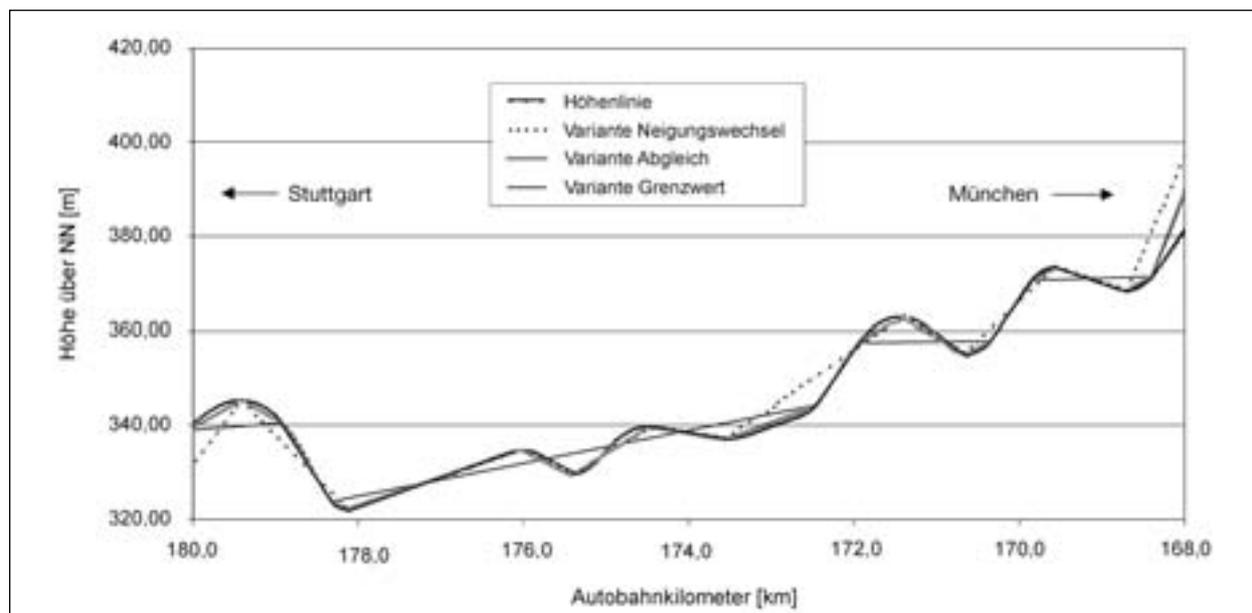


Bild 30: Modellierung des Höhenplans

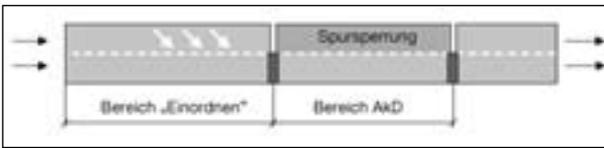


Bild 31: Modellierung einer AkD

darstellen. Vorfeldstrecken müssen nur unterbrochen sein, wenn sich wesentliche Eigenschaften wie Fahrstreifenanzahl, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbote oder die Gradienten ändern. Sofern ein Betrag der Gradienten (Steigung oder Gefälle) von mehr als zwei Prozent zu erwarten ist, wird das Modell durch Höhendaten ergänzt, die freundlicherweise von den Straßenbauverwaltungen zur Verfügung gestellt wurden. Es erfolgt eine Annäherung des wahren Höhenplanes (Bild 30) durch angepasste Strecken.

Die Arbeitsstelle selbst wird durch eine getrennte Strecke mit entsprechenden „Spursperrungen“ (Bild 31) eingerichtet. Um den Abstand der Vorwarnung zur Arbeitsstelle nachzubilden, wird dem Verbindler vor der Arbeitsstelle eine Länge „Einordnen“ zugewiesen. Damit wird der Bereich bezeichnet, in dem ein Fahrer das von ihm erwartete Verhalten bezüglich der Verkehrsführung, zum Beispiel Verflechten, versucht umzusetzen.

An der Stelle, die im Feldversuch zur Zählung der Vorfeldverkehrsstärke diente, wird im Modell ein Zuflussquerschnitt eingerichtet. Dieser Zufluss wird mit der gleichen Verkehrsmenge gespeist, die im Feldversuch aufgenommen wurde. Eine Annäherung der Verkehrszusammensetzung erfolgt zweistufig. Bereits in der Datenaufnahme wird ein Schwerverkehrsanteil in der Verkehrsnachfrage ausgewiesen. Auf dieser Grundlage erfolgt eine weitere Aufteilung in die bereits vorgestellten Fahrzeugtypen, wobei sich der zweite Differenzierungsschritt auf die bereits dargestellten Statistiken des KBA (2001) und des BAG (2001) stützt.

5.2.3 Justieren des Modells

Ein Justieren des Modells in Abhängigkeit von den lokalen Verhältnissen ist möglich und war zum Teil erforderlich. Im ersten Schritt wird die Realität anhand der vorliegenden Kenntnisse nachgebildet. In den meisten Fällen waren die Ergebnisse bereits zufrieden stellend, sodass auf weitere Schritte verzichtet werden konnte.

Häufig vernachlässigt wurde vor Ort die Aufnahme der Sichtverhältnisse. In der Folge fehlten bei der

Modellierung Informationen über die Entfernung, ab der ein Verkehrsteilnehmer die Absperrtafel zur Fahrstreifensperrung oder die Tafeln zur Anzeige der Verkehrsführung erkennen konnte. In einigen Fällen war auch die Position der Vorwarnung unbekannt. Im mikroskopischen Simulationsmodell wird der Verflechtungsvorgang vor einer Arbeitsstelle durch zwei spezifische Parameter beeinflusst: die Länge der Verflechtungsstrecke, also die Entfernung vor dem Engpass, ab der ein Fahrzeugführer versucht, sich einzuordnen, und den Nothalt, das ist der Abstand von der Sperrung, den der Fahrzeugführer notfalls durch Anhalten einhält, wenn ihm das Einordnen nicht im fließenden Verkehr gelingt. War ein zusätzliches Justieren erforderlich, so wurde der Parameter Länge Einordnen dafür in sinnvollen Grenzen variiert.

Neben diesen Vorgängen wäre theoretisch auch ein unterschiedliches Fahrverhalten denkbar. Die nachgebildeten Feldversuche fanden in verschiedenen Bundesländern mit unterschiedlicher Charakteristik des Geländes statt. Auch das Verkehrsgeschehen auf den Autobahnen könnte durch die unterschiedliche Entfernung zu Ballungsräumen beeinflusst sein. Über die Parameter des psycho-physischen Abstandsmodells können diese Einflüsse abgebildet werden. Eine solche Veränderung musste jedoch bei keinem Feldversuch vorgenommen werden.

5.2.4 Ergebnisse

Zur Überprüfung der Genauigkeit der Nachbildung werden die Verkehrsstärken im Engpass Arbeitsstelle herangezogen. Ein Vergleich der bei den Feldversuchen erhobenen mit der im Simulationsversuch beobachteten Verkehrsstärke in der Arbeitsstelle wird dabei als Maß der Übereinstimmung gewertet. Eine Anpassung der Justierungsparameter erfolgt so weit, bis diese den sinnvollen Wertebereich verlassen oder idealerweise die Abweichung zwischen den Erhebungsdaten aus der Arbeitsstelle in der Realität ($q_{\text{Realität}}$) und den Ergebnissen aus der Arbeitsstelle in der Simulation ($q_{\text{Simulation}}$) sehr klein wird.

Grundlage der Beurteilung sind sowohl die Abweichungen innerhalb einzelner Intervalle als auch die durchschnittliche Abweichung über die Dauer des Bestehens der untersuchten Arbeitsstelle (Tabelle 9). Für die extreme Abweichung in der ersten der beiden Arbeitsstellen des Feldversuchs 05 ließ sich keine Erklärung finden. Abgesehen von dieser Ausnahme konnten alle Feldversuche erfolgreich nachgebildet werden.

Versuchsnummer	Eignung	Mittlere Abweichung $q_{\text{Simulation}}$ von $q_{\text{Realität}}$
01	+	1 %
03	++	5 %
04	+	0 % und 1 %
05	++	20 % und 5 %
06	++	2 %
07	+	7 %
08	+	5 % und 1 %
11	++	1 %
11+	++	3 %
14	+	5 %
15	++	5 %
16	+	7 %
16+	++	0 %

Tab. 9: Übersicht der Nachbildungsergebnisse

5.3 Zwei-Kapazitäten-Phänomen

Unter Kapazität wird die größte Verkehrsstärke verstanden, die ein Verkehrsstrom unter den gegebenen Randbedingungen erreichen kann (vgl. Kapitel 2.2.4). An einem Engpass mit den untersuchten Randbedingungen führt das auf zwei potenzielle Werte. Eine Verkehrsstärke bei gebundenem, aber noch fließendem Verkehr und eine bei gestautem Verkehr vor der Arbeitsstelle, also aus dem Stau heraus: das Zwei-Kapazitäten-Phänomen.

Für die weitere Betrachtung ist hier eine deutliche Trennung der Verwendungszwecke vorzunehmen. Sollen Zeiten ausgewiesen werden, in denen das Einrichten einer Arbeitsstelle aller Voraussicht nach keinen Stau verursachen wird, muss das auf Grundlage der Kapazität des Engpasses bei gestautem Verkehr erfolgen. Nur so kann der Einfluss von singulären Ereignissen wie zum Beispiel dem Fahrfehler eines einzelnen Fahrers berücksichtigt werden. Auch in einem solchen Fall müsste in der Praxis die Arbeitsstelle kürzerer Dauer staufrei bleiben, damit von einer erfolgreichen Anwendung gesprochen werden darf. Soll hingegen ein volkswirtschaftlicher Schaden bestimmt werden, der aus dem Einrichten von Arbeitsstellen kürzerer Dauer entsteht oder der durch den Einsatz von Maßnahmen zur Staureduktion vermieden werden kann, so muss die Berechnungsgrundlage die größte, bei fließendem Verkehr erreichbare Verkehrsstärke sein. Andernfalls ist mit einer Überschätzung der entstehenden Nutzerkosten zu rechnen.

Letztere lässt sich in der Regel bei Feldversuchen an Arbeitsstellen kürzerer Dauer nicht beobachten. Es ist auch nicht möglich, sie durch längere Daten-

aufnahmezeiten zu registrieren, weil die entsprechenden Arbeitsstellen nicht lange genug eingerichtet bleiben. In der Simulation ist es zwar möglich, eine solche Bestimmung vorzunehmen, der erforderliche Rechenaufwand liegt aber um ein Vielfaches über dem für die Bestimmung der Verkehrsstärke aus dem Stau heraus. Deshalb soll zunächst untersucht werden, ob eine pauschale Berücksichtigung der Größe dieses Unterschiedes zwischen beiden Kapazitäten, dem Capacity Drop, in Frage kommt.

5.3.1 Untersuchungen aus der Literatur

In der Literatur finden sich zum Zwei-Kapazitäten-Phänomen leicht unterschiedliche Hinweise. Einige sind sich alle Autoren darin, dass das Fundamentaldiagramm im ersten Quadranten (vgl. Bild 3: q-k-Diagramm) keinen stetigen Verlauf aufweist. Wird eine Verkehrsanlage durch eine hohe Verkehrsnachfrage in dem Bereich ihrer Kapazität belastet, ist laut RESSEL (1994) der Verkehrsfluss durch Instationaritäten gekennzeichnet und es kann infolge von Fahrfehlern einzelner Fahrer zu einem Verkehrszusammenbruch kommen. Ein solcher Zusammenbruch ist dadurch erkennbar, dass sich die typische Glockenkurve für die Verteilung der Geschwindigkeiten für kurze Zeit in eine breite Streuung auflöst und später im gestauten Zustand auf einem niedrigeren Geschwindigkeitsniveau wieder ausbildet.

Übersetzt in das q-k-Diagramm wird daraus ein Sprung in der Verkehrsstärke q abgeleitet und bei weiter zunehmender Verkehrsdichte k ein nahezu konstanter Wert für q (Bild 32). Diese Darstellung widerspricht anderen Autoren dahin gehend, dass die Teilkurve für den Zustand „mit Stau“ eine gerade statt einer konvexen Form annimmt (Bild 33 und Bild 34).

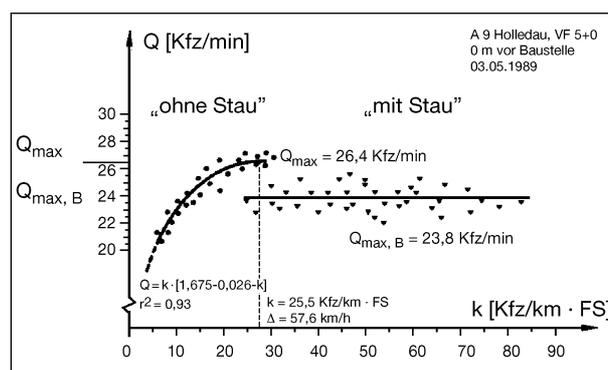


Bild 32: q-k-Diagramm vor Baustellenengpass (RESSEL; 1994; S. 43)

Da die Verkehrsdichte k in der Regel nicht gemessen werden kann, liegt allen diesen Darstellungen eine Umrechnung zugrunde. Aufgenommen werden die Verkehrsstärke q und die Geschwindigkeit v_i der einzelnen Fahrzeuge. Daraus darf die Verkehrsdichte k berechnet werden, sofern von einem stationären Verkehrsfluss ausgegangen werden kann (vgl. Kapitel 2.2.4).

Soll aus solchen Ergebnissen die Differenz zwischen den beiden Kapazitäten berechnet werden,

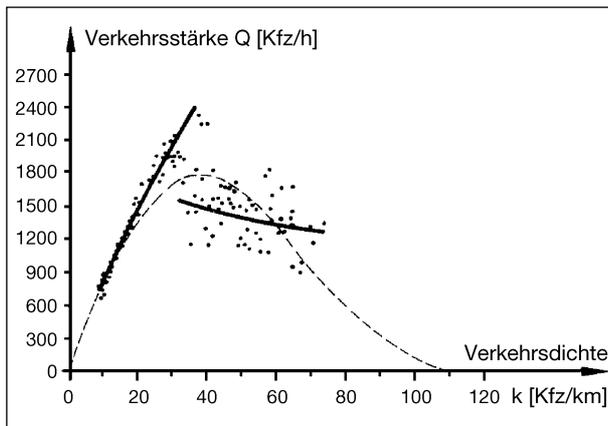


Bild 33: q-k-Diagramm für einen Fahrstreifen (MAY/KELLER; 1967; Anlage 6 in RESSEL; 1994)

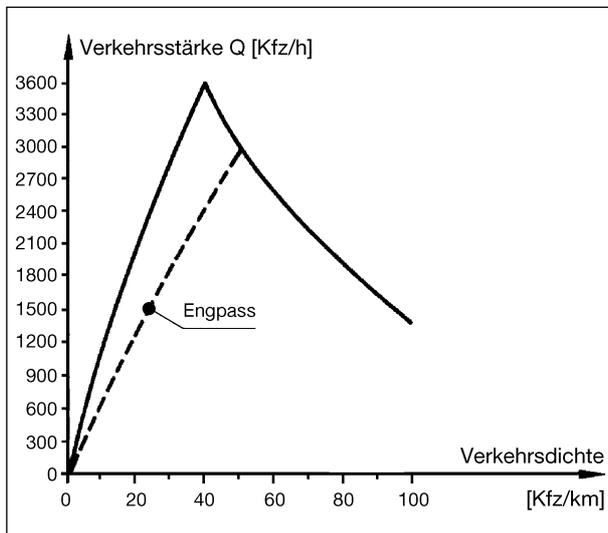


Bild 34: q-k-Diagramm für zweistreifige Richtungsfahrbahn (ZACKOR/HERKT; 1980; Anlage 6 in RESSEL; 1994)

Literaturquelle	Intervall [min]	Capacity Drop [%]
BECKMANN et al., 1973	1	7
PONZLET et al., 1996	1	12
PONZLET et al., 1996	15	4
BRILON; 2003	5	24

Tab. 10: Größe des Capacity Drop in der Literatur

so muss ein Weg zur Bestimmung eines Zahlenwertes für die jeweilige Kapazität gefunden werden. Insbesondere auf der zweiten Teilkurve „mit Stau“ ist dies infolge der großen Streuungen ein Problem. Der Übergang zwischen fließendem und stauendem Verkehr erfolgt plötzlich. Befindet sich der Verkehr gerade im Übergang zwischen diesen beiden Zuständen, treten auch „bei kurzen Beobachtungsintervallen (z. B. 1 Minute)“ (BRILON; 2003; S. 17) Mittelungen auf. Folglich hat auch die Länge des Beobachtungsintervalls einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse. In letzterer Tendenz sind sich die verschiedenen Autoren der betrachteten Quellen wiederum einig (Tabelle 10). Je größer das Beobachtungsintervall, desto kleiner fällt der berechnete Capacity Drop aus.

5.3.2 Ergebnisse aus Feldversuchen

Zunächst ist zu klären, ob das Zwei-Kapazitäten-Phänomen auch an dem Engpass einer Arbeitsstelle kürzerer Dauer auftritt. In den Feldversuchen erfolgte die Aufnahme von Verkehrsstärke und Geschwindigkeit. Im Falle einer Umrechnung der aufgenommenen Daten in Verkehrsdichtedaten müsste die Prüfung der Stationarität des Verkehrsflusses erfolgen. Für einen Nachweis der Existenz des Phänomens ist aber eine Umrechnung nicht unbedingt erforderlich. Im dritten Quadranten (vgl. Bild 3: q-v-Diagramm) können aufgrund des springenden Übergangs zwischen den Geschwindigkeitsniveaus im fließenden und gestauten Verkehr Hinweise auf den Capacity Drop gezogen werden (Bild 35).

Dargestellt ist jeweils die mittlere Geschwindigkeit in einem Fünf-Minuten-Intervall über der in der gleichen Zeit registrierten Verkehrsstärke. Es ist erkennbar, dass die rautenförmigen Punkte (Verkehr im fließenden Zustand) in ihrem Maximum eine größere Verkehrsstärke aufweisen als die recht-

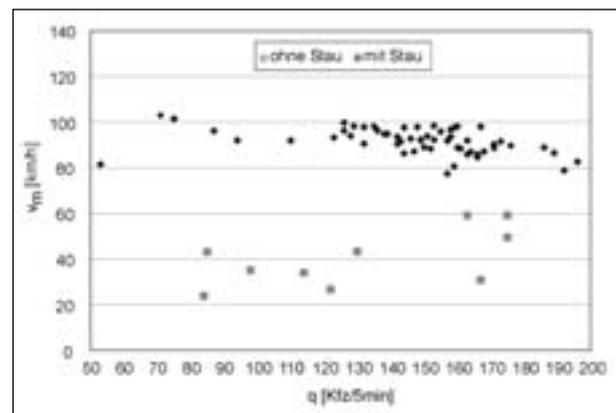


Bild 35: q-v-Diagramm aus Feldversuch 05

eckigen Punkte (Verkehr im stauenden Zustand). Hieraus eine Größe für den Capacity Drop zu bestimmen ist zwar problematisch, die Existenz des Zwei-Kapazitäten-Phänomens zeigt sich jedoch deutlich.

5.3.3 Ergebnisse aus Simulationsversuchen

Auch in den Ergebnissen von Simulationsversuchen zeigt sich das Phänomen. Es wird aber deut-

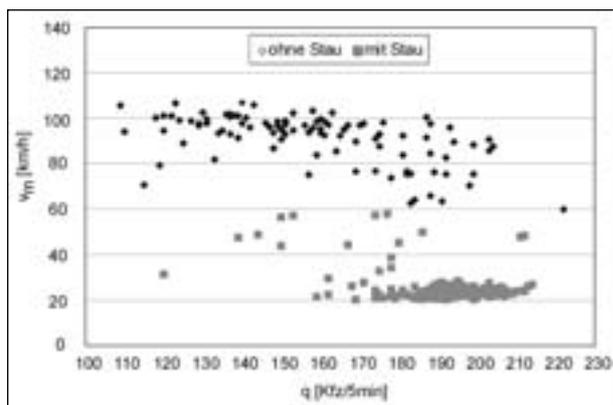


Bild 36: q-v-Diagramm aus Simulationsversuch mit günstigen Bedingungen (BAB A 81, Gefälle, SV-Anteil 5 %)

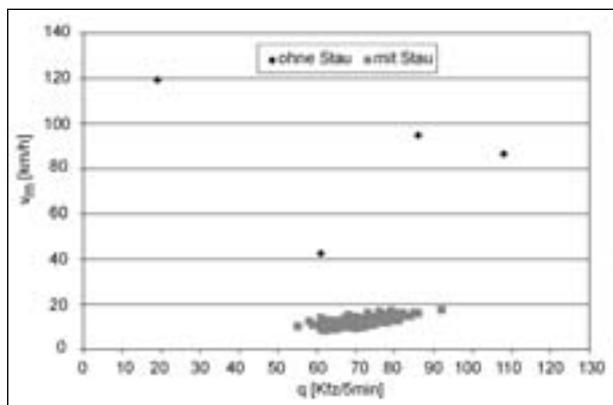


Bild 37: q-v-Diagramm aus Simulationsversuch mit ungünstigen Bedingungen (BAB A 81, Steigung, SV-Anteil 30 %)

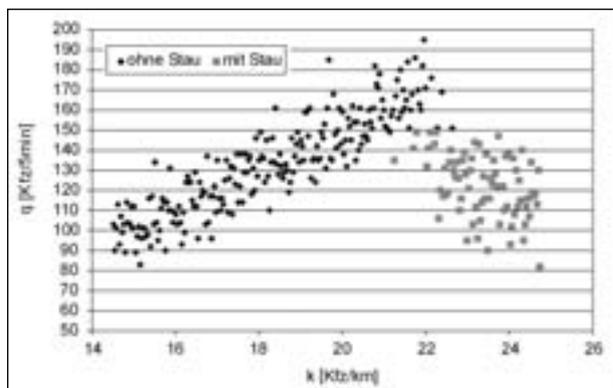


Bild 38: q-k-Diagramm aus Simulationsversuch mit ungünstigen Bedingungen (BAB A 81, Steigung, SV-Anteil 30 %)

lich, dass ein Zusammenhang zu den Randbedingungen besteht. Bei günstigen Verhältnissen wie zum Beispiel einem geringen Schwerverkehrsanteil in der Verkehrsnachfrage und ebener Strecke sinkt die Größe der Kapazitätsdifferenz so weit, dass das Zwei-Kapazitäten-Phänomen nicht mehr nachweisbar ist (Bild 36).

Bei einem hohen Schwerverkehrsanteil und einer Rechtssperrung mit Steigung im Verflechtungsbereich wird eine Kapazitätsdifferenz deutlich (Bild 37). Mikroskopische Simulationsversuche weisen hinsichtlich der Datenaufnahme gegenüber Feldversuchen einen entscheidenden Vorteil auf: Da jede FFE in ihren Eigenschaften und ihrer Position in jedem Zeitschritt des Simulationslaufes definiert ist, kann eine Verkehrsdichte k direkt ausgezählt werden. Damit lässt sich die bereits früher verwendete Darstellung als q-k-Diagramm realisieren (Bild 38).

Aus der Zusammenstellung aller variierten Randbedingungen ist erkennbar, dass in Simulationsversuchen eine Kapazitätsdifferenz bei ungünstigen Konstellationen auftritt. Es kann weiter beobachtet werden, dass die Größe dieser Differenz in Abhängigkeit von den Randbedingungen variiert. Für die untersuchten ungünstigen Konstellationen kann durch den Zusammenbruch ein Rückgang der Verkehrsstärke im Engpass der Arbeitsstelle um 15 % bis 20 % beobachtet werden.

5.3.4 Fazit für die Projektbearbeitung

Ein Vergleich der Ergebnisse mit den Angaben aus der Literatur zeigt, dass die in den Simulationsversuchen auftretenden Differenzen zwischen den zwei Kapazitäten recht hoch sind. Ähnliche Größenordnungen treten nur in den neueren Untersuchungen von BRILON (2003) auf. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die in dieser Untersuchung „durchgeführte Analyse der Kapazitätsverteilung vor dem Zusammenbruch ... sich von der klassischen Kapazität grundlegend unterscheidet“ (BRILON; 2003; S. 59).

Festgestellte Abhängigkeiten von der Lage der Arbeitsstelle und der Verkehrszusammensetzung zeigen, dass hier detaillierte Untersuchungen erforderlich wären. Vor dem Hintergrund, dass an dieser Stelle nur eine Unterscheidung hinsichtlich der Anwendungsgebiete Zeitfenster für staufreies Arbeiten und Bestimmung von volkswirtschaftlichen Schäden aus Reisezeitverlusten angestrebt wird, stehen Aufwand und Nutzen einer solchen Untersuchung in keinem Verhältnis. Im weiteren Vorge-

hen wird deshalb eine nachträgliche Erhöhung der in den mikroskopischen Simulationsversuchen beobachteten Verkehrsstärken vor deren Verwendung im makroskopischen Simulationsmodell berücksichtigt.

5.4 Variation der Eingangsgrößen

Anhand von Simulationsversuchen, die durch Verwendung der modellierten Feldversuche mit der Realität abgeglichen sind, können nun die Rahmenbedingungen variiert werden.

5.4.1 Übersicht der Simulationsversuche

Als Eingangsparameter für die Variation der Rahmenbedingungen dienen

- die Verkehrszusammensetzung,
- die Lage der Arbeitsstelle im Querschnitt,
- die Verkehrsführung an der Arbeitsstelle und
- die Gradienten im Bereich der Arbeitsstelle.

Eine solche Variation wird für alle im Modell erfolgreich nachgebildeten Feldversuche (Tabelle 9) durchgeführt.

5.4.2 Eingangsparameter

Über die Steigerung der Verkehrsnachfrage wird in allen Fällen ein Erreichen der Kapazitätsgrenze der Arbeitsstellenkonstellation angestrebt. Es ist zu erwarten, dass sich diese in Abhängigkeit von den Schwerverkehrsanteilen (SV-Anteil) in der Verkehrsnachfrage unterscheiden wird. An Dauerzählstellen (Bild 39) lassen sich Zusammenhänge im Auftreten von Verkehrsstärke und SV-Anteil beobachten. Auch bei ungünstigen Verhältnissen wird bei einstreifiger Verkehrsführung eine Kapazität von 1.000 Kfz/h in der Regel nicht unterschritten. Folglich ist die Untersuchung von Verkehrszusammensetzungen, die nur in Verbindung mit niedrigeren Verkehrsstärken auftreten, nicht erforderlich. Der durchschnittliche SV-Anteil auf deutschen Bundesautobahnen betrug in den Jahren 1999 bis 2002 an Werktagen außerhalb der Ferienzeit 16,3 % (BMVBW; 2005; S. 117). In diesem Bereich wird die Schrittweite der Untersuchung deshalb verdichtet. Aus den dargelegten Überlegungen ergeben sich somit die folgenden Untersuchungsschritte für den SV-Anteil: 2 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 % und 40 %.

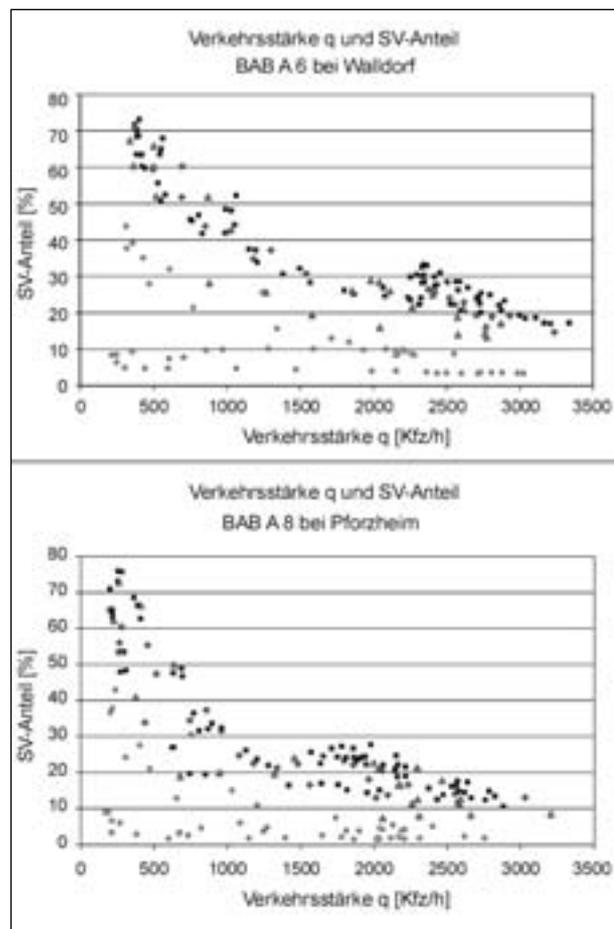


Bild 39: SV-Anteile an Dauerzählstellen

Prinzipiell können Links- und Rechtssperrungen unterschieden werden, wobei eine Arbeitsstelle im rechten Fahrstreifen einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn mit und ohne Verschwenkung abgesichert werden kann. Nicht untersucht werden Arbeitsstellen, die nur auf dem Standstreifen eingerichtet sind, und solche, deren Verkehrsführung sich nur durch das Vorhandensein eines Standstreifens (ohne dessen Benutzung für den Verkehrsablauf) unterscheidet. Daraus möglicherweise resultierende Einflüsse können, abgesehen von geringeren Fahrstreifenbreiten, im mikroskopischen Modell nicht abgebildet werden. Auf die Untersuchung von Arbeitsstellen auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen wird ganz verzichtet, weil ihr Anteil am Streckennetz der Bundesautobahnen weniger als ein Prozent ausmacht (Tabelle 11). Für alle denkbaren Lagen von Arbeitsstellen im Querschnitt haben DURTH, KLOTZ und STÖCKERT (1999) eine Systematik der Verkehrsführungen entwickelt (vgl. Bild 4).

Ein weiterer Einflussparameter ist die Längsneigung einer Strecke. „An Steigungsstrecken mit großer Längsneigung ($s > 2\%$) reduzieren sich ...

Bundesautobahnen		Länge [km]	Anteil [%]
einbahnig		71	0,6
zweibahnig	2 und 3 FS	59	0,5
	4 und 5 FS	9.194	79,2
	6 und 7 FS	2.254	19,4
	8 und mehr FS	36	0,3
	zusammen	11.543	99,4
Insgesamt		11.614	100,0

Tab. 11: Streckenlängen der Bundesautobahnen (aus BASt; 2003)

die Fahrgeschwindigkeiten ...” (HBS; 2001; S. 3-5). Weil dies insbesondere für den Schwerverkehr gilt, nimmt dieser Einfluss mit zunehmendem Anteil solcher Fahrzeuge in der Verkehrsnachfrage zu. Im HBS wird dieser Effekt für die Ermittlung der Reisegeschwindigkeit ab einer Steigung von zwei Prozent berücksichtigt. Für Straßen der Kategorie A mit einer Entwurfsgeschwindigkeit von V_e von 120 km/h legt die RAS-L (1995) eine Höchstlängsneigung von vier Prozent fest (RAS-L; 1995; S. 36). Bei einer geringeren Entwurfsgeschwindigkeit, wie zum Beispiel auf Stadtautobahnen oder Straßen der Kategoriegruppe B, sind höhere Längsneigungen zulässig. In Anlehnung an das HBS erfolgt die Festlegung der Variationsschritte:

- Gefälle und 0 bis 2 % Steigung,
- 3 % Steigung,
- 4 % Steigung und
- 5 % Steigung.

5.4.3 Ausgabedaten

Mit der Verkehrsnachfrage wird jeweils ein gestauter Verkehrszustand erzeugt. Anhand eines Messquerschnitts am Beginn der Arbeitsstelle kann dann die Verkehrsstärke registriert und aus dieser die Kapazität (aus dem Stau heraus) der Arbeitsstelle unter den gegebenen Randbedingungen ermittelt werden. Weiterhin erfolgt eine Aufnahme der Geschwindigkeitsverteilung am betreffenden Querschnitt. Wie bereits diskutiert (vgl. Kapitel 5.3.4), bildet die so ermittelte Kapazität eine Grundlage zur Bestimmung von Zeitfenstern für staufreies Arbeiten. Mit der Geschwindigkeitsverteilung lassen sich Rückschlüsse auf den Verkehrsablauf ziehen.

In der nächsten Bearbeitungsphase bilden die Ergebnisse der mikroskopischen Simulation die Eingangsdaten für eine makroskopische Simulation mit dem Ziel, volkswirtschaftliche Schäden zu bestimmen. Dafür muss die vorgesehene Nachbar-

handlung der Daten im Sinne einer Anpassung der Verkehrsstärkewerte vorgenommen werden. Eine Verwendung der ermittelten Geschwindigkeiten ist infolge dieser nachträglichen Korrektur dann nicht mehr zulässig.

6 Makroskopische Simulation

6.1 Zielsetzung und Vorgehen

Zielsetzung der Simulationen im Rahmen des vorliegenden Projekts ist es, Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen für Maßnahmen der Staureduktion bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer herauszuarbeiten. Dabei wird der Verkehrsablauf an fiktiven Arbeitsstellen unter Variation der wesentlichen streckenspezifischen, verkehrlichen und arbeitsstellenspezifischen Eingangsparameter modelliert.

Die makroskopischen Simulationen haben insbesondere die Aufgabe, die Zeitverluste der Verkehrsteilnehmer zu erfassen, sie nach Verkehrsart (Pkw-Verkehr/Schwerverkehr) und Erfassungszeit (Werktag/Sonntag) differenziert zu aggregieren und damit eine Monetarisierung der Zeitverluste für die zu untersuchenden Referenz- und Maßnahmenfälle zu ermöglichen. Dies ist eine wesentliche Grundlage für den Vergleich von Maßnahmen und für Empfehlungen zu ihrem praktischen Einsatz.

Ein methodisches Ziel, welches über die Aufgabenstellung des Forschungsprojekts hinaus reicht, ist die Verbesserung des makroskopischen Simulationsmodells der Programme SAB und QuantAS. Dies ist durch die Justierung des Modells auf der Basis von Feldversuchen und mikroskopischen Simulationen zu erreichen.

Vorgehensweise:

1. Anpassung der Modelle und der Software an die Problemstellung des Forschungsvorhabens
2. Aufbereitung der Eingangsdaten
3. Justieren des Modells auf der Basis der Feldversuche (Kapazitäten und Staulängen)
4. Justieren des Modells auf der erweiterten Datenbasis der mikroskopischen Simulationen (Kapazitäten)
5. Simulationen zur Erfassung der Zeitverluste von Maßnahmen- und Referenzfällen
6. Auswertung der Ergebnisse

6.2 Erweiterung des makroskopischen Modells und Modifikation der eingesetzten Software

6.2.1 Ausgangssituation

Am Institut für Verkehrswesen der Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrstechnik, sind seit 1999 im Rahmen von Forschungsvorhaben drei Programme zur makroskopischen Simulation von Staus auf Autobahnen entwickelt worden:

- SAB (Versionen 1.0 und 2.0),
- QuantAS,
- QuantKap.

Das Programm SAB – Stauprognose an Autobahn-Baustellen wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) geförderten und von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) betreuten Forschungsvorhabens FE 03/313/1998/IGB „Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen“ entwickelt (BECKMANN et al.; 2002). Alle Rechte am Programm liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach.

Ziel der Programmierung von SAB ist gewesen, Staulängen und individuelle Verlustzeiten an Autobahnbaustellen zu prognostizieren. Dem Programm liegt ein Stauprognoseverfahren zu Grunde, das aus den drei Teilmodulen

- Ermittlung der Nachfrage,
- Ermittlung der Kapazität des Baustellenengpasses,
- Nachbildung der Stauentwicklung

besteht.

Die Verkehrsnachfrage wird aus dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV), dem Güterverkehrsanteil und typisierten Ganglinien berechnet. Alternativ können Stundenwerte manuell eingegeben werden. Die Kapazität des Baustellenengpasses wird aus der Baustellenverkehrsführung, orts- und zeitabhängigen Umfelddaten sowie dem Lkw-Anteil ermittelt.

Anhand dieser Daten wird die Stauentwicklung für Stundenintervalle jeweils individuell nach einem deterministischen Modell berechnet und in grafischer Form sowie als Tabelle ausgegeben.

SAB ist für die Simulation einzelner Arbeitsstellen geeignet, weist aber einige Schwachstellen auf:

Die Ergebnisdaten können nur programmintern gespeichert und nicht exportiert werden. Daneben sind die Parameter und Reduktionsfaktoren für die Problemstellung dieses Forschungsvorhabens nicht ausreichend differenzierbar und modifizierbar. Für die Nachbildung des Verkehrsablaufs relevante und in den neueren Programmen QuantAS und QuantKap integrierte Größen wurden bei SAB 1.0 und 2.0 noch nicht ergänzt.

Das Programm QuantAS (Quantifizierung von Reisezeitverlustzeiten an Autobahnbaustellen) kann die Stauentwicklung an vielen Autobahnbaustellen über längere Zeiträume hinweg prognostizieren und die dort entstehenden Verlustzeiten differenziert quantifizieren (z. B. unterschieden nach Pkw/Lkw, Werktag/Sonntag, Ursache Stau/Geschwindigkeitsbeschränkung). Die Software wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Störungsursache Arbeitsstellen“ (FE 01.153/200/CRB) der Bundesanstalt für Straßenwesen am Fachgebiet Verkehrstechnik der Universität Kassel entwickelt (OBER-SUNDERMEIER et al.; 2003).

Die Berechnungsalgorithmen wurden aus dem Programm SAB übernommen und angepasst.

Im Gegensatz zu SAB werden die Eingangsdaten nicht einzeln menügesteuert eingegeben, sondern aus Datenbanktabellen eingelesen.

Auch die Ergebnisse werden in Datenbanktabellen ausgegeben. Die interaktive Menüsteuerung dient der Kontrolle des Berechnungsablaufs. Durch die Abschaltung der grafischen Ausgabe können die Berechnungszeiten verkürzt werden.

Das Programm QuantKap ist vom Aufbau ähnlich konzipiert wie QuantAS, dient aber der Quantifizierung von Verlustzeiten auf Grund von infrastrukturbedingten Kapazitätsengpässen des Bundesautobahnnetzes unabhängig von Arbeitsstellen längerer oder kürzerer Dauer. Die Software wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe“ (FE 01.155/200/CRB) der Bundesanstalt für Straßenwesen von der Ingenieurberatung Prof. Dr.-Ing. H. ZACKOR (Kooperation mit Dr.-Ing. G. LISTL und Dipl.-Ing. J. C. OTTO) entwickelt (LISTL et al.; 2004).

Daneben existieren makroskopische Softwareprodukte anderer Hersteller auf dem Markt, die auch großräumige Abbildungen des Verkehrsflusses zulassen. Eine weit gehende Kalibrierung oder Modifikation der zu Grunde liegenden Modelle und Berechnungsverfahren ist jedoch bei nicht selbst entwickelten Programmen nur sehr aufwändig oder gar nicht vom Benutzer durchführbar, was eine erhebliche Einschränkung der Untersuchungsmöglichkeiten darstellt.

Unter diesen Voraussetzungen erscheinen die Weiterentwicklung und Benutzung des Programms QuantAS als die beste Möglichkeit zur Lösung der Problemstellungen der vorliegenden Untersuchung. Es muss allerdings eine Reihe von, teils aufwändigen, Modifikationen an der Software durchgeführt werden:

- Ergänzung von Parametern und Reduktionsfaktoren: Reduktion eines rechten/linken Fahrstreifens, Capacity Drop, Geschwindigkeitsbegrenzungen,
- Simulation zweier Arbeitsstellen hintereinander,
- Detailliertere Ausgabemöglichkeiten in den Ergebnistabellen zur Darstellung der Staumodellierung,
- ggf. Ergänzung der Oberfläche analog SAB.

6.2.2 Gewähltes makroskopisches Simulationsmodell

Allgemeines

Die Aussagekraft von Simulationen des Verkehrsablaufs an Arbeitsstellen kürzerer Dauer ist neben der Wahl eines geeigneten Modells zur Nachbildung der Stauentwicklung von der zutreffenden Beschreibung der Eingangsgrößen Verkehrsnachfrage und Kapazität des Engpasses abhängig. Da diese Teilbereiche eine grundsätzlich eigenständige Problematik darstellen, können sie getrennt voneinander behandelt werden.

Wesentliche analytisch-methodische Vorarbeiten wurden bereits bei OBER-SUNDERMEIER und OTTO (2003) im Rahmen der Quantifizierung von Reisezeitverlusten an Arbeitsstellen vorgenommen. Die dort durchgeführte Analyse vorhandener Modellierungsansätze zur Nachfrage- und Kapazitätsermittlung sowie zur Stauentwicklung ist auch für das vorliegende FE-Vorhaben zutreffend. Sie stellt eine wichtige Grundlage der Ausführungen dieses Kapitels dar.

Die Modellierungsansätze zur Prognose der Verkehrsnachfrage, zur Abschätzung der Kapazität und zur Berechnung der Stauentwicklung sind Grundlage der Programme SAB, QuantAS und QuantKap. Sie werden im vorliegenden FE-Vorhaben übernommen und angepasst.

Die hier dargestellten Weiterentwicklungen des Modells und der Software sind nicht chronologisch, sondern thematisch geordnet, sie wurden zu unterschiedlichen Zeiten im Programm implementiert.

Verkehrsnachfrage

Die makroskopischen Simulationen sollen in zwei Schritten durchgeführt werden: Zuerst wird das Modell anhand von Daten aus Feldversuchen und mikroskopischen Simulationen justiert, danach wird die Wirkung der Maßnahmen im Vergleich zu Referenzfällen ohne Maßnahmen berechnet.

Bei der Modelljustierung werden als Verkehrsnachfrage die gemessenen und vom Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) aufbereiteten Stundenwerte der Verkehrsstärke im ungestauten Vorfeld der Arbeitsstellen verwendet.

Bei der Nachbildung der Maßnahmen muss eine Abwägung zwischen möglichst wirklichkeitsnaher Simulation der Maßnahmenfälle und standardisierten Laborbedingungen durchgeführt werden. Daneben sind die Handhabbarkeit und weitgehende Übertragbarkeit der Ergebnisse in reale Fälle weitere Ziele. Ausgehend von diesen Prämissen wurde folgendes Modell der Verkehrsnachfrageprognose gewählt:

- Grundlage ist der richtungsbezogene durchschnittliche tägliche Verkehr (DTV) und der durchschnittliche Schwerverkehrsanteil (SVA). Entsprechende gezählte und über lange Zeiträume gemittelte Werte sind in den vergangenen Straßenverkehrszählungen jedem Streckenabschnitt des Bundesautobahnnetzes zugeordnet.
- Aus dem DTV werden mit den typisierten Ganglinien von PINKOFSKY (2003) (Wochen- und Tagesganglinien) stündliche Verkehrsstärken differenziert ausgerechnet. Die Wochenganglinien erhöhen bzw. vermindern den täglichen Verkehr jedes Wochentages entsprechend ihrem Verlauf, es gibt sechs Typen (A-F, Bild 40). Die Tagesganglinien (es gibt 6-8 Typen mit ausdifferenzierten Spitzenstunden) bestimmen hiervon ausgehend die Stundenwerte des Verkehrs (Bild 41).

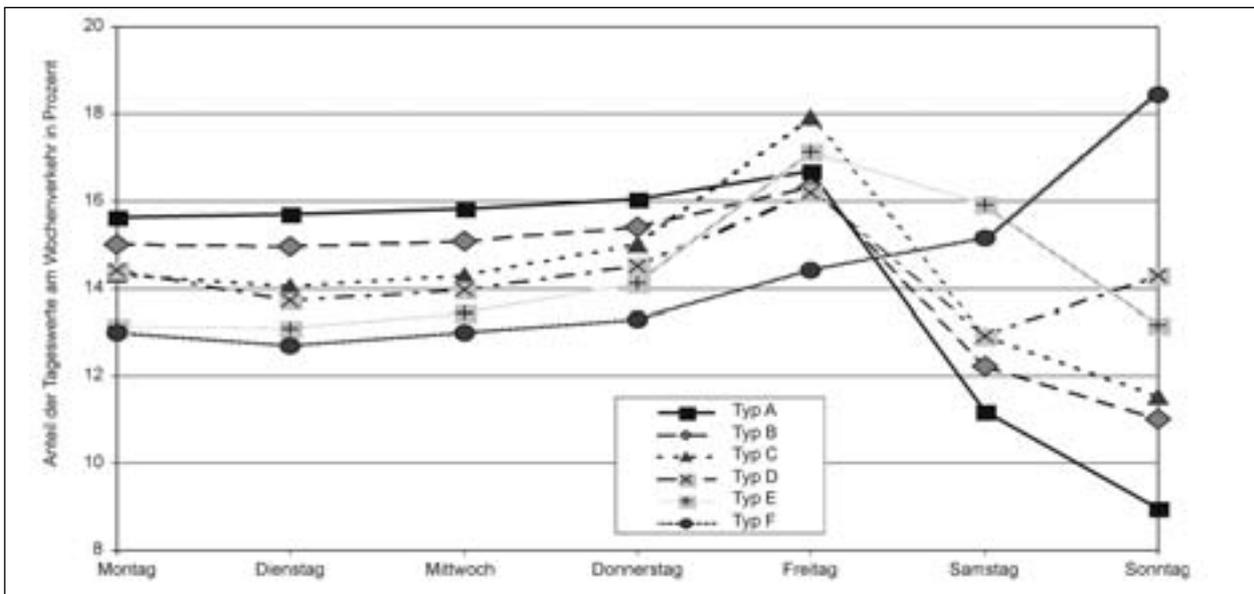


Bild 40: Typisierte Wochenganglinien nach PINKOFSKY (2003)

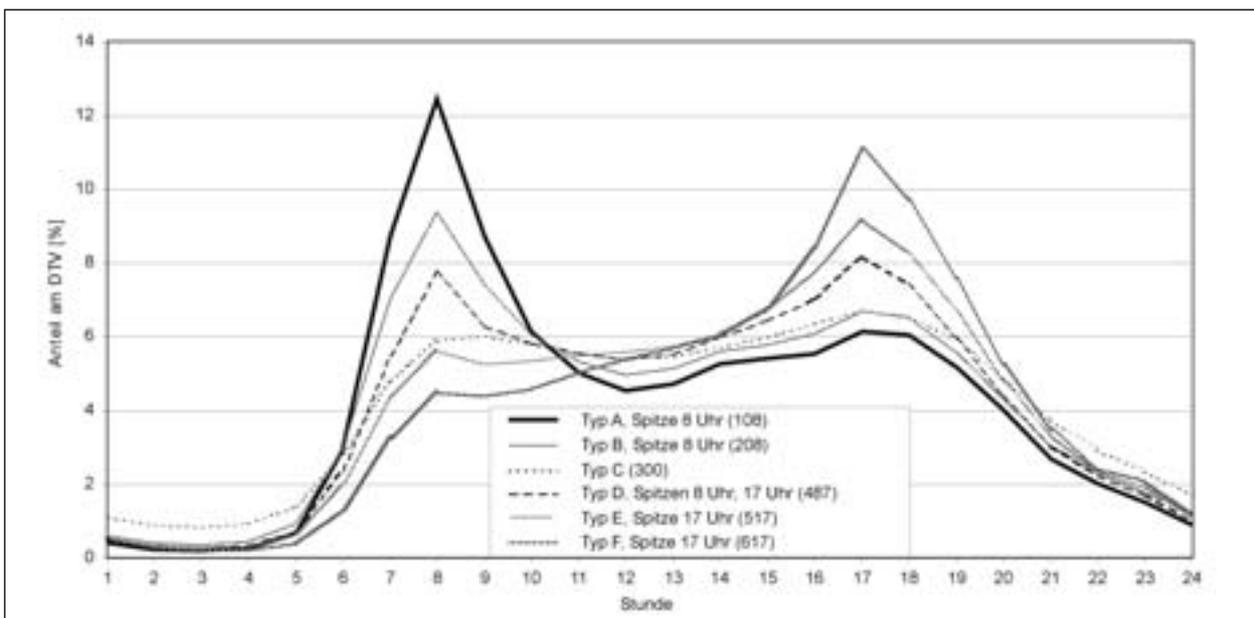


Bild 41: Typisierte Tagesganglinien für die Normalwerktag Dienstag, Mittwoch und Donnerstag (Auswahl) nach PINKOFSKY (2003)

- Zur weitgehenden Standardisierung der Eingangswerte werden für die Maßnahmenfälle bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen DTV-Werte von 20.000, 30.000 und 40.000 Kfz/24h angenommen, bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen 30.000, 40.000 und 50.000 Kfz/24h.
- Durch die jährliche Verschiebung der Schulferien sowie von Feiertagen und „Brückentagen“ sind längerfristig Aussagen zur jahreszeitlichen Schwankung der Nachfrageentwicklung auf einzelnen Streckenabschnitten problematisch. Da das vorrangige Ziel des vorliegenden FE-Projekts belastbare, möglichst universell verwendbare Aussagen über Maßnahmen zur Staureduktion an Arbeitsstellen kürzerer Dauer sind, wird auf die Berücksichtigung von Jahrestagesganglinien verzichtet.
- Der Einbezug stochastischer Schwankungen der Verkehrsnachfrage wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse geprüft. Es ergab sich kein einheitliches Bild der Auswirkungen. So traten Verstärkungen, aber auch teilweise Abschwächungen der Staubildung auf. Stochastische Schwankungen wirken ähnlich auf die Maßnahmenfälle als auch auf den Referenzfall. Der systematische Fehler, der durch die Vernachlässi-

gung der Streuung entsteht, erscheint daher vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung vernachlässigbar.

- Die Simulation wird in 5-Minuten-Intervallen durchgeführt. Die Verkehrsnachfrage pro Intervall beträgt immer 1/12 des aus DTV und Ganglinien berechneten Stundenwertes.
- Bei der Berechnung der intervallbezogenen Anteile des Schwerverkehrs wird davon ausgegangen, dass die absolute Zahl der Lkw nicht proportional zur Tagesganglinie schwankt, sondern über den Tag (6-20 Uhr) und die Nacht verteilt annähernd konstant ist. Dabei entspricht der Nachtwert jedoch 40 % des Tagwerts. Am Wochenende (von Samstag bis Sonntag) wird der Schwerverkehrsanteil vereinfachend als 5 % angenommen. Dies begründet sich aus dem allgemeinen Lkw-Fahrverbot am Wochenende in Deutschland, das jedoch begründete Ausnahmen zulässt.
- Übersteigt die aus DTV, Ganglinien und SVA berechnete Verkehrsnachfrage die Kapazität der freien Strecke, so ist davon auszugehen, dass bereits auf den stromaufwärts liegenden Streckenabschnitten und Zufahrten Stauungen auftreten. Solche infrastrukturbedingten Kapazitätsengpässe stehen nicht in ursächlichem Zusammenhang mit Arbeitsstellen. Dementsprechend werden Nachfragespitzen, die über die Kapazität der freien Strecke hinausgehen, abgeschnitten und die Nachfrage auf die Kapazität der freien Strecke gesetzt. Dabei wird der Schwerverkehrsanteil des 5-Minuten-Intervalls beibehalten, also Pkw und Lkw entsprechend ihrem jeweiligen Anteil gekürzt.
- Im Projekt „Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste – Störungsursache Arbeitsstellen“ wurde festgestellt, dass bei der Nachfrageprognose an Engpässen Verlagerungseffekte berücksichtigt werden müssen, sofern die Staulängen gewisse Schwellenwerte übersteigen. Diese räumlichen, zeitlichen oder modalen Verlagerungen sind durch verbesserte Verkehrsinformation zunehmend relevant und auch erwünscht. Werden sie vernachlässigt, ergeben sich häufig unplausibel große Staulängen von über 50 km, die in der Praxis nur sehr selten nachgewiesen werden können. Somit wird eine Verlagerungsfunktion eingesetzt (Bild 42), welche die Nachfrage abhängig von der Staulänge reduziert. Dabei wird der Schwerverkehrsanteil des 5-Minuten-Intervalls beibehal-

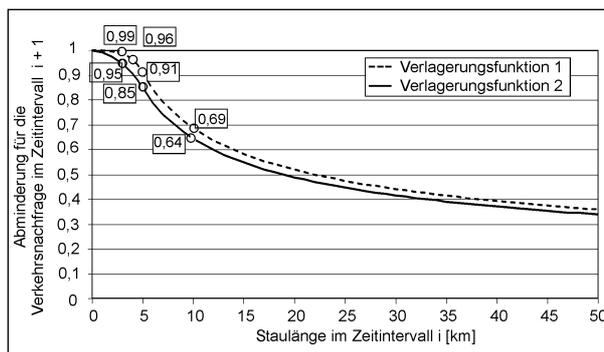


Bild 42: Verlagerung der Verkehrsnachfrage in Abhängigkeit von der Staulänge (Erstversorgung)

ten, also Pkw und Lkw entsprechend ihrem jeweiligen Anteil gekürzt.

- In den Nachbildungen der Feldversuche verbesserte die Verwendung der etwas stärkeren Verlagerungsfunktion 2 die Übereinstimmung der gemessenen und simulierten Staulängen.

Diese Punkte beschreiben die im Programm SAB 3.0 hinterlegte Nachfrageberechnung. Sie wird in allen auf Maßnahmen bezogenen Simulationen angewandt, einzige Ausnahme ist die Maßnahme D 3 „Kombination von 2 Arbeitsstellen“. Hier wird lediglich die 1. Arbeitsstelle von der hier beschriebenen Nachfrageprognose versorgt, die 2. Arbeitsstelle hingegen muss den Verkehrsabfluss aus der 1. Arbeitsstelle abwickeln. Dieser berechnet sich aus dem Minimum der beiden folgenden Werte:

- Kapazität der 1. Arbeitsstelle,
- Nachfrage vor der 1. Arbeitsstelle.

Kapazität

Zur Modellierung der Kapazität des Arbeitsstellenengpasses im vorliegenden Forschungsprojekt wurde das Staumodell nach OBER-SUNDERMEIER (2003) übernommen, ergänzt und anhand der Feldversuche und mikroskopischen Simulationen justiert.

Einem Querschnitt wird eine Grundkapazität zugeordnet. Je nachdem, ob gewisse Zustände im Umfeld eingetroffen sind, wird diese Kapazität durch Reduktionsfaktoren multiplikativ abgemindert oder erhöht (Tabelle 13). Dabei treten im Modell deutliche Kapazitätseinschränkungen auf, sofern mehrere verkehrsbeeinflussende Zustände zugleich auftreten.

Wie in den vorangegangenen Projekten wird die Kapazität als eine deterministische Größe modelliert. Kapazität bedeutet hier: maximale Verkehrs-

stärke, die pro Stunde erreicht werden kann, ohne dass ein Zusammenbruch des Verkehrsflusses erwartet werden muss. Da viele nicht ausreichend bekannte und nicht prognostizierbare Faktoren auf die Kapazität einwirken, ist es in vielen Fällen sinnvoll, sie als stochastische Größe aufzufassen (BRILON et al.; 2002). Unter Abwägung von Aufwand und Erkenntnisgewinn wurde jedoch auf eine stochastische Modellierung verzichtet.

Sowohl die Grundkapazität als auch die Reduktionsfaktoren sind im Prozess der Kalibrierung an den Feldversuchen und mikroskopischen Simulationsergebnissen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) verändert worden. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, zusätzlich zu den von BECKMANN (2002) eingeführten Faktoren noch den Capacity Drop (schlagartige Kapazitätsverminderung nach Eintritt der ersten Staubildung) sowie spezifische Faktoren für jede Art der Arbeitsstellenverkehrsführung einzuführen.

Zur Vorgehensweise bei der Justierung und Begründung der Faktoren siehe Kapitel 6.4.

Witterungseinflüsse und ein Ballungsraumfaktor wurden nicht berücksichtigt, da diese Einflüsse die Fragestellung des Forschungsvorhabens nicht grundsätzlich berühren und auch in den Feldversuchen nicht genauer quantifiziert werden konnten. Urlaubsverkehr und Arbeitsaktivität auf der Arbeitsstelle ist ebenfalls von stark unterschiedlicher Relevanz und kann daher auch nur im Rahmen der Empfehlungen für die Praxis qualitativ behandelt werden.

Auch nach den Erfahrungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe

Bezeichnung Verkehrsführung	Bedeutung
2_1_l	2-streifige Fahrbahn, links AkD, 1 verbleibender FS, ohne Mitbenutzung des Seitenstreifens
2_1_r	2-streifige Fahrbahn, rechts AkD, 1 verbleibender FS
3_2_l	3-streifige Fahrbahn, links AkD, 2 verbleibende FS, ohne Mitbenutzung des Seitenstreifens
3_2_r	3-streifige Fahrbahn, rechts AkD, 2 verbleibende FS
3_1_l	3-streifige Fahrbahn, links und Mitte AkD, 1 verbleibender FS, ohne Mitbenutzung des Seitenstreifens
3_1_r	3-streifige Fahrbahn, rechts und Mitte AkD, 1 verbleibender FS

Tab. 12: Übersicht über die Bezeichnungen der Verkehrsführungen

ruhe (TH) lässt sich der Einfluss aus Dunkelheit auf die Kapazität nicht eindeutig quantifizieren. Daher geht Dunkelheit bzw. die Sonnenaufgangszeit und die Sonnenuntergangszeit – wie in den vorangegangenen Projekten – nicht in das Modell ein.

Vergleichbare Schwierigkeiten zeigten sich in den Feldversuchen für die Vorhersage der Akzeptanz einer Standstreifenmitbenutzung. Das Fahrerverhalten ist diesbezüglich noch nicht als stabil einzustufen. Daher ist in den Simulationsläufen eine Verschwenkung auf den Seitenstreifen nicht vorgesehen.

Staumodellierung

Der Verkehrsablauf in gestautem Zustand wird mit dem Verkehrsflussmodell nach ZACKOR (vgl. Kapitel 2.4.4) nachgebildet. Übersteigt die Nachfrage eines Intervalls die Kapazität des Engpasses, so tritt ein Stauereignis ein. Die Kapazität des Engpasses

Grundkapazität der freien Strecke: 2.000 Pkw-E/h/Fahrstreifen	
Reduktions-/Erhöhungsfaktor	
Tagesbaustellen	
Einfache Ausstattung (generell)	0,95
Reduktion eines benachbarten Fahrstreifens von rechts nach links	0,92
Reduktion eines benachbarten Fahrstreifens von links nach rechts	0,96
Capacity Drop	0,95
Verkehrsführung 2_1_l*	1,175
Verkehrsführung 2_1_r*	1
Verkehrsführung 3_2_l*	1,125
Verkehrsführung 3_2_r*	1,15
Verkehrsführung 3_1_l*	1
Verkehrsführung 3_1_r*	1,08
* Bezeichnung der Verkehrsführung: Tabelle 12	
Allgemein	
Schwerverkehrsanteil (E = Äquivalenzwert)	$\frac{1}{(1 - SVA + SVA \cdot E)}$

Tab. 13: Übersicht über Reduktionsfaktoren für die Ermittlung der Kapazität von Baustellenengpässen

Parameter zur Berechnung der Stauentwicklung	
Freie Geschwindigkeit im Vorfeld der Arbeitsstelle v_f	130 km/h
Geschwindigkeit bei maximaler Verkehrsstärke v_{opt}	80 km/h
Kapazität des freien Streckenabschnitts C_F pro Spur	2.000 Kfz/h
Max. Geschwindigkeit der Lkw	80 km/h
Verkehrsdichte im Stau	60 Kfz/km

Tab. 14: Übersicht über die Parameter zur Stau- und Verlustzeitberechnung

sinkt um den Capacity Drop (5 %), Geschwindigkeit, Verkehrsdichte, Staulänge und Verlustzeiten der Fahrzeuge werden mit Hilfe der Gleichungen (14) bis (17) berechnet. Dabei werden die in den Tabellen 13 und 14 aufgeführten Parameter verwendet.

Die Verlustzeiten werden nach Werktag/Sonntag und Pkw/Lkw differenziert aufsummiert. Die Monetarisierung der Verlustzeiten wird bei der Nachbearbeitung der Ergebnisse durchgeführt.

6.2.3 Entwicklung des Programms SAB 3.0 aus dem Programm QuantAS

Allgemeines

Die Programmentwicklung war nicht vor den Simulationsläufen abgeschlossen, sondern stellte sich als iterativer Prozess dar: Im Rahmen der Justierung und Simulation von Maßnahmen traten mehrfach Ideen zur Verbesserung sowie Probleme und Grenzen der Software zutage, denen durch Anpassung des Modells nachgegangen werden konnte.

Anpassung der Objektstruktur an die Aufgabenstellung

Die Programme QuantAS und QuantKap wurden bereits objektorientiert entwickelt. Da sich der überwiegende Teil der dort verwendeten Objekte und Objektstrukturen als flexibel und doch übersichtlich bewährt hat, sollte das neue Programm SAB 3.0 die vorhandenen Objekte übernehmen und weiter ausbauen.

SAB 3.0 besitzt die Möglichkeit, Prognosen als Projekte zu verwalten. Das bedeutet, dass SAB alle Namen und Pfade sowie Zwischenergebnisse für ein Projekt unter einem Projektnamen speichert und abrufbar bereithält. Ein Projekt kann auch die Prognose mehrerer voneinander unabhängiger Arbeitsstellen sein und aus diversen Ein- und Ausgabedatenbanken bestehen. Durch die objektorientierte Struktur können auch mehrere Projekte gleichzeitig bearbeitet und berechnet werden.

Die Verkehrsnachfrage kann wie bei SAB und QuantAS im Berechnungslauf aus typisierten Ganglinien ermittelt werden, zusätzlich gibt es die Möglichkeit, vorliegende Verkehrsnachfragedaten aus Datenbanktabellen einzulesen. Dies eröffnet neue Möglichkeiten zur Justierung des Modells und seiner Parameter und ermöglicht die Simulation des Maßnahmenfalls „Zwei hintereinanderliegende Arbeitsstellen“.

Anpassung der Bedienungsfläche

Die Bedienungsfläche von SAB 3.0 wurde gegenüber QuantAS in ihren Möglichkeiten erweitert. Mehrere Projektfenster können jetzt gleichzeitig geöffnet sein. Das Fenster zur Zuordnung der Datenbanken und Parameter ist übersichtlicher gestaltet worden.

Erweiterung der Parameter und Reduktionsfaktoren

In der aktuellen Version von SAB wurden weitere Parameter zur Modellierung von Arbeitsstellenengpässen berücksichtigt. Insbesondere die Unterscheidung der Richtung des Fahrstreifeneinzugs ermöglicht eine genauere Modellierung von Ar-

Parameter der makroskopischen Verkehrssimulation			
Name	Datentyp	Wert nach Justierung	Bedeutung
GK_BS	Double	1.900	Grundkapazität einer Fahrspur im Arbeitsstellenbereich
GK_FS	Double	2.000	Grundkapazität einer Fahrspur auf freier Strecke
Py_frei	Double	130	Geschwindigkeit bei freier Geschwindigkeitswahl
Py_Lkw	Double	80	Zulässige Höchstgeschwindigkeit für Lkw
Py_opt	Double	80	Geschwindigkeit, bei der die Straße die höchstmögliche Kapazität aufweist
Pk_stau	Double	60	Dichte im Stau (Fz pro km, 1 Fahrstreifen)
P_BS_Reduktion l	Double	0,96	Faktor, wenn ein Fahrstreifen von links nach rechts auf einen verbleibenden Fahrstreifen eingezogen (reduziert) wird
P_BS_Reduktion r	Double	0,92	Faktor, wenn ein Fahrstreifen von rechts nach links auf einen verbleibenden Fahrstreifen eingezogen (reduziert) wird
P_Capacity	Double	0,95	Faktor bei bereits eingetretenem instabilem Verkehrsfluss (Capacity-Drop-Phänomen)
Pv_ref	Single	130	max. Referenzgeschwindigkeit Pkw (sinkt bei höherer Verkehrsbelastung nach dem Fundamentaldiagramm ab)
Intervall	Double	5	Länge des Prognoseintervalls in Minuten
Faktor Vfueh	Single	Tabelle 13	(Element der Verkehrsführungstabelle für Akd): Faktor zur Anpassung der Kapazität einzelner Verkehrsführungen

Tab. 15: Parameter zur Modellierung der Kapazität und des Verkehrsablaufs

beitsstellen kürzerer Dauer. Grundlage für die Einführung sind die Untersuchungen von HESS (2003). Eine Übersicht der aktuell verwendbaren Parameter gibt Tabelle 15.

Sonstige Modifikationen

Die vorgenannten Ergänzungen des Capacity Drop und der Verkehrsführungsfaktoren zur Kapazitätsmodellierung sind in den Berechnungsalgorithmen implementiert worden.

Daneben existiert jetzt die Möglichkeit, Arbeitsunterbrechungen zu simulieren. Die entsprechenden Angaben (Arbeitsunterbrechung ja/nein sowie Länge der Arbeitszeiten und der anschließenden Pausen) können in der Arbeitsstellen-Tabelle gemacht werden.

Das Format der Eingangs- und Programmtabellen sowie der Ergebnisdaten hat sich aufgrund der Modifikationen leicht verändert, eine Transformation älterer Tabellen ist mit geringem Aufwand möglich. Nach wie vor wird Microsoft Access 97 zur Bearbeitung der Daten verwendet.

6.3 Aufbereitung der Eingangsdaten

Zur Vorbereitung von makroskopischen Simulationen mit dem Programm SAB 3.0 müssen die Eigenschaften der Arbeitsstellen in eine für SAB lesbare, tabellarische Form gebracht werden.

Unter Eigenschaften sind folgende Größen zu verstehen:

- Lokalisierungsattribute (BAB-Nr., Richtung, Kilometrierung, benachbarte Anschlussstellen),
- Ausprägungen der Strecke im Vorfeld der Arbeitsstelle/im Normalzustand: Anzahl der Fahrspuren, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Steigungs- oder Gefällestrecken,
- zeitliche und räumliche Organisation der Arbeitsstelle (Verkehrsführung, Beginn und Ende von Fahrbahnsperren, Tempolimits),
- Verkehrsnachfrage des betrachteten Streckenabschnitts: intervallbezogene Verkehrsnachfragewerte im ungestauten Vorfeld oder DTV und typisierte Ganglinien.

Die Lokalisierungsattribute gehen zwar nicht direkt in die Simulationsergebnisse ein, sie haben aber erheblichen Einfluss auf die Nachvollziehbarkeit

der Berechnungen und auf die Qualität von Nachfrageprognosen für den betrachteten Streckenabschnitt. Nach den Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt „Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe“ (LIST et al.; 2004) erfordert die Heterogenität der Datengrundlagen im Autobahnbereich einen hohen Bearbeitungsaufwand. Beispielsweise haben die Dauerzählstellen eine eigene Fahrtrichtungsdefinition, die mit anderen Konventionen wie beispielsweise der Richtung nach BAST-Verzeichnis nicht kompatibel ist.

Die Lokalisierungsattribute der Feldversuche konnten mit Hilfe eines Teils der BAB-Datenbank aus dem oben genannten Forschungsprojekt aufgearbeitet werden. Die Streckeneigenschaften im Normalzustand sowie im Vorfeld der Arbeitsstellen waren aus der Dokumentation der Feldversuche zu entnehmen. Die Längsneigungen können bei mobilen Arbeitsstellen nur als Durchschnittswert angegeben werden.

Da SAB 3.0 nur eine konstante Geschwindigkeitsbeschränkung im Vorfeld und innerhalb der AkD einlesen und bei der Berechnung berücksichtigen kann, wurden differierende Tempolimits einer Arbeitsstelle zusammengefasst, zum Beispiel wurde die Folge

- Annäherung: 300 m mit 100 km/h,
- Vorwarnung: 100 m mit 80 km/h und
- AkD 2.200 m mit 60 km/h

zu einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 2.300 m mit 60 km/h zusammengefasst.

Bei der Nachbildung der Feldversuche wurden die in den Feldversuchen gemessenen Verkehrsstärken im ungestauten Vorfeld als Verkehrsnachfragewerte zu Grunde gelegt.

6.4 Justierung des makroskopischen Modells

6.4.1 Justierung des makroskopischen Modells – Basis: Feldversuche des ISE

Im ersten Simulationsschritt wurden die Feldversuche im makroskopischen Modell nachgebildet. Die Eingangsgrößen des Modells sind so weit wie möglich dem gemessenen Verkehrsgeschehen angepasst worden.

Als Ergebnis liefern die Feldversuche und die Simulationen folgende Größen, die nach Abschluss der Justierung möglichst gut miteinander übereinstimmen sollen:

- abgewickelte Verkehrsstärken im Engpass (Feldversuch)/Kapazität des Baustellenengpasses (Simulation),
- Staulängen,
- zeitliche Abfolge des Staufbaus und des Stauabbaus.

Die Feldversuche, in deren Verlauf sich Stauungen herausgebildet haben, sind für den Vergleich mit der makroskopischen Simulation am besten geeignet. Der Verkehrsabfluss aus ihnen wird im Modell als ihre Kapazität abzüglich des Capacity Drop angesehen.

Im Verlauf der Simulationen hat sich gezeigt, dass bei der Festlegung eines Capacity Drop von 10 % die Stauauflösung im Modell sehr stark verzögert abgebildet wird. Auch eine Erhöhung der Grundkapazität im Modell liefert bei hohem Capacity Drop keine verbesserte Darstellung, denn sie führt dazu, dass Staus im Simulationsverlauf oft erst gar nicht auftreten.

In mehreren Schritten wurden die Reduktionsfaktoren sowie die Verlagerungsfunktion (vgl. Kapitel 6.2.2) modifiziert, bis die Kapazitäten und Staulängen den gemessenen Werten nahe kamen.

Mit einem Kapazitätsabfall von 5 % nach Eintreten einer Verkehrsstockung, den Reduktionsfaktoren nach Tabelle 13 und der etwas stärkeren Verlagerungsfunktion 2 (Bild 42) werden plausible Ergebnisse bei der makroskopischen Simulation der Feldversuche erzielt. Durch die kleine Anzahl der Messungen müssen diese Ergebnisse jedoch kritisch gesehen werden.

6.4.2 Justierung des makroskopischen Modells – Erweiterte Datenbasis: mikroskopische Simulationen

Um die Datenbasis der Untersuchungen an Arbeitsstellen kürzerer Dauer zu vergrößern, sind im Anschluss an die Feldversuche am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) mikroskopische Simulationen durchgeführt worden. Sie basieren auch auf den Feldversuchen, weisen aber Variationen aller wesentlichen Parameter des Verkehrs und des Umfeldes auf:

- Schwerverkehrsanteil,
- Verkehrsführung,
- Steigungsstrecken.

Die Verkehrsnachfrage wurde so eingestellt, dass sie die Kapazität der Arbeitsstellen im Lauf der Simulation überstieg.

Wesentliches Ergebnis dieser Versuchsläufe sind die Verkehrsstärken des Abflusses aus den Arbeitsstellen in 5-Minuten-Intervallen.

Die Kapazitäten und auch die prognostizierten Nachfragewerte im makroskopischen Modell sind immer als Stundenwerte zu verstehen, auch wenn die Simulation in 5-Minuten-Intervallen abläuft. Auf Autobahnen können in der Realität (und auch im mikroskopischen Modell) innerhalb eines 5-Minuten-Intervalls zumeist sehr hohe Verkehrsstärken abgewickelt werden, innerhalb einer Stunde besteht jedoch eine höhere Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs des Verkehrsflusses und somit eine rechnerisch geringere Kapazität.

Dieses Phänomen ist sehr deutlich an den Ergebnissen der mikroskopischen Simulationsversuche zu erkennen: Der Mittelwert des Verkehrsflusses aus den AkD in 5-Minuten-Intervallen liegt deutlich über den Kapazitäten des makroskopischen Modells und auch über den Kapazitäten der Feldversuche. Der Variationskoeffizient, der die Standardabweichung als Prozentwert des Mittelwerts und somit die relative Schwankungsbreite ausdrückt, bewegt sich zwischen 2,5 % bei Arbeitsstellensituationen mit geringem Störpotenzial (kleiner Schwerverkehrsanteil, keine Steigungsstrecken) und bis zu 16 % bei starken Steigungen und hohen Schwerverkehrsanteilen.

Wählt man jedoch in jedem Stundenintervall das Minimum der Kapazität aus und bildet aus diesen Werten den Mittelwert über den Prognosezeitraum, so liegen die ermittelten Verkehrsstärken deutlich näher an den Kapazitäten von SAB und den Werten aus den Feldversuchen. Außerdem ist bei dieser Berechnungsmethodik die Schwankungsbreite der Stundenwerte auch bei problematischen Verkehrsführungen deutlich geringer als die Schwankung der 5-Minuten-Intervalle.

Aus diesem Grund wird die Kapazität der mikroskopischen Simulation aus dem Mittelwert der Minima der abfließenden Verkehrsstärken von jeweils 12 aufeinanderfolgenden 5-Minuten-Intervallen berechnet.

Bei der Justierung des makroskopischen Modells wurde deutlich, dass für bestimmte Verkehrsführungen spezifische Faktoren der Kapazitätserhöhung oder -verminderung sinnvoll sind.

Die Äquivalenzwerte, die den gemeinsamen Einfluss von Schwerverkehrsanteil, Längsneigungsgrad und Länge der Längsneigung im makroskopischen Modell von SAB bewirken, wurden ebenfalls justiert.

6.5 Simulation der Maßnahmen

6.5.1 Zielsetzungen

Die Simulation der Maßnahmen soll die Möglichkeit bieten, volkswirtschaftliche Kosten von Arbeitsstellen kürzerer Dauer vergleichend erfassbar zu machen:

- Einerseits für einen Referenzfall, im Rahmen des Projekts mit D 6 bezeichnet. Dieser Fall wird ausschließlich aus betrieblicher Sicht optimiert und nimmt keine Rücksicht auf verkehrliche Belange.
- Andererseits für 12 Maßnahmenfälle, die zur Verringerung des Einflusses auf das Verkehrsgeschehen teils leichte, teils aber auch massive Eingriffe in die Organisation der AkD vornehmen.

Bei der Simulation der verkehrlichen Randbedingungen wird angestrebt, sowohl normale als auch extreme Verkehrsverhältnisse zu untersuchen, um breit anwendbare Grundlagen für Einsatzempfehlungen zu schaffen. Ein weiteres Ziel ist es, einen möglichst großen Anteil des bundesdeutschen Autobahnnetzes durch eine begrenzte Zahl von Variationen in den charakteristischen verkehrlichen und physischen Randbedingungen darstellbar zu machen. Schwach belastete Streckenabschnitte, auf denen kaum Störungen des Verkehrsablaufs durch Arbeitsstellen kürzerer Dauer zu erwarten sind, müssen allerdings nicht vertieft betrachtet werden.

6.5.2 Variation der Eingangsgrößen

Unter diesen Voraussetzungen werden die folgenden Größen – unabhängig von den Maßnahmenfällen – variiert:

- Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV),
- Tagesganglinientypen für Normalwerkstage (Dienstag, Mittwoch, Donnerstag),
- Schwerverkehrsanteil,

- Anzahl der Fahrstreifen,
- Längsneigung,
- Verkehrsführung im Bereich der AkD: Reduktion der Fahrstreifen von 2 auf 1, von 3 auf 2 und von 3 auf 1.

Bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen wird ein richtungsbezogener DTV von 20.000, 30.000 und 40.000 Kfz/Tag untersucht; bei dreistreifigen Richtungsfahrbahnen sind es 30.000, 40.000 und 50.000 Kfz/Tag.

Simuliert wird im Regelfall der Verkehr am Dienstag oder in der Nacht von Dienstag auf Mittwoch, bei Arbeitsunterbrechung an einem Dienstag und dem darauf folgenden Mittwoch. Dabei werden die Ganglinientypen A mit ausgeprägter Morgenspitze um 8 Uhr, C mit relativ ausgeglichenem Verlauf sowie D mit deutlicher Morgen- und Nachmittagspitze um 8 und 17 Uhr verwendet.

Für die Nachbildung des Verkehrs am Wochenende wurden die Ganglinientypen mit ähnlicher Ausprägung wie die entsprechenden Typen des Normalwerktags verwendet: B mit Morgenspitze um 11 Uhr, A mit ausgeglichenem Verlauf und D mit Spitze um 15 bzw. 18 Uhr (Sonntag), um eine Nachmittagsspitze nachzubilden.

Aufgrund der Vielzahl der Konstellationen wurden Schwerverkehrsanteil und Längsneigung parallel variiert, da die Auswirkung innerhalb des Modells ähnlich sind. Hier gibt es 3 Stufen, wobei die Stufe mit dem höchsten Schwerverkehrsanteil und der größten Längsneigung in der Praxis selten auftritt:

Stufe 1: Längsneigung 0 % und SVA = 10 %; Stufe 2: Längsneigung 3 % (Steigung) und SVA = 20 %, Länge der Längsneigung 1 km; Stufe 3: Längsneigung 5 %, SVA = 30 %, Länge der Längsneigung 2 km.

Für zweistreifige Richtungsfahrbahnen wird die Verkehrsführung 2_1_I (Reduktion von 2 auf 1 Fahrstreifen, Fahrstreifeneinzug links) untersucht. Die Mitbenutzung des Seitenstreifens ist zurzeit noch nicht ausreichend quantifizierbar.

Ein abgeschlossenes Forschungsprojekt des ISE legt den generellen Verzicht auf einen Einzug des rechten Fahrstreifens nahe (HESS et al.; 2003). Aus diesem Grund wird der Einzug des rechten Fahrstreifens mit und ohne Verschwenkung im Rahmen von Maßnahme D 7 separat untersucht.

Für dreistreifige Richtungsfahrbahnen wird die Reduktion auf zwei und auf einen verbleibenden Fahrstreifen analysiert, mit Linkseinzug für alle Maßnahmenfälle und mit Rechtseinzug in Maßnahme D 7.

Auf diese Weise ergeben sich 81 Konstellationen. Nicht variiert werden die folgenden Größen:

- Wochenganglinie (Ganglinientyp C),
- Länge der AkD (1.000 m),
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit im Bereich der AkD (80 km/h),
- Arbeitsdauer (5 Stunden).

Auf den möglichen Einfluss dieser Größen wird im folgenden Kapitel hingewiesen.

6.5.3 Relevanz der Konstellationen im Autobahnnetz

Die kombinierten verkehrlichen, topografischen und betrieblichen Randbedingungen sind mit der Absicht ausgewählt worden, sowohl übliche Fälle als auch Extrembedingungen abzubilden. Im bundesdeutschen Autobahnnetz treten jedoch bestimmte Kombinationen von Verkehrsstärken und Ganglinien wesentlich häufiger auf als andere und insbesondere extreme Steigungen sind sehr selten anzutreffen. Aus diesem Grund ist eine prozentuale Relevanz für jede Konstellation eingeführt worden, die sich auf das BAB-Netz bezieht.

Grundlage ist die BAB-Datenbank, die im Rahmen des Forschungsprojekts „Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe“ erstellt wurde.

Aus ihr sind alle zweistreifigen und dreistreifigen Streckenabschnitte gefiltert worden, die sich innerhalb definierter Klassengrenzen (Tabelle 16) bewegen.

Die aufgrund eines geringen DTV nicht berücksichtigten Streckenabschnitte machen rund 28 % des BAB-Netzes auf die Länge bezogen aus. Hier kann davon ausgegangen werden, dass Arbeitsstellen kürzerer Dauer nur zu geringen Störungen führen und daher Maßnahmen zur Staureduktion in der Regel nicht erforderlich sind.

Die Ganglinientypen sind im Hinblick auf die Auswirkungen in der Vormittags- und Mittagszeit gruppiert worden: Typen A und B haben starke Morgenspitzen, Typen C und E sind morgens und mittags eher ausgeglichen, Typ D ist sowohl morgens als

auch nachmittags stärker ausgeprägt, vgl. Bild 41. Typ F ist durch eine sehr ausgeprägte Nachmittagspitze gekennzeichnet, wird in vielen Fällen in den untersuchten Zeiträumen unproblematisch sein und wird daher auch nicht berücksichtigt. Abgesehen von den Streckenabschnitten mit geringem DTV entfallen rund 2 % des Autobahnnetzes auf den Ganglinientyp F. Die Gruppierung von Schwerverkehrsanteil und Längsneigung (Steigungs- und Gefälle Strecken) basiert auf der Zuordnung von Äquivalenzwerten. Die Klasse 3 tritt im deutschen Autobahnnetz selten auf und ist als Extremfall anzusehen.

Durch die Variation der Konstellationen werden rund 70 % des bundesdeutschen Autobahnnetzes repräsentiert.

Die Relevanz jeder einzelnen Konstellation wird aus dem Längenanteil im BAB-Netz berechnet. Dabei wird die Verkehrsführung auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen noch zusätzlich gewichtet: Nach Daten aus dem Projekt „Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Störungsursache Arbeitsstellen“ hatten im Jahr 2000 lediglich 5 % der AkD auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen eine Reduktion auf einen Fahrstreifen, 95 % werden dagegen zweistreifig weitergeführt.

Auf diese Weise ergeben sich Werte für die „Relevanz im BAB-Netz“. Ein möglicher Einfluss der Wochenganglinie wird später diskutiert. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit und die Länge der Arbeitsstelle wirken sich nur marginal auf Verlustzeiten der Verkehrsteilnehmer aus.

6.5.4 Referenzfall (Maßnahme D 6)

Der Referenzfall ist aus betrieblicher Sicht optimiert und nimmt keine Rücksicht auf verkehrliche Belange. Im Modell findet er an einem Dienstag im Mai 2004 statt, es wird von 07:00 bis 12:00 Uhr gearbeitet. Verkehrlich werden im Referenzfall die in Kapitel 6.5.2 und Tabelle 16 vorgestellten Konstellationen untersucht, die auf die Streckenlänge bezogen mehr als zwei Drittel der möglichen Bedingungen abbilden. Für jede Konstellation sollen Kapazität, Stauentwicklung und Verlustzeiten bestimmt werden.

6.5.5 Maßnahmenfälle

In den Maßnahmenfällen werden einzelne organisatorische Bedingungen der Arbeitsstellen im Modell verändert mit dem Ziel, die negativen Wirkun-

Größe	Klasse	Grenzen
DTV [Kfz/d richtungs- bezogen]	nicht berücksichtigt	< 15.000 (2 Fahrstreifen)
		< 25.000 (3 Fahrstreifen)
	20.000	15.000 ≤ DTV < 25.000
	30.000	25.000 ≤ DTV < 35.000
	40.000	35.000 ≤ DTV < 45.000
	50.000	45.000 ≤ DTV
Ganglinientyp, (Bild 41)	A	A und B (ausgeprägte Morgenspitze)
	C	C und E (morgens und mittags ausgeglichener Verlauf)
	D	D (ausgeprägte Morgen- und Nachmittagsspitzen)
	nicht berücksichtigt	F (sehr ausgeprägte Nachmittagsspitze)
Schwerverkehranteil (SVA) und Längsneigung (LN)	Klasse 1	-4 % < LN < 2 % oder 2 % ≤ LN < 2,5 % und SVA ≤ 10 %
	Klasse 2	LN ≤ -4 % oder 2 % ≤ LN < 2,5 % und SVA > 10 % oder 2,5 % > LN > 4 %
	Klasse 3	LN ≥ 4 %

Tab. 16: Klassengrenzen zur Bestimmung der Relevanz der berechneten Konstellationen

gen auf den Verkehr zu verringern. Ob dieses Ziel wirklich erreicht wird, kann aus dem Vergleich der berechneten Verlustzeiten mit dem Referenzfall eingeschätzt werden. Auch hier gibt es für jede Maßnahme 81 Konstellationen.

Maßnahme D 1: Arbeit bei Dunkelheit

Bei Maßnahme D 1 wird der Arbeitszeitraum im Vergleich zum Referenzfall verändert. Er liegt nun in der Nacht von Dienstag auf Mittwoch, von 22:00 bis 03:00 Uhr.

Maßnahme D 2: Arbeit zu anderen verkehrsarmen Zeiten

Maßnahme D 2 wird in drei Maßnahmen untergliedert:

- D2_Mittag untersucht eine Verlegung des Arbeitszeitraums auf die Zeit Dienstag 09:30 bis 14:30 Uhr,
- D2_Samstag: Arbeit am Samstag von 7:00 bis 12:00 Uhr,
- D2_Sonntag: Arbeit am Sonntag von 7:00 bis 12:00 Uhr.

Bei den Maßnahmen am Wochenende spielen die zu Grunde gelegten Tages- und Wochenganglinien

eine wesentliche Rolle. Sie sind in der Realität von diversen raumstrukturellen Faktoren abhängig, die hier nicht näher differenziert werden können. Zur Vereinfachung wurden für Samstag und Sonntag Tagesganglinien gewählt, die der Charakteristik der Werktagsganglinien in etwa angeglichen sind.

So wird bei Konstellationen, die im Referenzfall für dienstags eine Ganglinie vom Typ A mit Morgenspitze um 8:00 Uhr haben, samstags und sonntags Typ B 211 (ausgeprägte Morgenspitze um 11 Uhr) zugewiesen. Der mehr gleichmäßig verteilten Ganglinie C wird am Wochenende der ebenfalls gleichmäßig verteilte Typ A zugeordnet, Streckenabschnitte mit Typ D (Morgen- und Nachmittagsspitze) erhalten am Wochenende Typ D mit ausgeprägter Nachmittagsspitze um 15 Uhr.

Als Wochenganglinie wird Typ C verwendet, die eine starke Freitagsspitze aufweist, die sich aber nicht in den hier durchgeführten Simulationen auswirkt. Der Sonntag ist noch schwächer gewichtet als der Samstag, sonst liegt C im mittleren Bereich der Ganglinien (Bild 40).

Diese Vereinfachungen sind bei den durchgeführten Analysen hilfreich, um den Fokus auf die Wirkung der Maßnahmen zu richten und nicht zu viele unübersichtliche Fälle unterscheiden zu müssen. Es ist aber wesentlich, dass vor der tatsächlichen Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme die lokalen Bedingungen geprüft werden. Dabei sind die Ganglinien ein elementarer Bestandteil.

Maßnahme D 3: Kombination von zwei Arbeitsstellen

Die Maßnahme D 3 wird in zwei Maßnahmen untergliedert:

- D3_D6: Die erste Arbeitsstelle hat die verkehrlichen und organisatorischen Ausprägungen von D 6, dem Referenzfall; die zweite Arbeitsstelle findet zur gleichen Zeit statt, hat als Verkehrsnachfrage den Abfluss aus der ersten Arbeitsstelle.
- D3_D2_Mittag: Die erste Arbeitsstelle hat die verkehrlichen und organisatorischen Ausprägungen von D2_Mittag; die zweite Arbeitsstelle findet zur gleichen Zeit statt, hat als Verkehrsnachfrage den Abfluss aus der ersten Arbeitsstelle. Es ist somit die Kombination aus den Maßnahmen D 3 und D 2.

In beiden Fällen werden die Verlustzeiten von erster und zweiter Arbeitsstelle gemittelt.

Maßnahme D 4: Arbeitsunterbrechung

Maßnahme D 4 umfasst Arbeitsunterbrechungen in festen Zeitintervallen. Dabei ist die Summe der Arbeitszeiten immer 5 Stunden. Durch die Pausen muss die Arbeit in den meisten Fällen auf 2 Tage ausgedehnt werden. Folgende Fälle wurden untersucht:

- D4_30_30: Nach 30 Minuten Arbeit wird eine Pause mit Verkehrsfreigabe von 30 Minuten Dauer eingelegt (Arbeit an zwei Tagen),
- D4_45_30: 45 Minuten Arbeit, 30 Minuten Pause (Arbeit an zwei Tagen),
- D4_45_45: 45 Minuten Arbeit, 45 Minuten Pause (Arbeit an zwei Tagen),
- D4_60_30_2Tage: 60 Minuten Arbeit, 30 Minuten Pause (Arbeit an zwei Tagen),
- D4_60_30_1Tag: 60 Minuten Arbeit, 30 Minuten Pause (Arbeit an einem Tag von 7 bis 14 Uhr).

Maßnahme D 7: Absicherung mit Verschwenkung

In den Referenz- und Maßnahmenfällen außerhalb von D 7 wird zu Grunde gelegt, dass Fahrstreifen immer links eingezogen werden. Obwohl dies aus Gründen der Kapazität und der Sicherheit angeraten ist (KLEIN et al.; 2004), ist der grundsätzliche Linkseinzug bei AkD, das heißt die Absicherung mit Verschwenkung bei Arbeiten am rechten Fahrstreifen, noch nicht im deutschen Regelwerk verankert.

D 7 simuliert die Auswirkungen von AkD auf dem Hauptfahrstreifen mit und ohne Verschwenkung:

- Referenzfall D7_Ref: Rechtseinzug der Fahrstreifen, Länge der Geschwindigkeitsbegrenzung 1.000 m,
- Maßnahmenfall D7_Verschwenkung: Linkseinzug, Länge der Geschwindigkeitsbegrenzung 1.150 m durch den Raumbedarf der Verschwenkung.

Die weiteren Parameter entsprechen dem Referenzfall D 6.

6.6 Volkswirtschaftlicher Nutzen

Voraussetzung für eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist neben der Berechnung von Mehrkosten einer Maßnahme auch die Quantifizierung des Nutzens ihrer Auswirkungen.

6.6.1 Bestandteile des Nutzens

Ein Nutzen kann aus unterschiedlichen positiven Veränderungen entstehen. Die EWS (1997) nennt die folgenden Komponenten:

- Betriebskosten,
- Fahrzeiten,
- Unfallgeschehen,
- Lärmemission,
- Schadstoffemission,
- Klimabelastung.

Weitere Nutzenkomponenten werden genannt, sind aber von ihrer Natur her nicht auf Maßnahmen zur Staureduktion übertragbar. Eine Senkung der Betriebskosten kann durch bauliche Maßnahmen erreicht werden. Die in den Feldversuchen näher beleuchteten betrieblichen und verkehrlichen Maßnahmen verändern die Betriebskosten, sofern diese sich überhaupt ändern, negativ. Als Nutzenkomponente kommen die Betriebskosten daher nicht in Betracht.

Schon aus der Bezeichnung der Maßnahmen zur Staureduktion geht hervor, dass der wesentliche Nutzen in der Vermeidung von Verkehrsstaus begründet liegt. BECKMANN (2002) stellt als Folgen von Staus negative Auswirkungen auf

- Verkehrssicherheit,
- Wirtschaftlichkeit,
- Umweltverträglichkeit und
- Komfort

zusammen. Mit einer eindeutigen Bewertung des Unfallgeschehens verbinden sich einige Probleme, weshalb hierzu nur qualitative Aussagen möglich sind. Längere Reisezeiten und zusätzlicher Kraftstoffverbrauch erhöhen die Fahrzeugbetriebskosten der Verkehrsteilnehmer und wirken sich dadurch negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus. Es liegt auf der Hand, dass ein höherer Kraftstoffverbrauch zu einer Steigerung der Emissionen des Straßenverkehrs beiträgt.

Es wird deutlich, dass abgesehen vom Einfluss auf die Verkehrssicherheit alle durch Stauungen ausgelösten negativen Auswirkungen mit Hilfe von Maßnahmen zur Staureduktion eindeutig reduziert werden können. Aufgrund der einheitlichen Tendenz wird in der Auswertung der Schwerpunkt auf

den volkswirtschaftlichen Nutzen aus vermiedenen Reisezeitverlusten gelegt.

6.6.2 Reisezeitverluste

Die Reisezeitverluste sind definiert als die Differenz zwischen der fahrzeugbezogenen Reisezeit auf der freien Strecke im Fall ohne Arbeitsstelle und der fahrzeugbezogenen Reisezeit im Fall mit Arbeitsstelle.

Die Geschwindigkeit auf der freien Strecke ist dabei abhängig von der Verkehrsstärke und kann dem Fundamentaldiagramm entnommen werden. Im vorliegenden Projekt liegt sie zwischen 80 km/h (Geschwindigkeit bei maximaler Verkehrsstärke) und 130 km/h (Geschwindigkeit bei sehr geringer Verkehrsstärke).

Die Geschwindigkeit im Arbeitsstellenbereich ist durch das dort vorhandene Tempolimit festgesetzt, im Rahmen dieses Projekts wird vereinfachend grundsätzlich eine Geschwindigkeit von 80 km/h angenommen.

Ein Schwellenwert für Verlustzeiten eines einzelnen Fahrzeugs wird nicht angesetzt.

6.6.3 Monetarisierung

Bei der Berechnung werden die Kostensätze aus der Bundesverkehrswegeplanung zu Grunde gelegt (Tabelle 17). Die Verwendung der Kostensätze nach EWS wäre insofern problematisch, als dort der Schwerverkehr in Lkw, Lastzug und Bus mit unterschiedlichen Kostensätzen untergliedert ist und diese Differenzierung im makroskopischen Modellansatz im Gegensatz zum mikroskopischen nicht vorgesehen ist. Aus diesem Grund wird die Grundlage der Bundesverkehrswegeplanung auch hier als Grundlage für die Monetarisierung verwendet.

Fahrzeuggruppe		Zeitkosten [EUR/(Kfz*h)]			
		Normal- und Urlaubswerktage		Sonn- und Feiertage	
		BVWP	EWS	BVWP	EWS
Pkw		13,29	5,62	8,18	2,81
SV	Lkw		21,47		21,47
	LZ + SZ	31,19	30,68	33,23	30,68
	Bus		63,91		63,91

Tab. 17: Kostensätze für Nutzerkosten nach BVWP (ARNOLD; 2001) und EWS (1997)

6.6.4 Nutzen der Maßnahmen

Eine Erfassung von Reisezeiten war in den Feldversuchen nicht möglich. Darüber hinaus besteht auch hier das Problem der Referenzen, weil ein entsprechender Feldversuch ohne Anwendung der untersuchten Maßnahme an einem anderen Tag, häufig auch auf einem anderen Streckenabschnitt durchgeführt wurde. Folglich ist eine Vergleichbarkeit der verkehrlichen Bedingungen nicht mehr gegeben. Dadurch wäre auch eine Berechnung von Reisezeitverlusten nicht möglich.

Mit den beiden Simulationsmodellen erfolgt dagegen eine Ermittlung von Reisezeitverlusten und Berechnung der daraus resultierenden monetären Schäden. Es wird in Anbetracht der geschilderten Probleme darauf verzichtet, die Feldversuche nachzustellen. Stattdessen soll der Nutzen einer Maßnahme für relevante Kostellationen aus Strecken- und Verkehrsbedingungen im deutschen Bundesautobahnnetz (Tabelle 18) bestimmt werden. Die bezogen auf die Streckenlänge des gesamten deutschen Bundesautobahnnetzes am häufigsten auftretenden Konstellationen sind weitgehend unempfindlich gegen Staus infolge von Arbeitsstellen kürzerer Dauer. Dem entsprechend sind die drei dargestellten Konstellationen im Hinblick auf ihre Staugefährdung ausgewählt.

Grundlage der Berechnung des Nutzens sind Arbeitsstellen mit einer Dauer von fünf Stunden, der durchschnittlich erreichten Sperrdauer (vgl. Kapitel

Anzahl Fahrstreifen	DTV	Tagesganglinie Typ	Längsneigung (LN)	Schwerverkehrsanteil (SVA)	Anteil am dt. Streckennetz
2	> 35.000	A und B	LN < 2 und SVA < 15		1,3 %
2	> 35.000	A und B	LN < 2 und SVA > 15 oder 2 < LN < 4 und SVA beliebig oder LN > 4 und SVA < 25		0,2 %
2	> 35.000	A und B	LN > 4 und SVA > 25		0,0 %
3	> 45.000	A und B	LN < 2 und SVA < 15		1,0 %
3	> 45.000	A und B	LN < 2 und SVA > 15 oder 2 < LN < 4 und SVA beliebig oder LN > 4 und SVA < 25		0,6 %
3	> 45.000	A und B	LN > 4 und SVA > 25		0,2 %

Tab. 18: Staugefährdete Konstellationen von Strecken- und Verkehrsbedingungen im deutschen Autobahnnetz

4.6.1). Weiter gelten die folgenden Annahmen und Voraussetzungen für die Referenzfälle:

- Referenz (D 6), den Ohne-Maßnahme-Fall, bildet eine Arbeitsstelle an einem Normalwerktag (Dienstag bis Donnerstag) auf dem linken Fahrstreifen mit Sperrbeginn um 07:00 Uhr morgens.
- Referenz für die Maßnahme Absicherung mit Verschwenkung (D 7) bildet eine entsprechende Arbeitsstelle auf dem Hauptfahrstreifen.

Für die einzelnen Maßnahmen gelten die folgenden Annahmen und Voraussetzungen:

- D 1 Nacht steht für Verlegen in die Nacht mit einem Arbeitsbeginn um 22:00 Uhr.
- D 2 Mittag ist das schon heute übliche Meiden des Berufsverkehrs durch einen späteren Arbeitsbeginn um 09:30 Uhr.
- D 2 Samstag steht für das Verlegen auf einen Samstag mit den gleichen Zeiten wie bei der Referenzbaustelle (Beginn 07:00 Uhr)
- D 2 Sonntag steht für das Verlegen auf einen Sonntag mit den gleichen Zeiten wie bei der Referenzbaustelle (Beginn 07:00 Uhr)
- D 3 sind zwei Arbeitsstellen, die folglich in der halben Zeit die gleiche Leistung erbringen. Die Ergebnisse unterscheiden sich geringfügig von einer Kombination der Tätigkeiten in einer Arbeitsstelle, weil in der zweiten Arbeitsstelle Reisezeitverluste durch die geltende Geschwindigkeitsbeschränkung auftreten.
- D 4 Arbeitsunterbrechung wird unter der Annahme simuliert, dass am Folgetag so lange weitergearbeitet wird, bis die fünf Stunden Gesamtsperrezeit zusammenkommen. Es wurden mehrere Takte für Arbeitsdauer und Pausenzeiten untersucht, aber nur der Takt, im Wechsel 30 Minuten sperren und 30 Minuten freigeben, dargestellt. Der wirksamste Takt hängt von den Strecken- und Verkehrsbedingungen ab und kann sich deutlich von der dargestellten Variante unterscheiden.
- D 5 Standstreifenmitbenutzung ist aufgrund des hohen Schwerverkehrsanteils an einem Normalwerktag wirksam, sodass Reisezeitverluste nur durch die geltende Geschwindigkeitsbeschränkung entstehen.

- D 6 steht in der Codierung für den Referenzfall und stellt insofern keine Maßnahme dar.
- D 7 steht für die Absicherung mit Verschwenkung. Hierfür wurde ein eigener Referenzfall gebildet.

Es lassen sich zum Teil erhebliche Unterschiede in der Größe des volkswirtschaftlichen Nutzens erkennen. Insbesondere die Maßnahme D 4 „Arbeitsunterbrechung“ ist, sofern der Abbruch nicht nur von auftretenden Behinderungen abhängig gemacht werden soll, mit Sorgfalt zu planen.

6.6.5 Ergebnis als gewichteter Nutzen

In Analogie zu dem Vorgehen für die bereits bei der Kostenberechnung definierte Musterbaustelle (vgl. Kapitel 4.7.3) wird auch der volkswirtschaftliche Nutzen für das Anwenden von Maßnahmen zur Staureduktion gewichtet, in diesem Fall in Abhängigkeit von den Strecken- und Verkehrsbedingungen im deutschen Autobahnnetz (Bild 45). Bei den Maßnahmen D 4 Arbeitsunterbrechung erfolgt dies für unterschiedliche Takte und bei der Maßnahme D 5 Standstreifenmitbenutzung unter Annahme unterschiedlich großer Akzeptanz. In der Abbildung ist der im Mittel pro Arbeitsstelle kürzerer Dauer erzielbare volkswirtschaftliche Nutzen bei einer deutschlandweiten Anwendung nur der jeweiligen Maßnahme. Es liegt auf der Hand, dass der Nutzen auf den meisten Streckenkilometern deutlich niedriger ausfallen wird, dafür aber auf hochbelasteten, staugefährdeten Autobahnabschnitten auch erheblich höher.

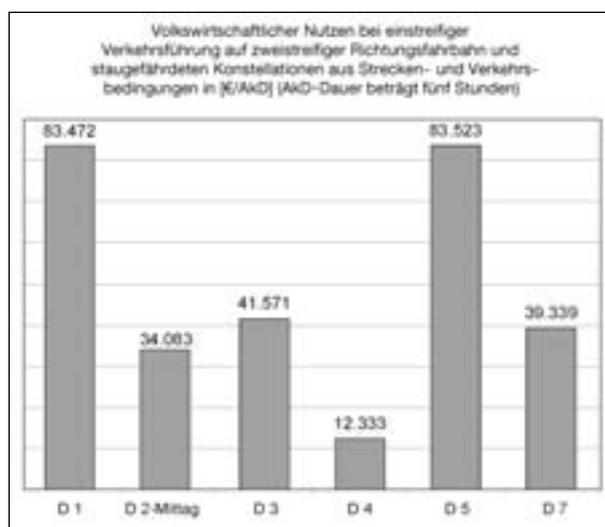


Bild 43: Volkswirtschaftlicher Nutzen von Maßnahmen auf einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn

Beim Vergleich dieser Ergebnisse mit denen aus dem vorangehenden Kapitel 6.6.4 wird die große Spanne deutlich. Es soll zum Beispiel auf einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn der linke Fahrstreifen für eine fünfstündige Arbeitsstelle gesperrt werden. In einem staugefährdeten Netz mit einer ungünstigen Konstellation aus Strecken- und Verkehrsbedingungen analog der Tabelle 18 kann dann durch das Verlegen der Arbeiten in die Nacht (Maßnahme D 1) ein volkswirtschaftlicher Nutzen aus vermiedenen Reisezeitverlusten von fast 240.000 € (Bild 44) erzielt werden. Wenn sich aber infolge der Konstellation aus Strecken- und Ver-

kehrsbedingungen bei Einrichten der Arbeitsstelle zu den üblichen Arbeitszeiten gar kein Stau bilden und Reisezeitverluste deshalb nur aus der Geschwindigkeitsbegrenzung im Arbeitsstellenbereich resultieren würden, kann das Anwenden einer Maßnahme keine grundsätzliche Änderung bewirken. Der volkswirtschaftliche Nutzen entsteht dann nur aus der geringeren Anzahl an betroffenen Fahrzeugen und ist sehr gering.

Aus den dargestellten Zahlen lassen sich Aussagen über die Wirksamkeit einer Maßnahme im Vergleich zu anderen ableiten. Eine Wirtschaftlichkeitsbe-

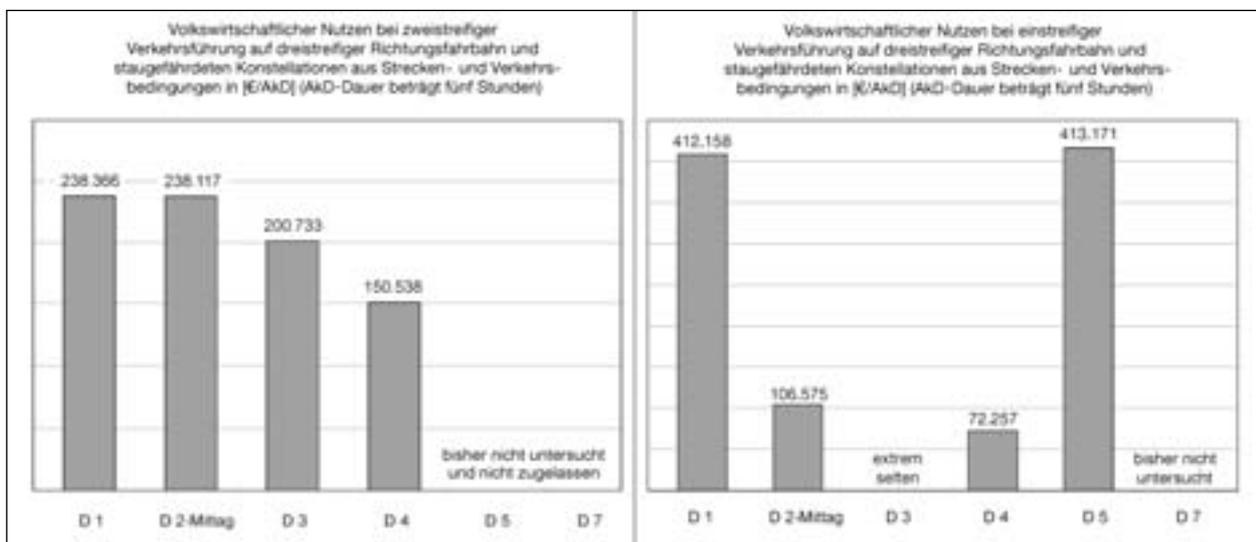


Bild 44: Volkswirtschaftlicher Nutzen von Maßnahmen auf einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn

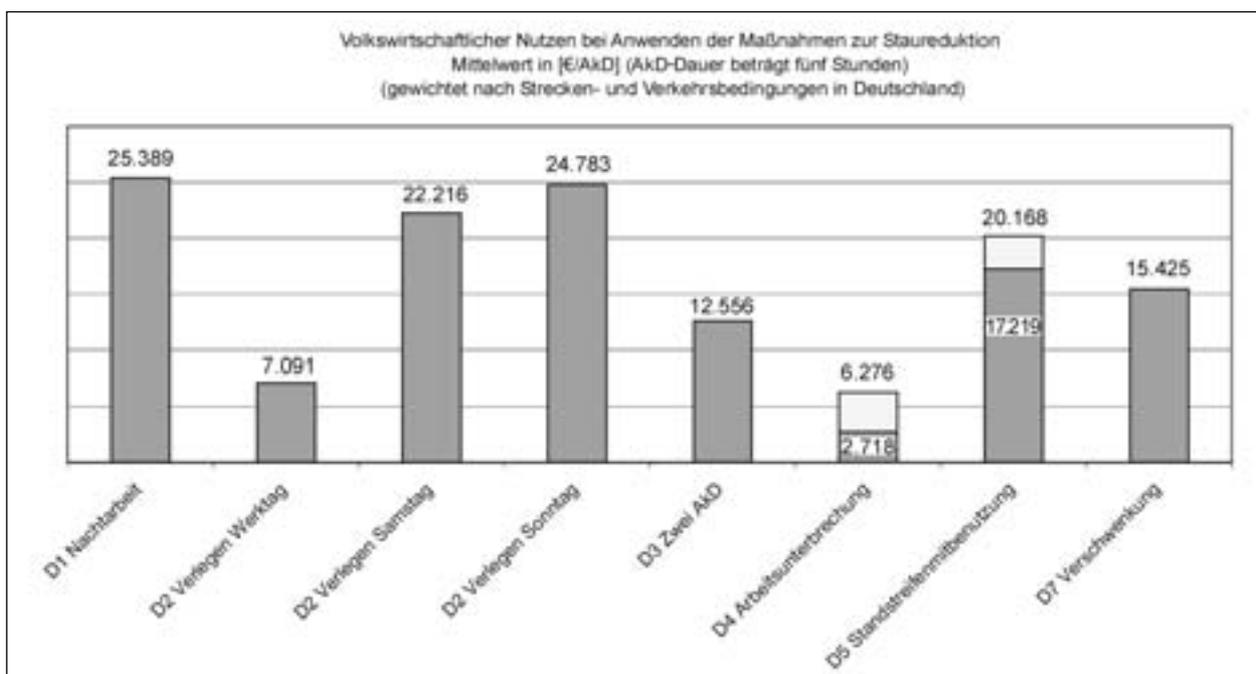


Bild 45: Volkswirtschaftlicher Nutzen von Maßnahmen

trachtung kann damit noch nicht vorgenommen werden, weil der erforderliche Aufwand für das Anwenden der jeweiligen Maßnahme nicht berücksichtigt ist.

7 Analyse und Bewertung

7.1 Arbeits- und Personalrecht

Bei der Analyse des Einsatzes von Maßnahmen zur Stauvermeidung darf ein Blick auf den arbeits- und personalrechtlichen Rahmen nicht fehlen. Es wird deutlich, dass die Maßnahmen D 1 und D 2 „Verlegen von Tätigkeiten“ unter Umständen direkt in Vereinbarungen über die Arbeitszeit eingreifen. Sofern infolge der zeitlichen Verteilung der Verkehrsnachfrage über den Tag ein Ausweichen auf die Nachtstunden oder das Wochenende erforderlich wird, sind Arbeiten außerhalb der üblichen werktäglichen Arbeitszeiten notwendig. Zusätzlich kann in Meistereien mit hochbelasteten Netzen die Einführung von Schicht- oder Wechselschichtbetrieb sinnvoll sein. Bei allen anderen Maßnahmen zur Staureduktion lässt sich ein solcher ursächlicher Zusammenhang zwischen Maßnahme und Arbeitszeit nicht herstellen.

Neben den Regelungen des Arbeitszeitgesetzes (ArbZG) ist im öffentlichen Dienst hierzu der Manteltarifvertrag zu beachten – bei Einsätzen im Straßenbetriebsdienst in der Regel der für Arbeiter (MTArb). Darin werden über das Arbeitszeitgesetz hinausgehende Festlegungen zur Arbeitszeit und dem Lohn getroffen. Aus dem aufgezeigten rechtlichen Rahmen lassen sich folgende wesentlichen Aussagen herleiten:

- Soll die tägliche Arbeitszeit über acht Stunden hinaus ausgedehnt werden, so müssen die acht Stunden im Durchschnitt in einem Zeitraum von sechs Monaten (§ 3 ArbZG), bei Nachtarbeit von einem Monat (§ 6 ArbZG) eingehalten werden. Unter bestimmten Bedingungen kann die regelmäßige tägliche Arbeitszeit auf bis zu zehn Stunden ausgedehnt werden. Hierzu zählen die vorgenannten Ausgleichsbedingungen (§ 3 und § 6 ArbZG) sowie Vor- und Abschlussarbeiten (§ 15 Satz (3) MTArb). Eine Ausdehnung der täglichen Arbeitszeit über zehn Stunden hinaus ist nur möglich, wenn entsprechende Anteile an Bereitschaftszeiten (§ 7 ArbZG und § 15 Satz (2) MTArb) darin eingeschlossen sind.

- Nacht- und Schichtarbeit ist grundsätzlich möglich (§ 6 ArbZG und § 15 Satz (6) MTArb). Entsprechende Bedingungen zur Gestaltung des Arbeitsumfeldes, des Freizeitausgleichs und des Lohnausgleichs sind einzuhalten. Sonn- und Feiertagsarbeit ist nur in begründeten Ausnahmefällen (§ 10 ArbZG) zulässig.

Inwieweit die im Gesetz genannten Gründe für Sonn- und Feiertagsarbeit wie zum Beispiel „2. Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung ...“ oder „14. Reinigung und Instandhaltung von Betriebseinrichtungen, soweit hierdurch der regelmäßige Fortgang des eigenen oder eines fremden Betriebes bedingt ist, ...“ auf das Fernstraßennetz anwendbar sind, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Bei Bedarf sollten sich die betroffenen Tarifparteien auf neue, angepasste Arbeitszeitregelungen verständigen. Es ist zu erwarten, dass auch bei einer konsensfähigen Neuregelung der Arbeitszeiten weiter Lohnzuschläge (§ 27 MTArb) zu zahlen und überproportionaler Freizeitausgleich zu gewähren ist. Daher sind höhere Gemeinkosten infolge konsequenter Anwendung von Maßnahmen zur Staureduktion unvermeidlich.

7.2 Sicherheit und Gesundheit

Neben den wirtschaftlichen Auswirkungen und den aufgeführten formaljuristischen Randbedingungen sind gesundheitliche und soziale Aspekte zu beachten, auf die nachfolgend kurz eingegangen werden soll. Hier sollen zu den gesundheitlichen Aspekten auch die Verkehrs- und Arbeitssicherheit an und in Arbeitsstellen kürzerer Dauer zählen.

7.2.1 Verkehrssicherheit

Untersuchungen zum Unfallgeschehen an Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen führten zum Beispiel GREBE et al. (1991) für Hessen und die Jahre 1986 bis 1989 durch. Auch wenn die Autoren auf die geringe Anzahl von 239 Verkehrsunfällen als Datenkollektiv hinweisen, so zeigt Tabelle 19 doch, dass die Unfallrate an AkD auf etwa den dreifachen Wert des Durchschnittswertes auf Bundesautobahnen steigt. Bei Unfällen mit schweren Personenschäden und bei der Unfallkostenrate wird ein noch größerer Anstieg festgestellt.

Auch bei DURTH et al. (1999) zeigt sich im Vergleich zwischen der freien Strecke ohne Arbeitsstelle und dem unmittelbaren Bereich der AkD ein signifikanter Anstieg sowohl der Unfallrate als auch

Unfallkennziffern	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	Arbeitsstellen längerer Dauer	Autobahnen insgesamt
Unfallrate [U/10 ⁶ Fzkm]	3,0	1,4	0,95
Rate der Unfälle mit schweren Personenschäden [U/10 ⁶ Fzkm]	0,3	0,08	0,046
Unfallkostenrate [DM/1.000 Fzkm]	160	--	29

Tab. 19: Unfallkennziffern von Arbeitsstellen an Bundesautobahnen (GREBE et al.; 1991)

Unfallkennziffern	Arbeitsstellen kürzerer Dauer	Arbeitsstellen längerer Dauer	Autobahnen insgesamt
Unfallrate [U/10 ⁶ Fzkm]	6,56	1,27	0,67
Unfallrate (Personenschäden) [U/10 ⁶ Fzkm]	0,97	0,17	0,12
Unfallkostenrate [DM/1.000 Fzkm]	164,90	28,90	23,62

Tab. 20: Unfallkennziffern von Arbeitsstellen an Bundesautobahnen (DURTH et al.; 1999)

der Unfallkostenrate (Tabelle 20). Während die Unfallrate nahezu auf das Zehnfache steigt, erhöht sich die Unfallkostenrate um den Faktor sieben.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden 82.820 Unfälle, die sich in den Jahren 1991 bis 1996 auf den hessischen Autobahnen ereigneten, ausgewertet.

In diesem Zusammenhang sind die Feststellungen von STEINAUER (1991) interessant, dass trotz dieses erhöhten Unfallrisikos im Bereich von Arbeitsstellen auf Autobahnen die Verkehrssicherheit dort noch immer größer ist als im nachgeordneten Netz. Damit würden Umleitungsstrecken über das nachgeordnete Netz, Maßnahme D 8 zur Staureduktion, aus Sicht der Verkehrssicherheit keine geeignete Lösung darstellen.

Die zitierten Untersuchungen belegen, dass die Unfallhäufigkeit im Bereich von Arbeitsstellen kürzerer Dauer deutlich höher liegt als auf der freien Strecke ohne Arbeitsstellen und auch in Arbeitsstellen längerer Dauer. Aufgrund der von STÖCKERT (2001) ausgewerteten Unfallereignisse kann nachgewiesen werden, dass sich die meisten Unfälle in Zusammenhang mit AkD im Längsverkehr ereignen (23 % „Stau“, 21 % „Einholen eines Einzelfahrzeuges“) und die häufigsten Unfallarten Kollisionen mit Verkehrsteilnehmern, die „voraus-

fahren oder warten“ (38 %) sowie die „seitlich in gleicher Richtung fahren“ (16 %), darstellen. Hieraus und aus den durchgeführten Untersuchungen zum Fahrverhalten leitet STÖCKERT die folgenden Ansätze zur Reduzierung der Unfallwahrscheinlichkeit ab:

- Vermeiden von Verkehrsstauungen,
- Reduzieren der Geschwindigkeiten,
- Harmonisieren der Geschwindigkeiten,
- Verbesserungen der Verkehrsführung,
- Vereinfachen der Fahrstreifenwechsel.

Es war nicht Inhalt der vorliegenden Untersuchung, die Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen kürzerer Dauer zu verbessern. Trotzdem darf die Anwendung von Maßnahmen zur Staureduktion nicht zu einer Verschlechterung derselben führen. Deshalb sind die Auswirkungen nicht nur im Hinblick auf die Maßnahme D 1 „Arbeit bei Dunkelheit“ differenziert zu betrachten.

7.2.2 Arbeitsschutz

Nach deutschem Recht ist der Arbeitgeber verpflichtet, dem Beschäftigten drohende Gefahren zu beseitigen oder zu vermindern. Diese Verpflichtung besteht vom Grundsatz her dem Staat und nicht dem Beschäftigten gegenüber und ist damit nicht vertraglich abdingbar. Im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) wird der Arbeitsschutz mit „... Verhütung von Unfällen bei der Arbeit und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren einschließlich ... menschengerechter Gestaltung der Arbeit“ (§ 2 Satz (1) ArbSchG) konkretisiert. Darin eingeschlossen sind nach Auffassung von PORTUNÉ (2004) auch psychische Belastungen. Aufgrund des für das im Bereich der Unterhaltung und Instandsetzung von Straßen eingesetzte Personal offensichtlich hohen Gefährdungspotenzials am Arbeitsplatz kommt der Einhaltung der betreffenden Gesetze und Verordnungen eine große Bedeutung zu.

Die Regeln der Gesetzlichen Unfallversicherung zur Straßenunterhaltung (GUV-R 2108), herausgegeben vom Bundesverband der Unfallkassen, enthalten „Zusammenstellungen von Anforderungen für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Straßenunterhaltung, die in bestehenden Gesetzen, Verordnungen, Unfallverhütungsvorschriften und allgemein anerkannten sicherheitstechnischen und/oder arbeitsmedizinischen Regeln enthalten sind“

(GUV-R 2108, Vorbemerkung). Sie schränken die Zulässigkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer in ihrer beweglichen Form grundsätzlich ein: „[Mobile AkD] sollen nur dann eingerichtet werden, wenn eine stationäre Absicherung einen unvertretbar hohen Aufwand bedeutet“ (GUV-R 2108, Kapitel 6.5). Problematisch an dieser Formulierung ist der Begriff des unvertretbar hohen Aufwandes. So definiert die GUV den Begriff des Aufwandes und seiner Vertretbarkeit nicht. Dem Straßenbaulastträger stehen auf der einen Seite nur begrenzte Ressourcen in finanzieller, personeller und gerätetechnischer Hinsicht zur Verfügung, auf der anderen Seite müssen Unterhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten aber im Wesentlichen aus Gründen der Verkehrssicherungspflicht durchgeführt werden. So ergibt sich in der Praxis die Definition des vertretbaren Aufwandes aus der Aufteilung der zur Verfügung stehenden Ressourcen auf die durchzuführenden Arbeiten.

Neben dieser Einschränkung für bewegliche AkD beinhalten die GUV Randbedingungen und Einschränkungen für Straßenunterhaltungsarbeiten (nicht nur im Rahmen von mobilen/stationären AkD) bei Dunkelheit. Vollständig ausgeschlossen von der Durchführung bei Nacht werden Baumpflege- und Fällarbeiten. Hier fordern die GUV, dass der Unternehmer dafür zu sorgen hat, „... dass Baumpflege- und Fällarbeiten – abgesehen von Notfällen – nur bei Tageslicht ... ausgeführt werden“ (GUV-R 2108, Kapitel 7.8.1). Alle anderen auftretenden Tätigkeiten dürfen demnach aus Sicht des Arbeitsschutzes auch bei Nacht ausgeführt werden.

Arbeitsschutzrechtliche Vorgaben für AkD, bei denen die eigentlichen Arbeiten während der Nachtstunden stattfinden, sind in Kapitel 6.6 der GUV geregelt. Grundsätzlich dürfen diese nur zur Ausführung kommen, „... wenn eine erhebliche Verringerung der Gefährdung der Beschäftigten infolge stark eingeschränkter Verkehrsaufkommens zu erwarten ist und zwingende Notwendigkeiten dies erfordern“ (GUV-R 2108, Kapitel 6.6.1). Als zwingende Notwendigkeiten werden beispielhaft (d. h., die in den GUV angegebenen Notwendigkeiten stellen nur einen Teil der denkbaren Notwendigkeiten dar) genannt:

- sehr hohe durchschnittliche Verkehrsbelastung bei Tag,
- Arbeiten im Bereich der Fahrstreifen oder am Mittelstreifen und

- Arbeiten an Überführungen von der darunter liegenden Fahrbahn aus.

Ob das geringere Verkehrsaufkommen in der Nacht tatsächlich zu einer Verringerung der Gefährdung der Beschäftigten führt, ist im Hinblick auf die später betrachtete Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen bei Dunkelheit weiter zu untersuchen. Unabhängig davon können aufgrund der aufgezählten Notwendigkeiten alle AkD mit einem Eingriff in den Verkehrsraum grundsätzlich auch bei Nacht zur Anwendung kommen. Lediglich AkD, die Arbeiten auf einem ausreichend dimensionierten Standstreifen vorsehen, sind für eine Durchführung bei Dunkelheit an die Bedingung einer „sehr hohen durchschnittlichen Verkehrsbelastung bei Tag“ gekoppelt. Da solche Arbeiten ohne wesentliche Eingriffe in den Verkehrsablauf durchgeführt werden können, besteht hier der Bedarf einer Verlegung in die Nacht zunächst nicht.

7.2.3 Arbeitsstellen bei Dunkelheit

Auch wenn die GUV grundsätzlich sowohl stationäre als auch mobile AkD bei Dunkelheit zulässt, nennt sie Voraussetzungen, die dabei einzuhalten sind. Hierbei sind zum einen äußere Einflüsse wie z. B. die Witterungsverhältnisse und zum anderen technische Anforderungen zu unterscheiden. So dürfen Nachtbaustellen nur eingerichtet werden, „... wenn keine Beeinträchtigung der Sicht besteht“ (GUV-R 2108, Kapitel 6.6.3), das heißt, bei Beeinträchtigung der Sicht durch Nebel, Regen oder Schneefall dürfen AkD bei Dunkelheit nicht eingerichtet oder aufrechterhalten werden. Allerdings nennt die GUV keine quantitativen Kriterien für die Sichtbeeinträchtigung und verlagert somit die Entscheidung auf den subjektiven Eindruck des Verantwortlichen vor Ort. Die hiermit verbundenen rechtlichen Risiken sind nicht unerheblich. Eine einfach zu handhabende Quantifizierung dieser Problemstellung nehmen die RSA in ihren Regelplänen vor, die schon heute auf unterschiedlichen Sichtweiten (z. B. Sichtweite 400 bis 800 m bei Regelplan D III/3a oder Sichtweite < 400 m bei Regelplan D III/3b) Bezug nehmen. Wesentliche technische Randbedingungen betreffen zum einen die Absicherung der nächtlichen Arbeitsstelle und zum anderen deren Ausleuchtung. Die GUV fordern: Nachtbaustellen müssen für den Verkehrsteilnehmer „... als solche eindeutig und rechtzeitig erkennbar“ sein (GUV-R 2108, Kapitel 6.6.4). Die Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen (RSA) sagen jedoch lediglich, dass die Verkehrs-

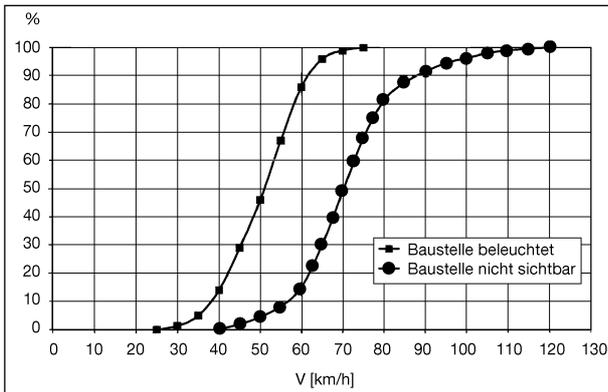


Bild 46: Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Beleuchtung einer Nachtbaustelle (KOB; 2000 aus Untersuchungen von RESSEL; 1994)

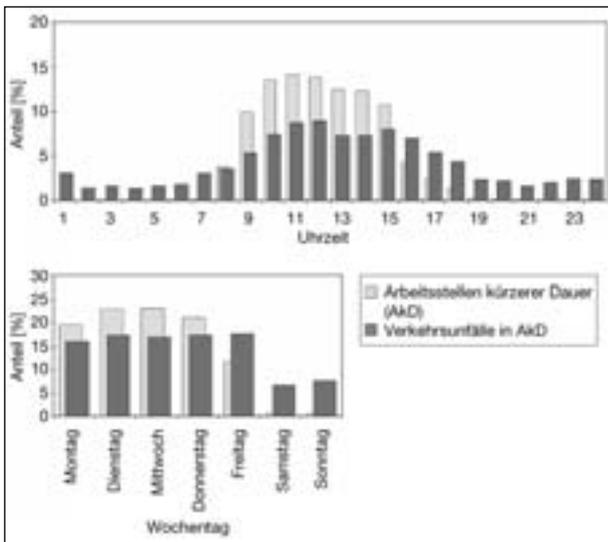


Bild 47: Unfallkennziffern von AaD an Bundesautobahnen (DURTH, et al.; 1999)

führung und -regulierung „... in Anlehnung an die Regelpläne D I oder D II unter Beachtung der erhöhten Gefährdung bei Nacht in vereinfachter Form zu gestalten“ seien (RSA; 1995, Teil D 3 Satz (17)) und die Beleuchtung so auszulegen sei, „... dass das Unfallrisiko im Verkehrsbereich nicht ansteigt. Insbesondere dürfen alle Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen nicht in ihrer Wirkung sowie die Verkehrsteilnehmer nicht durch Blendungen übermäßig beeinträchtigt werden“ (RSA; 1995, Teil A 9). Dass die Beleuchtung der Arbeitsstelle nicht nur für die durchzuführenden Tätigkeiten, sondern offenbar auch für den Verkehr eine entscheidende Rolle spielt, zeigt sich in Geschwindigkeitsmessungen an Nachtbaustellen (Bild 46).

In der bereits früher zitierten Untersuchung von DURTH et al. (1999) wurde auch die zeitliche Verteilung des Unfallgeschehens (Bild 47) über den Tag und die Woche betrachtet. Auffälligkeiten zei-

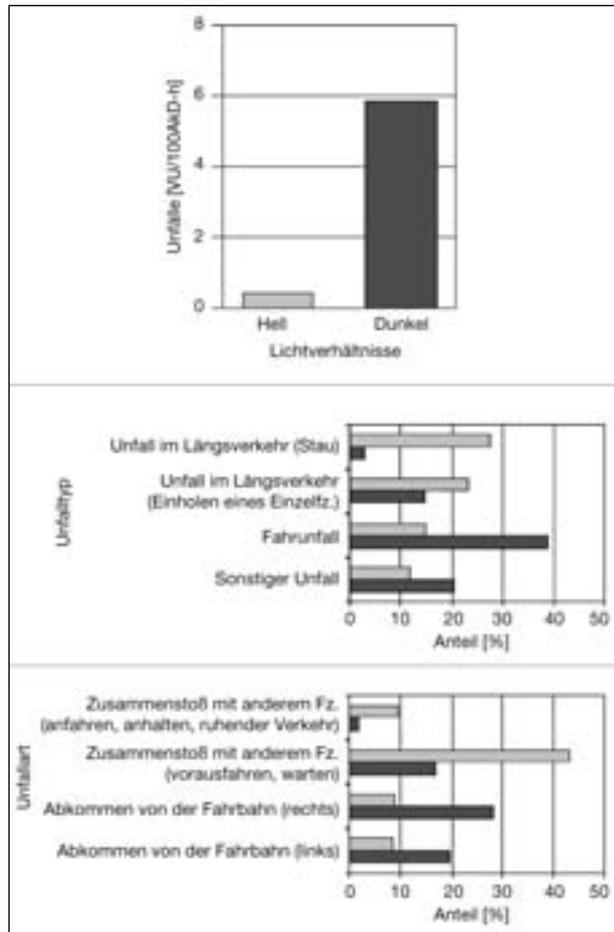


Bild 48: Unfallgeschehen in AaD in Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen (STÖCKERT; 2001)

gen sich hier sowohl in der Nacht als auch am Wochenende. In beiden Zeiträumen steht im Verhältnis zu den anderen Tagesstunden und Wochentagen eine große Zahl von Unfällen einer kleinen Zahl von Arbeitsstellen gegenüber. Während bei den Arbeiten bei Dunkelheit ein Zusammenhang mit den Lichtverhältnissen nahe liegt, konnten in den genannten Untersuchungen keine eindeutigen Erklärungen für die Beobachtungen an den Tagen Freitag bis Sonntag gefunden werden.

STÖCKERT (2001) hat das Phänomen der Unfallhäufungen in den Nachtstunden weiter untersucht und konnte einen Zusammenhang zwischen den Lichtverhältnissen und der Unfallhäufigkeit nachweisen (Bild 48). Umgerechnet auf die Sperrdauer der AaD ereigneten sich bei Dunkelheit im untersuchten Datenkollektiv 13-mal so viele Verkehrsunfälle wie bei Tageslicht.

In den genannten Untersuchungen wurde zwar ein Zusammenhang zwischen den Lichtverhältnissen und der Unfallhäufigkeit festgestellt, gleichzeitig ist den dort erfassten Daten aber auch zu entnehmen,

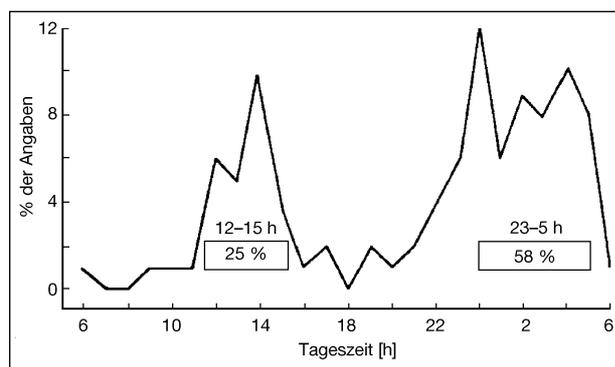


Bild 49: Nennungen zum Einschlafen am Steuer nach Uhrzeit (ULICH et al.; 1979 aus Untersuchungen von Prokop und Prokop; 1955)

dass bei einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer AkD (Nachtstunden, Samstag und Sonntag) ein Anstieg der Unfallhäufigkeit beobachtet werden kann. Dies lässt zwei Schlüsse zu:

- Es besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Dunkelheit und Unfallhäufigkeit; Ursache für die Unfälle sind die schlechten Lichtverhältnisse.
- Es besteht ein mittelbarer Zusammenhang zwischen Dunkelheit und Unfallhäufigkeit; Ursache für die Unfälle ist die Überraschung der Fahrer, die in der Nacht aufgrund des seltenen Auftretens nicht mit Arbeitsstellen rechnen.

Der zweite Ansatz könnte auch die Unfallhäufigkeit an den Wochenenden erklären. Für die Nacht könnte die Auswirkung dieses Ansatzes durch ein geringeres Aufmerksamkeitsniveau der Verkehrsteilnehmer verstärkt werden. Auf die Frage, wann sie schon einmal am Steuer ihres Fahrzeuges eingeschlafen seien, antworten immerhin fast 60 % mit Zeiten in der Nacht (Bild 49). An diesem Problem setzt die Untersuchung von STEINAUER et al. (2004) an und zeigt verschiedene Möglichkeiten zum Schutz von Personal und Verkehrsteilnehmern auf.

7.2.4 Nachtarbeit

Die emotional geführte Diskussion um die Nachtarbeit an sich zeigt bereits, dass sich hier gesundheitliche und soziale Schwierigkeiten verbergen, vor denen sich Arbeitnehmer fürchten. Aus der industriellen Schichtarbeit ist bekannt, dass es im Verlauf der Nacht zu einem Leistungstief kommt (Bild 50). In der Folge steigt die Zahl der Produktionsfehler und Arbeitsunfälle an.

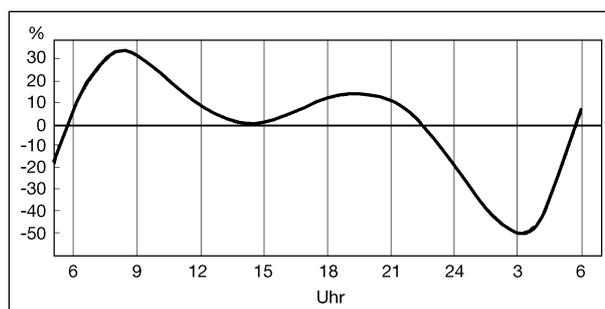


Bild 50: Physiologische Leistungsbereitschaft über 24 Stunden (ULICH et al.; 1979 aus einer Darstellung von GRAF in 1953 nach Angaben von BJERNER, HOLM und SWENSSON in 1948)

Andere Untersuchungen liefern Belege für einen Einfluss von Nachtarbeit auf den biologischen Rhythmus (Circadianrhythmus) des Menschen (CARPENTIER; 1981; STRATMANN; 1979). Eine Anpassung des Körpers an die Anforderungen der Nachtarbeit bereitet Schwierigkeiten und geht häufig mit einem Missbrauch von Schlaf- und Aufputschmitteln einher, der weitere gesundheitliche Störungen der Verdauung und des Kreislaufs nach sich zieht. Darüber hinaus ist bei regelmäßiger Nachtarbeit mit negativen Auswirkungen auf die Familie und das restliche soziale Umfeld des Arbeitnehmers zu rechnen. ULICH et al. (ULICH et al.; 1979; S. 74) sehen deshalb Nachtarbeit nur aus

- „technologischen Gründen
- oder aufgrund eines
- dringenden öffentlichen Bedürfnisses“

als legitimiert an. Es bleibt also die gesellschaftspolitische Frage zu klären, ob es sich bei der Stauvermeidung um ein dringendes öffentliches Bedürfnis handelt, das den deutlichen Eingriff in die Regelungen zur Arbeitszeit im Hinblick auf Nachtarbeit rechtfertigt.

7.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für eine gesamtwirtschaftliche Bewertung werden im Folgenden die Nutzen/Kosten-Verhältnisse aus vermiedenen Reisezeitverlusten und betrieblichen Mehrkosten gegenübergestellt. Es ist bei allen Ergebnissen zu bedenken, dass auf der Nutzenseite nur die vermiedenen Reisezeitverluste eingehen. Wegen der einheitlichen Tendenz anderer Nutzenkomponenten (vgl. Kapitel 6.6.1) sind die ‚wahren‘ Ergebnisse noch deutlich besser. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren kann eine Berechnung für das Bundesgebiet nicht

durchgeführt werden. Als Anhaltswert erfolgt die Hochrechnung für ein Beispielnetz.

7.3.1 Potenzial der einzelnen Maßnahmen

Aus einer Gegenüberstellung der Mehrkosten für die unterschiedlichen Szenarien der Musterbaustelle (vgl. Kapitel 4.7.3) mit dem gewichteten Nutzen lässt sich das Potenzial der einzelnen Maßnahmen abschätzen. Bezogen auf die Strecken- und Verkehrsbedingungen des deutschen Autobahnnetzes (vgl. Kapitel 6.6.5) kann durch Nacharbeit im Mittel ein Nutzen/Kosten-Verhältnis von zwölf zu eins erzielt werden. Deutlich besser ist das Verhältnis, wenn die Verkehrsbedingungen ein Ausweichen auf das Wochenende zulassen. Sofern die Fahrbahn und die Anschlussstellenabstände es zulassen, ist die Standstreifenmitbenutzung die Maßnahme mit dem höchsten Potenzial. Volkswirtschaftlich gesehen schneidet die Kombination von Tätigkeiten und Arbeitsstellen besonders gut ab. Sofern Gründe der Arbeitsorganisation eine Kombination von Tätigkeiten und Arbeitsstellen zulassen, sollte diese Möglichkeit genutzt werden. Es ist allerdings zu erwarten, dass der volkswirtschaftli-

Maßnahme zur Staureduktion	Mehrkosten [€/d]	Nutzen [€/d]	Nutzen-Kosten-Verhältnis
D 1 Verlegen in die Nacht	2.156,40	25.389,00	12
D 2 Verlegen auf das Wochenende	221,25	24.783,00	112
D 3 Kombination	0,00	12.556,00	
D 4 Arbeitsunterbrechung	stark abhängig vom Takt		
D 5 Standstreifen	0,00	25.479,00	
D 7 Verschwenkung	411,40	15.425,00	37

Tab. 21: Nutzen/Kosten-Verhältnis im Mittel bei Anwendung in ganz Deutschland

Maßnahme zur Staureduktion	Mehrkosten [€/d]	Nutzen [€/d]	Nutzen-Kosten-Verhältnis
D 1 zweistreifig	2.156,40	83.472,00	39
D 1 dreistreifig	2.156,40	238.366,00	111
D 2 zweistreifig	221,25	34.083,00	154
D 2 dreistreifig	2.156,40	238.117,00	1.076
D 3 zweistreifig	0,00	41.517,00	
D 3 dreistreifig	0,00	200.733,00	37
D 4	stark abhängig vom Takt		
D 5	0,00	83.523,00	
D 7	411,40	39.339,00	96

Tab. 22: Nutzen/Kosten-Verhältnis bei Anwendung auf besonders staugefährdete Strecken

che Erfolg durch den Verkehrsteilnehmer nicht in vollem Umfang als solcher wahrgenommen wird, weil er nach wie vor im Stau stehen wird.

Bei der Betrachtung der Nutzen/Kosten-Verhältnisse für die untersuchte Konstellation von hochbelasteten Strecken (vgl. Kapitel 6.6.4) ergeben sich noch deutlich bessere Ergebnisse (Tabelle 22). Allerdings ist die Erkenntnis, dass der Nutzen umso größer wird, je mehr Fahrzeuge von den Behinderungen betroffen wären, trivial. Daraus lässt sich aber möglicherweise der Schluss ziehen, dass eine flächendeckende Umsetzung im Sinne einer volkswirtschaftlichen Gesamtbetrachtung nicht zielführend ist. Abgesehen von den Maßnahmen, die ohne nennenswerte Mehrkosten eingeführt werden können oder schon sind, wäre eine Anwendung von Maßnahmen zur Staureduktion dann auf staugefährdete Streckennetze zum Beispiel in Ballungsräumen zu konzentrieren.

7.3.2 Nutzen für ein Beispielnetz

Eine Hochrechnung sowohl der Kosten als auch des Nutzens setzt eine Datengrundlage voraus, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht zu beschaffen war. Zur Bestimmung der Mehrkosten müsste bekannt sein, an wie vielen Arbeitsstellen welche Maßnahmen angewendet werden könnten. Es bereitet deutliche Schwierigkeiten, eine Beziehung zwischen den eingerichteten Arbeitsstellen und deren Rahmenbedingungen herzustellen. Für die Beurteilung, ob potenziell Maßnahmen zur Staureduktion angewendet werden könnten oder müssten, wären Informationen über Planbarkeit, Dauer und bearbeitetem Streckenabschnitt erforderlich.

Am Beispiel des Streckennetzes der Straßenbauverwaltung des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe⁴ mit einer Netzlänge von etwa 1.000 km soll das Potenzial unter gewissen Annahmen für die im Jahr 2000 durchgeführten Arbeitsstellen kürzerer Dauer trotzdem bestimmt werden. Basis ist eine Zusammenstellung aller Arbeitsstellen kürzerer Dauer, die in diesem Zeitraum eingerichtet waren. Es wird angenommen,

- dass 80 % der Arbeitsstellen zu gleichen Teilen über die Verkehrsführungen verteilt planbar gewesen wären,

⁴ Heute ist das Streckennetz Teil des Landesbetriebes Straßenbau NRW.

- dass die Entscheidung über Maßnahmen zur Staureduktion analog des aufgeführten Szenarios getroffen worden wäre und
- dass das Szenario aus Maßnahmen zur Staureduktion Staus an planbaren AkD vollständig unterbinden würde.

Daraus lassen sich die auftretenden Mehrkosten für den Straßenbaulastträger in Abhängigkeit des gewählten Entscheidungsszenarios berechnen (Tabelle 23, oben). Aus den im Anwendungsfall durch die einzelnen Maßnahmen erzielten Nutzen lässt sich der vermiedene volkswirtschaftliche Schaden ermitteln (Tabelle 23, unten) (OBER-SUNDERMEIER et al.; 2003).

Es wird deutlich, dass bei einer optimalen Stauvermeidung ein günstiges Nutzen/Kosten-Verhältnis von sieben zu eins bei weitgehender Vermeidung von Wochenendarbeit erzielt wird. Die hierfür aufzuwendenden Mitteln sind mit fast acht Millionen Euro pro Jahr allerdings beachtlich. Darin eingerechnet sind noch nicht die zusätzlichen Gemeinkosten, die bei einer Änderung der Arbeitszeitregelungen anfallen würden.

7.3.3 Folgerungen für den Einsatz

Aus den durchgeführten Untersuchungen gehen deutliche Unterschiede im wirtschaftlichen Potenzial der einzelnen Maßnahmen hervor. Neben den Differenzen, die sich beim Vergleich der Maßnahmen untereinander zeigen, lässt sich auch eine Abhängigkeit von den vorherrschenden Randbedingungen erkennen. In fast allen Fällen ist das Nutzen/Kosten-Verhältnis größer eins. Folglich scheint sich der Einsatz von Maßnahmen zur Staureduktion gesamtwirtschaftlich betrachtet in jedem Fall zu lohnen. Dieser Eindruck wird noch verstärkt durch die Ergebnisse von OBER-SUNDERMEIER (2003), die zeigen, dass zwar nur jeder vierte Arbeitsstellenbedingte Stau durch eine Arbeitsstelle kürzerer Dauer ausgelöst wird, aber mehr als die Hälfte der Reisezeitverluste in diesen Staus anfällt.

Bedingt durch die Abhängigkeiten hinsichtlich der Größenordnung der Kosten und des volkswirtschaftlichen Nutzens von den Verhältnissen im betreuten Netz einer Meisterei ist eine Hochrechnung von Nutzen und Kosten nicht für den allgemeinen Fall möglich. Das Beispiel zeigt jedoch, dass Maßnahmen zur Staureduktion erhebliche Einsparun-

Gewichtete Mehrkosten im Netz – Entscheidungsszenario					
AkD Typ	Entscheidung Maßnahme	Mehrkosten [€/AkD]	Anteil an allen AkD	Anzahl AkD des Typs	Gesamtkosten im Netz [€]
1	-	-	-	-	-
2	D 1	2.156,40	18,3 %	869	1.873.912
3	D 5	0,00	22,2 %	1.052	0
4	D 1	2.156,40	26,2 %	1.242	2.678.249
5	D 1	2.156,40	18,2 %	866	1.867.442
6	D 1	2.156,40	1,2 %	55	118.602
7	D 2 + D 5	221,25	1,2 %	57	12.611
8	D 1	2.156,40	12,1 %	576	1.242.086
9	D 1	2.156,40	0,7 %	31	66.848
Summe				4.748	7.859.751
Zeitverlust durch			Zeitverlust in [Mio/h]	Kostensatz in [€/h]	Zeitkosten in [€]
Stau	Pkw (Werktag)		2,21	13,29	29.370.900
	Pkw (Sonn-/Feiertag)		0,02	8,18	163.600
	Lkw		0,69	31,19	21.521.100
AkD	Pkw (Werktag)		0,34	13,29	4.518.600
	Pkw (Sonn-/Feiertag)		0,00	8,18	0
	Lkw		0,01	31,19	311.900
Summe					55.886.100

Tab. 23: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung am Netz des ehemaligen Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe für 2000

gen bei den staubedingten volkswirtschaftlichen Verlusten bewirken können.

Aus den dargestellten Untersuchungen lassen sich zwei grundsätzliche Folgerungen für den Einsatz von Maßnahmen zur Staureduktion ableiten:

- Der Einsatz von Maßnahmen zur Staureduktion ist sinnvoll und birgt gesamtwirtschaftlichen Nutzen.
- Der Einsatz von Maßnahmen zur Staureduktion verursacht nicht unerhebliche betriebliche Mehrkosten, denen ein volkswirtschaftlicher Nutzen gegenübersteht.

Insbesondere die letzte Folgerung muss die Grundlage einer gesellschaftspolitischen Diskussion bilden, weil die betrieblichen Mehrkosten dem Straßenbaulastträger tatsächlich und konkret in den Meistereien entstehen. Der dargestellte volkswirtschaftliche Nutzen aus kürzeren Reisezeiten oder geringeren Fahrzeugbetriebskosten fällt dagegen bei Bürgern und Unternehmen verteilt über die Gesellschaft an und kann dadurch derzeit nicht zum Ausgleich der Mehrkosten herangezogen werden. Über die Finanzierung der Mehrkosten für Maßnahmen zur Staureduktion bei einem bundesweiten Einsatz ist deshalb an anderer Stelle noch nachzudenken.

8 Empfehlungen für die Praxis

8.1 Anwenden von Maßnahmen

Unabhängig von der Frage der Finanzierung kann das Anwenden von Maßnahmen zur Staureduktion empfohlen werden. Dabei sollte mit den folgenden Prioritäten vorgegangen werden:

1. Vermeiden von Stau,
2. Verringern von Stau,
3. Informieren über Stau.

Aus den dargestellten Ergebnissen lassen sich für die einzelnen Maßnahmen zur Staureduktion geeignete Einsatzstufen ableiten. Zunächst sollte durch ein Verlegen von Arbeiten (Maßnahmen D 1 und D 2) oder die Standstreifenmitbenutzung (Maßnahme D 5) eine vollständige Vermeidung von Verkehrsbehinderungen angestrebt werden. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, weil hierfür nicht genügend Zeiten zur Verfügung stehen oder die Rahmenbedingungen hinsichtlich der Arbeitszeit-

regelungen sowie der Personal- und Geräteausstattung das nicht in vollem Umfang zulassen, so sind unterstützende Maßnahmen zu ergreifen. Mit den Maßnahmen D 4 „Arbeitsunterbrechung“, D 5 „Standstreifenmitbenutzung“ und D 7 „Absicherung mit Verschwenkung“ lassen sich in Abhängigkeit von der Lage der Arbeitsstelle und den durchzuführenden Tätigkeiten Behinderungen an der einzelnen Arbeitsstelle verringern.

Parallel hierzu kann eine Information der Verkehrsteilnehmer die Akzeptanz von Arbeitsstellen kürzerer Dauer als Begleiterscheinung der betrieblichen und baulichen Erhaltung von Straßen erhöhen. Das gilt insbesondere bei der Anwendung der Maßnahme D 3 „Kombination von Tätigkeiten“ oder „Kombination von Arbeitsstellen“, deren Nutzen erst im Gesamtsystem wirksam wird und für den einzelnen betroffenen Verkehrsteilnehmer nicht ersichtlich ist. Eine Kombination verschiedener Maßnahmen kann unter Umständen sinnvoll sein. Auch wenn die Maßnahme D 8 „Umleiten des Verkehrs“ nicht Gegenstand der Untersuchungen war, kann aufgrund der zu erwartenden Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, die Reisezeiten und die Umweltverträglichkeit davon ausgegangen werden, dass diese Maßnahme nur in Betracht kommt, wenn die Umleitungsstrecke aus Autobahnen oder Straßen mit autobahnähnlichen Querschnitten besteht. Auf diese Weise könnte eine verträgliche Abwicklung des aus der Umleitung resultierenden Zusatzverkehrs sichergestellt sein.

Für die Entscheidung, welche Maßnahme zum Einsatz kommen soll, werden im Einzelfall unterschiedliche Kriterien Bedeutung erlangen. Der Einsatz vieler Maßnahmen hängt grundsätzlich von den Voraussetzungen hinsichtlich Arbeitszeitregelungen und Arbeitsorganisation ab. Die Verkehrsbedingungen im betreuten Streckennetz geben dabei das Maß der erforderlichen Flexibilität vor. Mit dem Nutzen/Kosten-Verhältnis steht zumindest ein Anhaltswert für die Bewertung der Maßnahmen zur Verfügung. Es ist allerdings zu erwarten, dass eine positive Wahrnehmung der Anstrengungen zur Staureduktion in der Öffentlichkeit vom vollständigen Vermeiden der Behinderungen abhängt. Ein volkswirtschaftlicher Nutzen gleicher Größenordnung, der in einem Fall zur freien Fahrt führt, wird psychologisch anders wahrgenommen, als wenn er im anderen Fall nur zur Halbierung der zusätzlichen Reisezeit beigetragen hat.

8.2 Hinweise zur Umsetzung

Aus den allgemeinen Empfehlungen zu den Maßnahmen zur Staureduktion lassen sich die Grundsätze der Anwendung ablesen. Für die konkrete Umsetzung sollen im Folgenden noch vertiefte Hinweise gegeben werden.

8.2.1 Arbeitsorganisation

Es liegt in der Natur der Sache, dass in hochbelasteten Streckennetzen ein umfassendes Verlegen von Arbeiten in Zeiten mit geringer Staugefährdung eine Umorganisation der Arbeit nach sich ziehen muss. Dabei ist ein wichtiger Punkt die Anpassung der Arbeitszeit, sowohl hinsichtlich der tatsächlichen Arbeitszeiten als auch hinsichtlich der Flexibilität. Aus der Verkehrssicherungspflicht resultiert allerdings auch ein Anteil nicht planbarer Absicherungen, wie zum Beispiel bei Unfällen oder verkehrsgefährdenden Fahrbahnschäden. Da hierfür eine gewisse Grundleistung an Einsatzstunden von Personal und Fahrzeugen verbraucht wird, führt die häufige Anwendung von Maßnahmen zur Stauvermeidung zu erhöhtem Bedarf bei der Grundausstattung der Meistereien. Dieses gilt analog auch für Maßnahmen, die direkt zusätzliches Personal und Fahrzeuge erfordern. Ganz offensichtlich muss die Auslastung im zu betreuenden Streckennetze eine entscheidende Rolle bei der Zuteilung von Ressourcen an die einzelnen Meistereien spielen.

8.2.2 Arbeitsstellenplanung

Ein zielgerichtetes Verlegen von Arbeitsstellen als erste Priorität bei der Stauvermeidung auf stark ausgelasteten Strecken birgt weitere Schwierigkeiten. Der Erfolg des zeitlichen Verlegens setzt bestimmte Ganglinientypen und daraus folgend ausreichende Zeitfenster mit geringer Staugefährdung voraus. Dabei können Tages-, Wochen- und Jahresganglinien bei unterschiedlichen Maßnahmen relevant sein:

- Das Verlegen von AkD in die Mittagszeit an Normalwerktagen bietet sich besonders bei Streckenabschnitten mit den Ganglinientypen A und B (ausgeprägte Morgenspitze) an.
- Das Verlegen von AkD auf das Wochenende bewirkt eine weitgehende Reduktion von Stauungen, sofern im betroffenen Streckenabschnitt der Wochenganglinientyp A, B oder C gilt. Bei den Typen D, E oder F gibt es deutliche Einschränkungen (vgl. Tabelle 14): Typ D hat nur

am Samstag unterdurchschnittliche Verkehrsstärken, die Typen E und F haben sogar ihre Verkehrsspitzen am Wochenende.

- Das Verlegen von AkD in die Nachtstunden führt auf den meisten Strecken zur Stauvermeidung.

Es kommt vor, dass Streckenabschnitte am Wochenende, während des Tages und bis in die Nachtstunden hinein gleichmäßig überlastet sind. In solchen Fällen hilft nur ein Ausbau der Fahrbahn weiter.

Auf der betrieblichen Seite setzt das Verlegen von Arbeitsstellen eine vorausschauende Planung der durchzuführenden Tätigkeiten voraus. Es könnte notwendig sein, den Meistereien ein Werkzeug an die Hand zu geben, mit dem die Aufteilung des erforderlichen Leistungsumfanges auf die insgesamt zur Verfügung stehenden Zeitfenster eines zum Beispiel saisonal bedingten Zeitraumes vorgenommen werden kann. Analog sollten die bereits unternommenen Anstrengungen im Hinblick auf ein Baustelleninformationssystem auf die Arbeitsstellen kürzerer Dauer ausgedehnt werden. Damit könnte eine Abstimmung der AkD verschiedener Meistereien untereinander möglich werden.

8.2.3 Arbeiten bei Dunkelheit

Grundsätzlich scheinen Arbeitsstellen bei Dunkelheit keine Nachteile hinsichtlich der Quantität und Qualität der geleisteten Arbeit aufzuweisen (vgl. Kapitel 4.6.1). Allerdings sind hierfür wesentliche Voraussetzungen zu erfüllen:

- Es ist für eine wirkungsvolle Sicherung der Arbeitsstelle zu sorgen, wobei in der Regel der Aufwand hierfür den für eine Tagesbaustelle übersteigt. Insbesondere sind Vorkehrungen zum Schutz gegen ungebremst auffahrende Lastkraftwagen nötig (vgl. Kapitel 7.2.3).
- Es ist für eine geeignete Beleuchtung des Arbeitsraumes ohne Blendwirkung für die Verkehrsteilnehmer zu sorgen, die zusätzlichen organisatorischen und monetären Aufwand verursacht.
- Es ist für eine arbeits- und tarifrechtliche Regelung der Nacharbeit zu sorgen, aus der Freizeitausgleich und/oder zusätzliche Lohnkosten folgen (vgl. Kapitel 7.1). Hieraus resultierende Auswirkungen auf die Betriebsplanung der Meistereien sind in der kapazitiven Ausstattung zu berücksichtigen.

Da Zeitfenster mit geringer Staugefährdung am häufigsten in den Nachtstunden zu finden sind, können Arbeitsstellen bei Dunkelheit den größten Beitrag zur Stauvermeidung leisten. In Anbetracht der mit Nachtarbeit einhergehenden sozialen und gesundheitlichen Auswirkungen (vgl. Kapitel 7.2.4) sollte sie jedoch nur als letzter Ausweg genutzt werden, wenn ein Ausweichen in andere verkehrssarme Zeiten oder in eine Spätschicht nicht zum Erfolg führen.

8.2.4 Arbeiten in Ferienzeiten

Auf der Grundlage typisierter Jahresganglinien (PINKOFSKY; 2003) sind Entscheidungen über das Verlegen von Arbeitsstellen in die Ferienzeiten möglich. Ausgehend von Bild 51 sind bei Streckenabschnitten mit Jahresganglinientyp A in den Ferienzeiten starke Rückgänge des Verkehrsaufkommens zu erwarten, bei Typ C sind ebenfalls geringere Verkehrsstärken in den Ferien zu prognostizieren. Dies ist auf einen hohen Anteil von Berufsverkehr zurückzuführen. Typ B ist ausgeglichen und Typ D hat vereinzelte Spitzen während der Ferienzeiten.

Streckenabschnitte mit den Ganglinientypen E, F und G weisen ein erhöhtes Ferienverkehrsaufkommen mit zum Teil extremen Spitzenbelastungen auf.

Auf dieser Grundlage erscheint es angeraten, in Bereichen, die durch die Jahresganglinientypen A und C charakterisiert werden, Arbeitsstellen nach Möglichkeit in den Ferienzeiten einzurichten. Bei den Ganglinientypen B und D ist vor einer Durchführung von Arbeiten in Ferienzeiten zu prüfen, ob im geplanten Zeitraum mit verstärktem Reiseverkehr gerechnet werden muss.

Jahresganglinie [Typ]	Netzlänge in [%]	Arbeitsstellen möglich
A	18	++
B	20	o
C	10	+
D	18	o
E	20	-
F	11	--
G	2	--

Tab. 24: Streckenbezogene Relevanz der Jahresganglinien im Bundesautobahnnetz

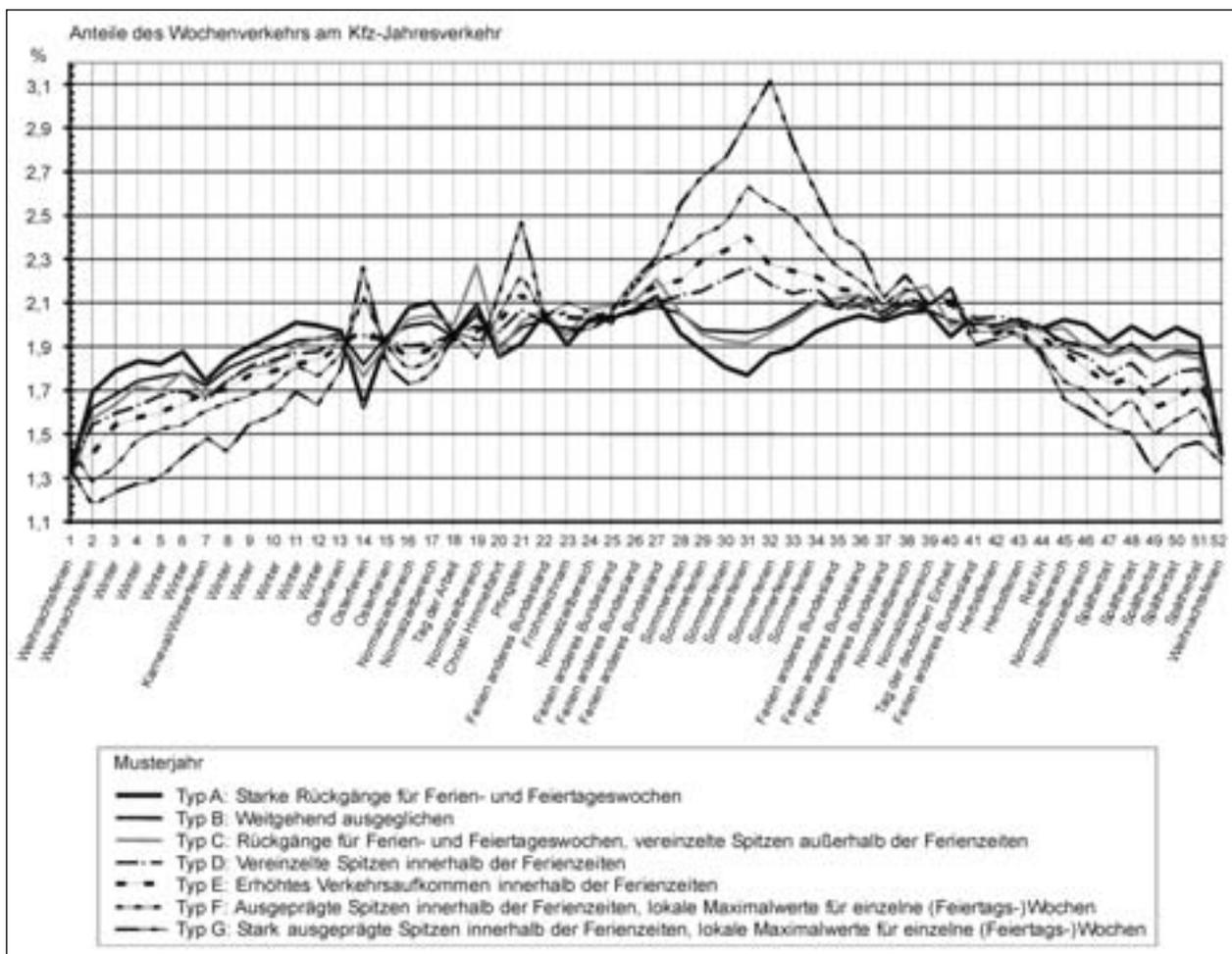


Bild 51: Musterjahresganglinien der jährlichen Verkehrsstärken (PINKOFSKY; 2003)

Im Bereich der Ganglinientypen E, F und G sind Arbeitsstellen in Ferienzeiten nur vertretbar, wenn Reiseswellen ausgeschlossen werden können. Berücksichtigt werden müssen hier ebenfalls verlängerte Wochenenden mit Brückentagen, die zu starkem Urlaubsverkehr führen können.

Im Netz der bundesdeutschen Autobahnen sind Streckenabschnitte mit Anteilen an Ganglinien vertreten (s. Tabelle 24).

8.2.5 Kooperation von Meistereien

Im Begriff der Kombination von Tätigkeiten wird bereits klar, dass Tätigkeiten gleichzeitig ausgeführt werden sollen. Während die Kombination in einer Arbeitsstelle in der Regel unterschiedliche Tätigkeiten meint und nach sich zieht, liegt der Vorteil der Maßnahme „Kombination von Arbeitsstellen“ gerade darin, dass die gleiche Tätigkeit mit einer vergleichbaren Arbeitsgeschwindigkeit ausgeführt wird. Das stellt die Meistereien mit ihrer derzeitigen Ausstattung häufig vor ein Problem: Großgeräte sind nicht doppelt vorhanden oder die Verwendung von Mehrzweckgeräteträgern – aus herkömmlicher Perspektive eine Kosten sparende Ausstattung – bindet alle Fahrzeuge in einem einzigen Einsatz. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung flexiblerer Konzepte erforderlich. So ist eine Kooperation von mehreren Meistereien denkbar, die Tätigkeiten über Netzgrenzen hinweg abstimmen oder besser noch ihr Netz im Wechsel gemeinsam bearbeiten. Genauso könnte aber auch eine Spezialisierung erfolgen. Für eine bestimmte Tätigkeit ausgestattete Kolonnen könnten dann im Umlaufverfahren das gesamte Netz eines Bundeslandes befahren und bei einer Meisterei analog einer Fremdfirma jeweils einige Tage „zu Gast“ sein.

Bisher ist der Nutzen der Kombination von Arbeitsstellen nicht anerkannt. Diesbezüglich sollten die Ausführungen in den Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen, die „eine örtliche Aneinanderreihung mehrerer Bauarbeiten von weniger als 14 Tagen Dauer“ (BMV; 1996; und BMVBW; 2001; Punkt 4, Satz (3)) und damit auch Arbeitsstellen kürzerer Dauer im Sinne der RSA untersagen, überprüft werden.

8.2.6 Absicherung mit Verschwenkung

Bei Arbeitsstellen längerer Dauer und in vielen Nachbarländern ist eine Absicherung mit Verschwenkung (AmV) üblich. Ihre Übertragung auf Arbeitsstellen kürzerer Dauer ist insofern nur folge-

richtig. Inwieweit ihr konsequenter Einsatz den zusätzlichen Aufwand auch dann rechtfertigt, wenn die Verkehrsbedingungen keinen Kapazitätsvorteil versprechen, ist zu diskutieren. Da diese Maßnahme ihre Wirksamkeit nur bei Verflechtungsvorgängen im räumlichen Zusammenhang mit Steigungen oder einem hohen Schwerverkehrsanteil in der Verkehrsnachfrage entfaltet (KLEIN et al.; 2004), kann sie nur zur Verringerung von Behinderungen dienen.

Aus Gründen der Verkehrssicherheit ist es wichtig, die Angaben der vorgeschlagenen Regelpläne hinsichtlich des Abstandes der Absperrtafeln zueinander und in Bezug auf die Leitkegel zur Sicherung des Standstreifens einzuhalten. Darüber hinaus können bei Auf- und Abbau unerwartete und gefährliche Situationen auftreten, sofern nicht in beiden Fällen mit der Sicherung des Hauptfahrstreifens begonnen wird.

8.2.7 Streckenseitige Voraussetzungen

Einige Maßnahmen zur Staureduktion werden durch bauliche Bedingungen an der Strecke erleichtert oder überhaupt erst ermöglicht. Zum Beispiel kann ein sinnvoller Einsatz der Maßnahme D 4 „Arbeitsunterbrechung“ davon abhängen, ob und in welchen Abständen Betriebsumfahrten vorhanden sind. Wenn ein Arbeitsrhythmus von den streckenspezifischen Gegebenheiten abhängig gemacht werden soll, so entscheiden die räumlich-zeitlichen Abstände der Tätigkeiten außerhalb des Verkehrsraums, zum Beispiel an Rastplätzen, über den Erfolg der Stauvermeidung. Sofern aufgrund der streckenseitigen Voraussetzungen eine produktive Gestaltung der Wartezeiten mit Arbeiten in Gegenrichtung oder außerhalb des Verkehrsraums nicht möglich ist, verursacht die Anwendung dieser Maßnahme erhebliche Mehrkosten infolge der Leistungsminderung und ist dann nicht mehr zu empfehlen.

Besonders einfach können die streckenseitigen Voraussetzungen für die Maßnahme D 6 „Standstreifenmitbenutzung“ beschrieben werden. Es liegt auf der Hand, dass diese Maßnahme nur im Falle der Existenz eines sowohl hinsichtlich Geometrie als auch Tragfähigkeit – der Standstreifen muss im Zuge der Verkehrsführung den Schwerverkehr aufnehmen – ausreichend bemessenen Standstreifens angewendet werden kann. Es ist also bereits im Entwurf darauf zu achten, dass der Standstreifen nicht ganz oder teilweise finanziellen

Sparzwängen zum Opfer fällt. Es kann auf hochbelasteten Strecken auch durchaus sinnvoll sein, einen entsprechenden Standstreifen nachträglich zu ergänzen. Sofern die Potenziale der Stauvermeidung in die Betrachtung integriert werden, kann sich eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung in ihrer Aussage ändern.

8.2.8 Information der Verkehrsteilnehmer

In der Regel machen sich Verkehrsteilnehmer keine Gedanken darüber, welche Tätigkeiten erforderlich sind, um eine sichere und komfortable Benutzung von Straßen sicherzustellen. Aber auch dann, wenn jemand den grundsätzlichen Bedarf von Arbeitsstellen einsehen kann, ist bei einigen untersuchten Maßnahmen der Nutzen für den Einzelnen nicht zu erkennen. Im Sinne einer Akzeptanz der Arbeitsstellen zur betrieblichen und baulichen Erhaltung kann eine Information der Verkehrsteilnehmer Verständnis bewirken. Daraus folgen positive Wirkungen für die Arbeits- und Verkehrssicherheit.

8.3 Vorschläge für die RSA

8.3.1 Absichern von Nachtarbeiten

In den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) sind Arbeitsstellen kürzerer Dauer bei Dunkelheit bisher nur als Ausnahme zugelassen. Ihre Absicherung soll „... unter Beachtung der erhöhten Gefährdung bei Nacht ...“ (RSA; 1995; Teil D 3, Satz (17)) erfolgen. Konkretere Angaben oder Regelpläne fehlen. Sofern die Arbeit bei Dunkelheit im Sinne der Stauvermeidung an Arbeitsstellen kürzerer Dauer allgemein eingeführt wird, sollten genauere Vorgaben in Form von Text und Regelplänen in die RSA aufgenommen werden. Sie können den Ausführenden dann als Hilfsmittel und als juristische Absicherung dienen. Durch Formulierungen im Text des Teils D 3 ist auf die Problematik der Beleuchtung und auf die Anforderungen der GUV bezüglich Sichtbedingungen einzugehen. Eine Aufnahme von Regelplänen für die Arbeit bei Dunkelheit würde die Ergänzungen vervollständigen.

Als Vorlage können Regelpläne dienen, die das damalige Landesamt für Straßenwesen in Baden-Württemberg in enger Zusammenarbeit mit den Polizeibehörden, den Autobahnämtern und dem Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH) entwickelt hat. Nachtbaustellen auf dem linken Fahrstreifen sind für den sta-

tionären Fall in Bild 52 (D III/12) und für den mobilen Fall in Bild 53 (D III/14) dargestellt. Diese Regelpläne sollen in Baden-Württemberg mit einem Erlass des zuständigen Landesministeriums eingeführt werden. Zurzeit befindet sich bei der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) eine Ergänzung der Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) um Regelpläne für die Sicherung von Nachtarbeitsstellen (D IV/1 bis 3) in Vorbereitung.

8.3.2 Absichern mit Verschwenkung

Eine Absicherung mit Verschwenkung ist in den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) ausschließlich für Arbeitsstellen längerer Dauer vorgesehen. Aufgrund dessen wird eine textliche Erwähnung derselben im Teil D3 nicht erforderlich sein. Da eine Interpretation des Regelplans D III/1 durch Zusammensetzen seiner beiden Teile als Absicherung mit Verschwenkung nicht nur juristisch fragwürdig ist, erscheint eine Ergänzung der Regelpläne geboten. Darin sollten die spezifischen Aufbauparameter enthalten sein.

Als Vorlage hierfür können Regelpläne dienen, die im Zuge einer Veröffentlichung zur Absicherung mit Verschwenkung (KLEIN et al.; 2004) von den Autoren erstellt wurden. Der Artikel basiert auf den Ergebnissen einer Untersuchung des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), die im Auftrag der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg durchgeführt wurde. Die dargestellten Beispiele sind eine stationäre Arbeitsstelle auf dem Hauptfahrstreifen (Bild 54) und eine Nachtwanderbaustelle auf dem Hauptfahrstreifen (Bild 55). Auch diese Regelpläne sollen in Baden-Württemberg mit einem Erlass des zuständigen Landesministeriums eingeführt werden.

8.3.3 Leitende Beschilderung

In vielen Feldversuchen zeigten sich bei den Verkehrsteilnehmern deutliche Probleme hinsichtlich des Verständnisses, welches Verhalten von ihnen bei der Fahrt durch eine Arbeitsstelle erwartet wird. Da eine Änderung der Ausbildungssituation von Fahrzeugführern nicht kurzfristig zu erzielen ist, kann hier Abhilfe nur durch optimale Beschilderung geschaffen werden. Unter optimaler Beschilderung ist in diesem Zusammenhang nicht nur eine Information der Verkehrsteilnehmer über den Zweck der

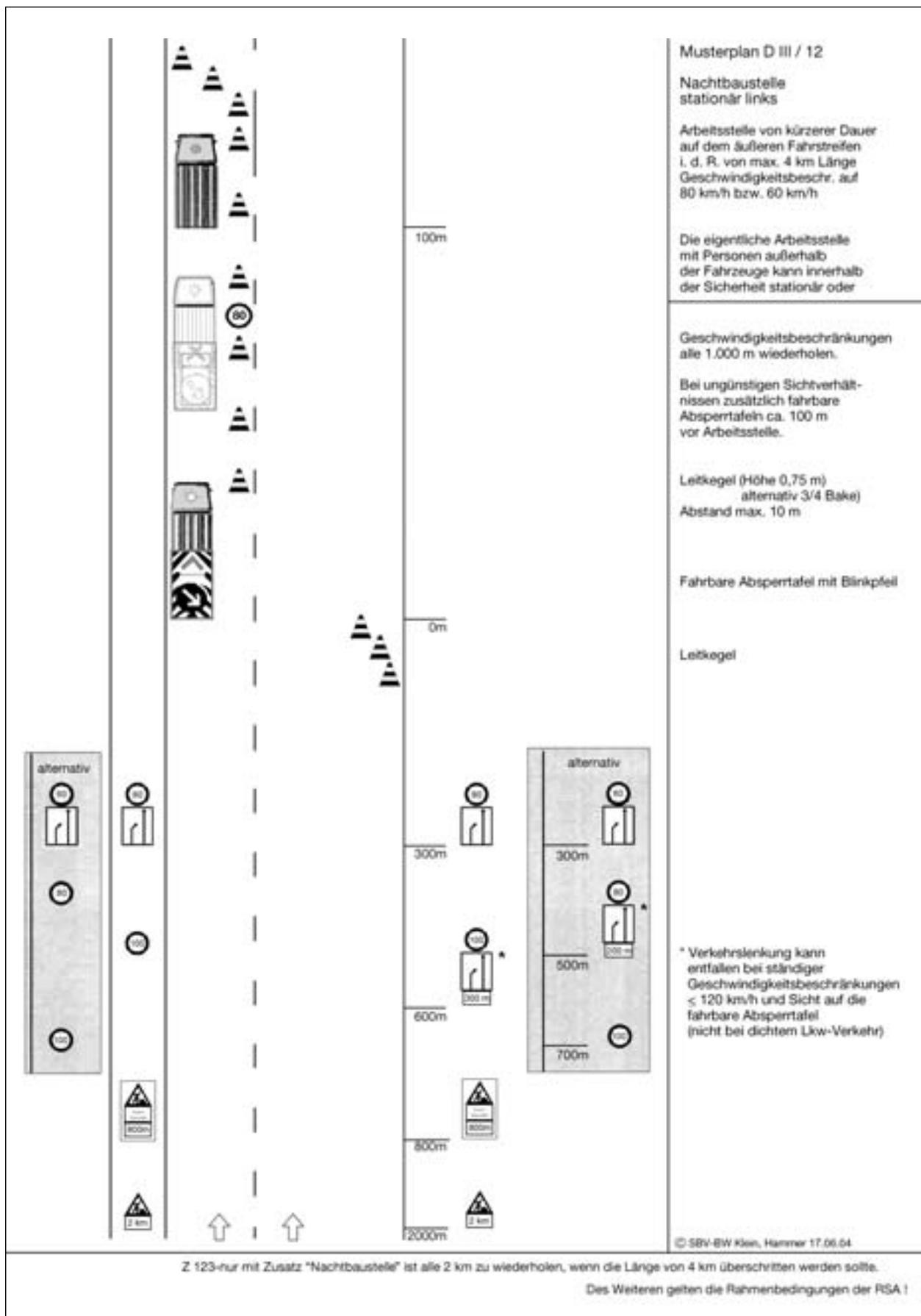


Bild 52: Nachtbaustelle stationär links (Regelplan D III/12 für Baden-Württemberg)

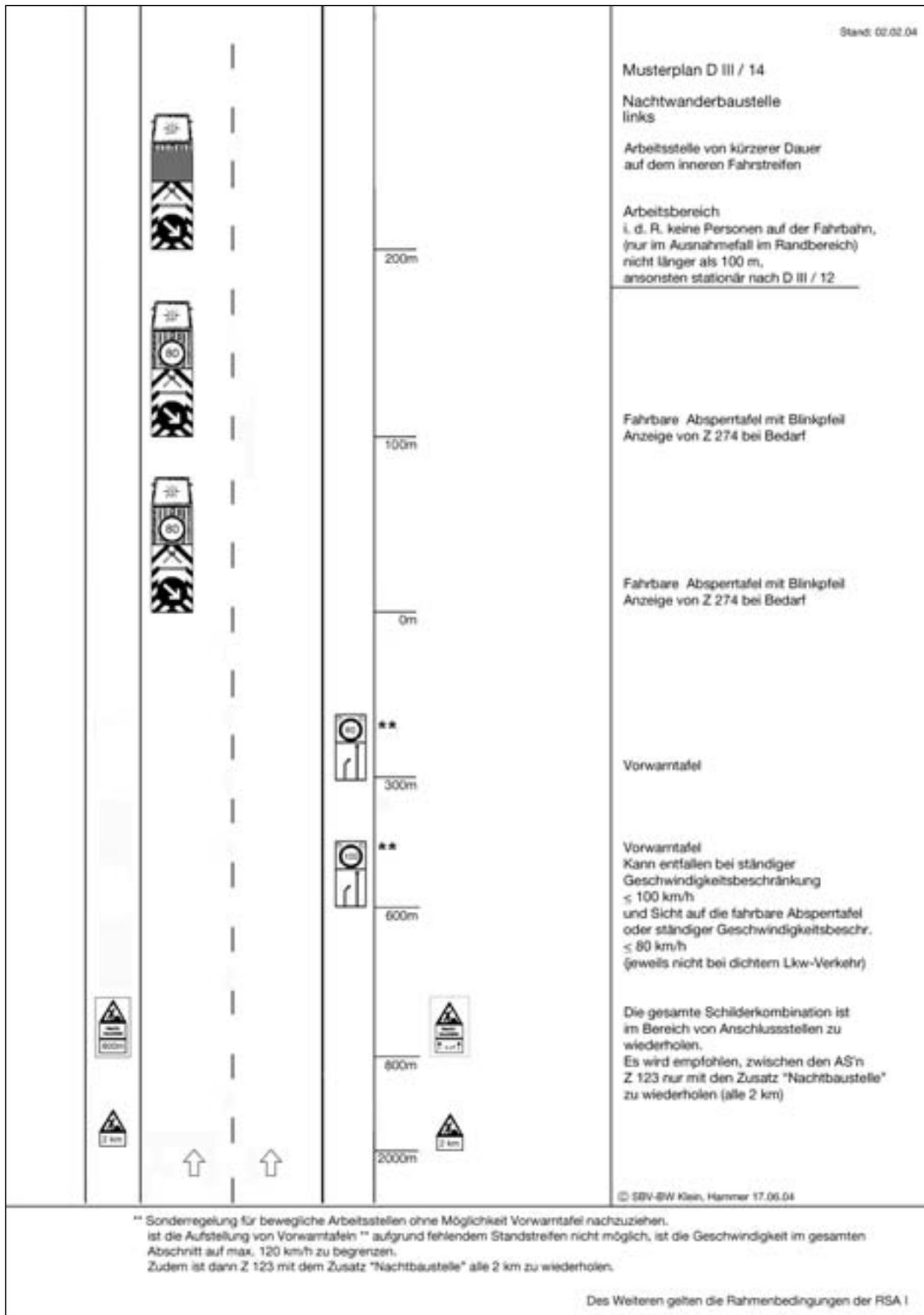


Bild 53: Nachtwanderbaustelle links (Regelplan D III/14 für Baden-Württemberg)

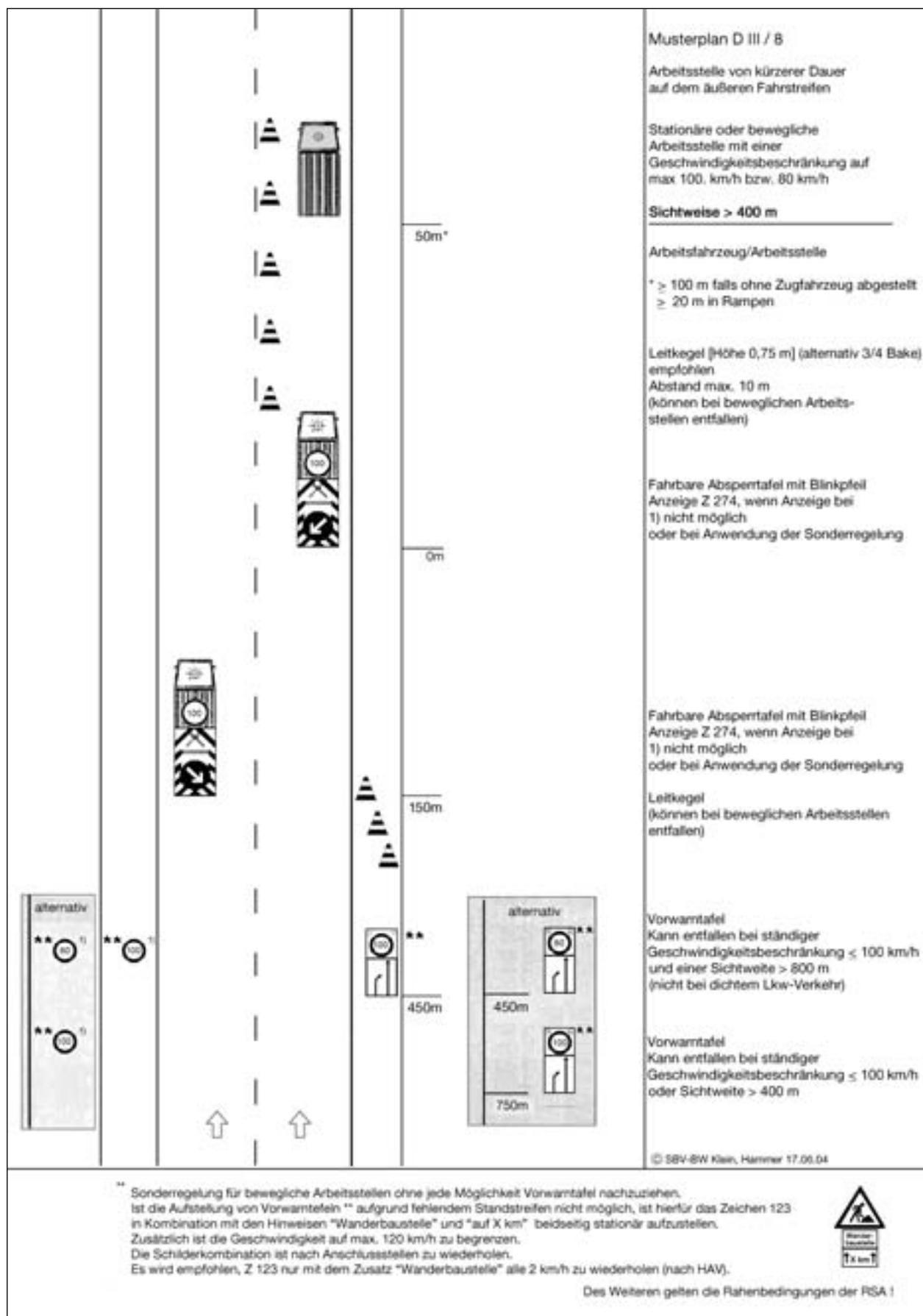


Bild 54: Arbeitsstelle kürzerer Dauer stationär rechts (Regelplan D III/8 für Baden-Württemberg)

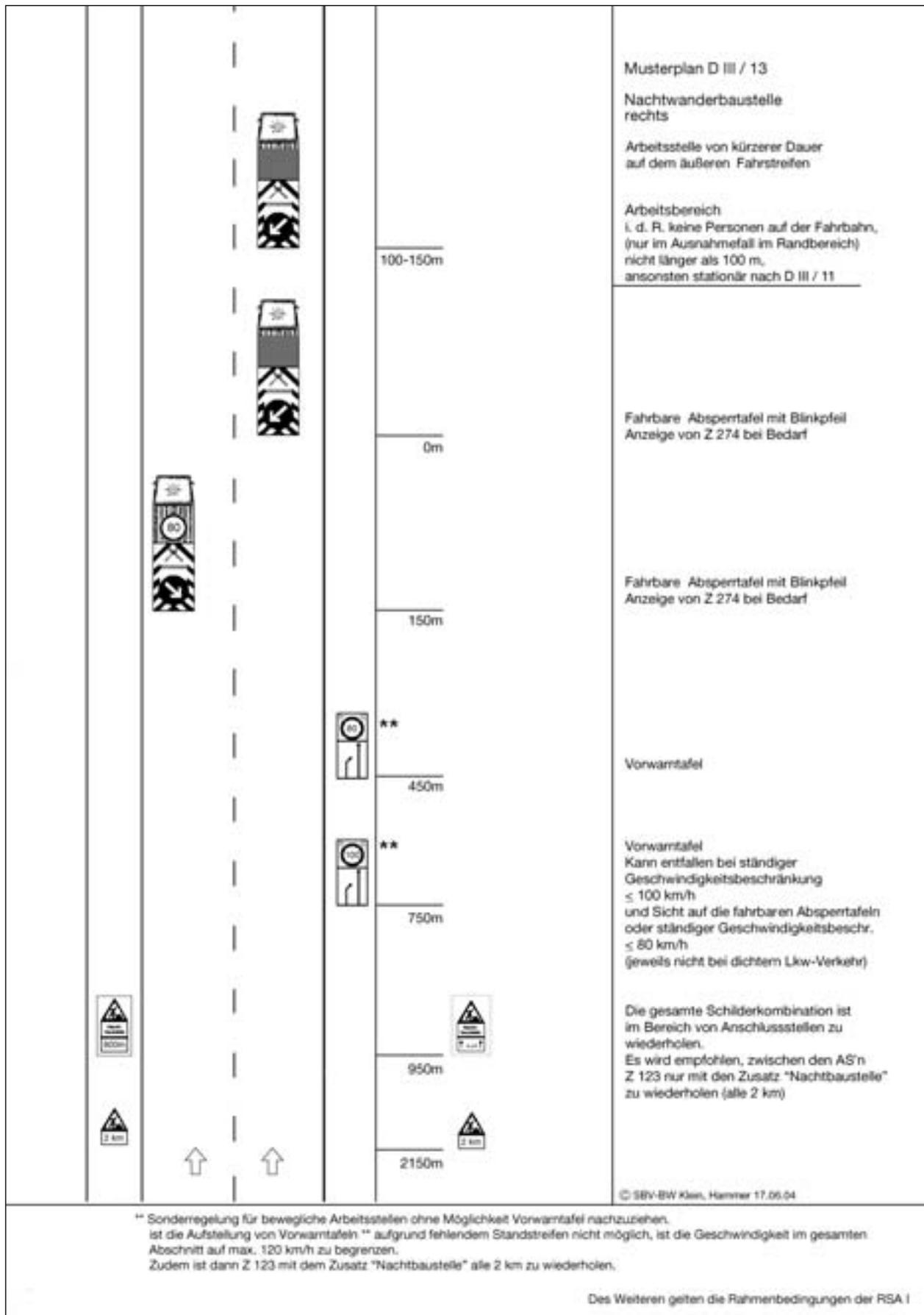


Bild 55: Nachtwanderbaustelle rechts (Regelplan D III/13 für Baden-Württemberg)

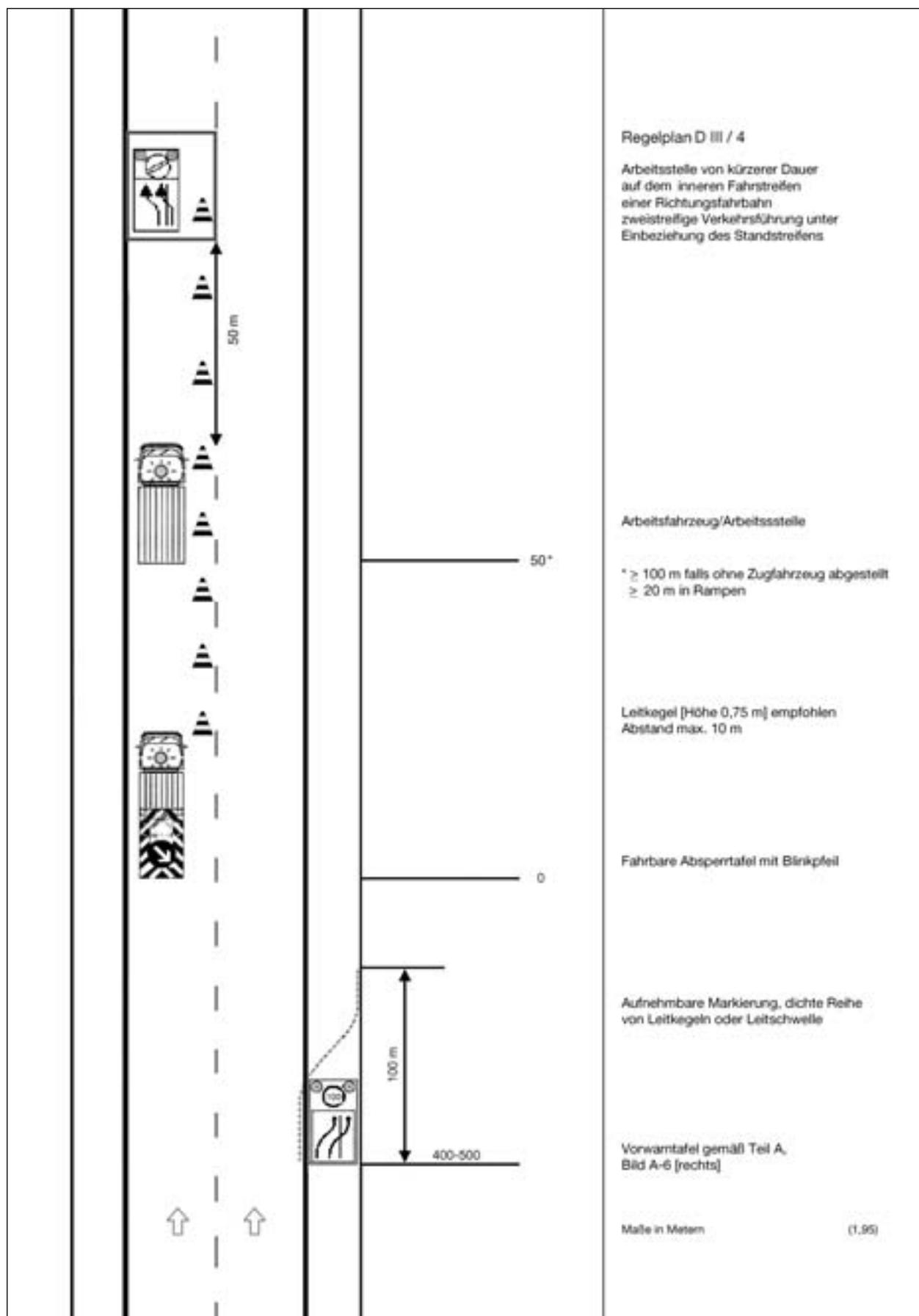


Bild 56: Rückleitung des Verkehrs ergänzt im Regelplan D III/4 der RSA

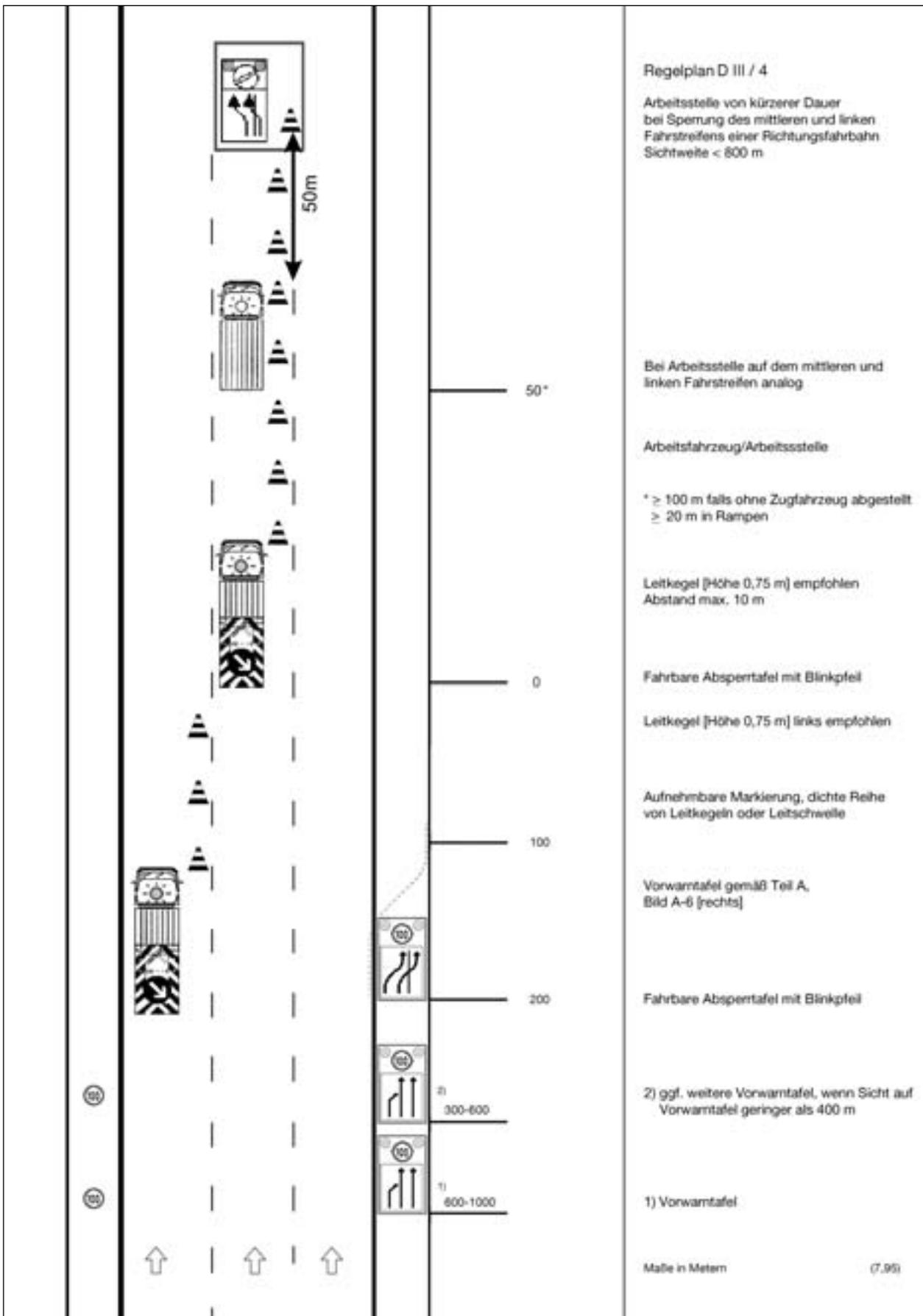


Bild 57: Rückleitung des Verkehrs ergänzt im Regelplan D III/6 der RSA

Fahrstreifensperrung zu verstehen, sondern auch das ausdrückliche Verdeutlichen der Verkehrsführung.

Für das Verdeutlichen der Verkehrsführung sind animierte Vorwarntafeln mit der Möglichkeit einer wechselnden Anzeige von Vorteil. Bei solchen Anzeigen könnte zum Beispiel über eine Darstellung der Absicherung mit Verschwenkung nachgedacht werden. Bei Fahrstreifenreduktionen könnte ein Hinweis auf das Reißverschlussverfahren den Verkehrsablauf harmonisieren. Bei der Standstreifenmitbenutzung wagten am Wochenende viele Pkw-Fahrer nicht, der Verschwenkung der Fahrstreifen zu folgen. Eine animierte Darstellung der Verkehrsführung könnte auch hier Vorteile bieten und auch nicht routinierte Fahrzeugführer zum richtigen Verhalten bewegen.

Zur Standstreifenmitbenutzung ergab sich bei der Auswertung des internationalen Regelwerkes eine empfehlenswerte Ergänzung der zugehörigen Regelpläne. In einigen Ländern wird auch auf die Rückleitung des Verkehrs nach der Arbeitsstelle hingewiesen. Eine Anzeige der rückleitenden Verkehrsführung am Ende einer Mitbenutzung des Standstreifens (Bilder 56 und 57) wird positive Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit haben. Möglicherweise verbessert eine reibungslose Rückführung des Verkehrs auf die Dauer auch die Akzeptanz der Maßnahme Mitbenutzung des Standstreifens bei einer Verkehrsnachfrage mit niedrigen Schwerverkehrsanteilen (vgl. Kapitel 4.6.3). Im Sinne der Einheitlichkeit kann über eine Anzeige des Endes einer Arbeitsstelle an allen Arbeitsstellen kürzerer Dauer nachgedacht werden.

Für mehr Akzeptanz insbesondere verwaister Arbeitsstellen sorgt ein Hinweis auf das Auskühlen oder Aushärten von Baustoffen. In den gleichen Bereich fällt die Ankündigung mehrerer Arbeitsstellen beim Anwenden der Maßnahme Kombination von Arbeitsstellen.

9 Ausblick

Mit der vorliegenden Untersuchung einer Reihe von Maßnahmen konnten Möglichkeiten und Randbedingungen einer Staureduzierung bei der betrieblichen und baulichen Straßenerhaltung aufgezeigt werden. Es werden trotzdem immer nicht planbare Einsätze sowie lokale oder temporäre Besonder-

heiten auftreten können, die zu Behinderungen im Verkehrsablauf führen. In Anbetracht der steigenden Auslastung bei gleichzeitig unverändert großer Bedeutung unseres Straßennetzes sollten alle Anstrengungen unternommen werden, um zumindest die vorhersehbaren Arbeiten ohne Staus durchzuführen. Mögliche neue Maßnahmen können anhand der verwendeten Systematik auf ihre betrieblichen und verkehrlichen Auswirkungen hin untersucht und bewertet werden. Für die Umsetzung der bekannten Maßnahmen sind dagegen noch einige technische und organisatorische Entwicklungen erforderlich.

Arbeitsstellen bei Dunkelheit stellen unabhängig von den rechtlichen, medizinischen und sozialen Komponenten nach wie vor eine technische Herausforderung dar. Es gilt zum einen, nach kostengünstigen Lösungen für eine wirkungsvolle Arbeitssichersicherung zu suchen. Diese muss sowohl das auf der Fahrbahn arbeitende Personal schützen als auch Unfälle der Verkehrsteilnehmer untereinander vermeiden helfen. Zum anderen sind in diesem Zusammenhang Lösungen für die Beleuchtung erforderlich. Für die manuellen Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Reinigung der Entwässerungseinrichtungen sind die derzeitigen Angebote nicht ausreichend.

Sobald das Verlegen von Arbeiten aufgrund hoher Verkehrsbelastungen im Netz einer Meisterei nicht im Rahmen der üblichen Arbeitszeiten möglich ist und davon nicht einzelne Strecken, sondern das ganze Leistungsspektrum betroffen ist, zieht das neue organisatorische Anforderungen nach sich. Hierfür fehlt es derzeit an einfachen Lösungen zur Arbeits- und Arbeitsstellenplanung. Die im Rahmen von Forschungsprojekten verwendeten Modelle entsprechen nicht den Anforderungen eines Alltagsbetriebes. Möglicherweise fehlt es in einigen Ländern auch an zugänglichen Basisdaten über den streckenbezogenen Arbeitsumfang und die Verkehrsbelastungen.

Es hat sich bei Gesprächen mit den Beschäftigten in den Meistereien immer wieder gezeigt, dass ein Bewusstsein für die Stauvermeidung vorhanden ist und in der täglichen Praxis bereits durch Elemente einiger Maßnahmen zur Staureduktion an Arbeitsstellen kürzerer Dauer umgesetzt wird. Die verschiedenen Untersuchungen belegen ein Stauvermeidungspotenzial, das mit vergleichsweise geringem Aufwand aktiviert werden kann. Das grundsätzliche Problem, dass betriebliche Mehrkosten

der Straßenbauverwaltung tatsächlich entstehen, vermiedene volkswirtschaftliche Verluste derweil aber imaginär bleiben, ist politisch zu lösen. Ein Anwenden der Maßnahmen erfordert zusätzliches Personal und zusätzliche Ausstattung, erlaubt dafür aber an planbaren Arbeitsstellen die vollständige Vermeidung von Staus und an denen, die unvorhergesehen und nicht aufschiebbar sind, zumindest eine Verringerung der Behinderungen.

10 Literatur

- Afmærkning af vejarbejder, Supplerende bestemmelser på statsveje, Motorveje, VEJDIREKTORATET, Driftsområdet, Dänemark, 2002
- ARNOLD, M.: Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 820, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn, 2001
- ArbSchG: Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz), Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), Berlin, 1996, zuletzt geändert am 30. Juli 2004
- ArbZG: Arbeitszeitgesetz, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA), Berlin 1994, zuletzt geändert am 24. Dezember 2003
- Bundesamt für den Güterfernverkehr (BAG): Statistische Mitteilungen, Güterkraftverkehr deutscher Lastkraftwagen nach Achsen/-kombination und Motorleistung, 3. Vierteljahr 2001
- Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse, Verkehrstechnik, Heft V 101, Bergisch Gladbach, 2003
- BECKMANN⁵, A., ZACKOR, H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn, 2002
- BECKMANN, A., ZACKOR, H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen, Schlussbericht zum FE 03.313/1998//IGB, Kassel, 2000
- BREITENSTEIN, J., HEIDEMANN, D., KELLER, H., LEICHTER, K., LENZ, K.-H., SCHULZE, W., ZACKOR, H.: Fahrzeugpulk und Verkehrsstau, Straßenverkehrstechnik, Heft 1, Bonn, 1980
- BRILON, W., ZURLINDEN, H.: Überlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterium für Straßenverkehrsanlagen, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 870, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn, 2003
- Bundesamt für Straßen (ASTRA): Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen, Beilage zur Schweizer Norm 640 885c, Zürich, 1999
- Bundesministerium für Verkehr (BMV)⁶: Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen (RBAP), eingeführt durch Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 16/1996, StB 13/38.59.05/Va96 vom 30. Mai 1996, Bonn, 1996
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Verkehr in Zahlen 2004/2005, Berlin, 2005
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Verkehr in Zahlen 2003/2004, Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH, Hamburg, 2003
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen (RBAP), geändert durch Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 37/2001, S 28/38.59.05/98 Va 2001 vom 16. Oktober 2001, Bonn, 2001
- CARPENTIER, J.: Nachtarbeit, ihre Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden, Projekt A-137, Abteilung Arbeits- und Sozialwirtschaft (ASW) im Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft (RKW), Eschborn, 1981

⁵ Heute: OBER-SUNDERMEIER

⁶ Heute: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)

- DAMRATH, R., ROSE, M.: Dynamische Verkehrsprognosen auf der Basis makroskopischer Modellansätze, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 854, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn, 2002
- 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, www.highways.gov.uk
- DURTH, W., KLOTZ, S., STÖCKERT, R.: Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer („Tagesbaustellen“) auf Bundesautobahnen, Schlussbericht zum FE 03.285/1995/FR, Darmstadt, 1999
- DURTH, W., ROOS, R., HOLLDORB, C.: Optimierung des Einsatzes von Mehrzweck- und Schwerlast-Geräteträgern sowie Lkw (als Geräteträger) im Straßenbetriebsdienst, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 708, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Bonn, 1995
- DOBRINSKI, KRAKAU, VOGEL: Physik für Ingenieure, 6. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1984
- EWS: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) – Aktualisierung der RAS-W 86, Entwurf 1997 (EWS 97), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1997
- EVE: Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1991
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Begriffsbestimmungen, Teil: Straßenbautechnik, Köln, 2003
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Begriffsbestimmungen, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb, Ausgabe 2000, Köln, 2000
- GAZIS, D. C., HERMAN, R., ROTHERY, R. W.: Non-linear Follow-The-Leader Models of Traffic Flow, Operns. Res. 9 (1961)
- HBS: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2001, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2001
- HEIDEMANN, D., WIMBER, P.: Typisierung von Verkehrsstärkeganglinien durch clusteranalytische Verfahren, Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 26, Bergisch Gladbach, 1982
- HESS, R., NORKAUER, A.: Untersuchung zum systematischen Einziehen des linken Fahrstreifens an Arbeitsstellen kürzerer Dauer in Baden-Württemberg, im Auftrag der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg, Schlussbericht, Karlsruhe, 2003, unveröffentlicht
- HOTOP, R.: Lkw-Geschwindigkeiten auf den Bundesautobahnen, Straßenverkehrstechnik, Heft 5, Bonn, 1985
- KELLERMANN, G.: Geschwindigkeitsverhalten im Autobahnnetz 1992, Straße und Autobahn, Heft 5, Bonn, 1995
- KLEIN, A., NORKAUER, A., HESS, R.: Arbeitsstellen kürzerer Dauer in Baden-Württemberg – Modifizierte Absicherung, Straßenverkehrstechnik, Heft 4, 2004
- KOB: Verlegung von Straßenunterhaltungsarbeiten in Nachtstunden, Diplomarbeit am Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2000
- Kraftfahrtbundesamt (KBA): Statistische Mitteilungen, Neuzulassungen von Personenkraftwagen in Deutschland nach Herstellern und Typgruppen, Flensburg, 1999-2001
- LIGHTHILL, M. J., WITHAM, G. B.: On Kinematic Waves, II, A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads, Proc. Roy. Soc. 229A, 1955
- Liikenteen ohjaus, Liikenne tietyömaalla, TIELAITOS, Helsinki, Finnland, 1998
- LISTL, G., ZACKOR, H., OTTO, J. C.: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe, Schlussbericht des Forschungsprojekts FE 01.155/2000/CRB der Bundesanstalt für Straßenwesen, Ingenieurberatung Prof. Dr.-Ing. ZACKOR, Kassel, 2004
- MICHAELS, R. M.: Perceptual Factors in Car-Following, Proc. 2 Int. Symp. on the Theory of Road Traffic Flow, London, 1963

- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (UVM): Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen und zweibahnigen Bundesstraßen, hier: Regelungen zur Vermeidung von Verkehrsstaus, Erlass Az. 62-3961.6/33 vom 29. Mai 2002, Stuttgart, 2002
- MORITZ, K., LEMKE, K.: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen, Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 94, Bergisch Gladbach, 2001
- MORITZ, K., ZIMMERMANN, M.: Erhöhung des Schutzes von Straßenbetriebsdienstpersonal an Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Straßenverkehrstechnik, Heft 10, 2004
- MTArb: Manteltarifvertrag für Arbeiterinnen und Arbeiter des Bundes und der Länder, München, Stand 1998
- NORKAUER, A.: Bewertung von Maßnahmen zur Staureduktion bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen, Veröffentlichungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), Heft 53, Karlsruhe, 2004
- NORKAUER, A.: Analyse und Bewertung von Maßnahmen zur Staureduktion bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Grundlagenuntersuchung im Auftrag der Straßenbauverwaltung des Landes Baden-Württemberg, Zwischenbericht, Karlsruhe, 2002, unveröffentlicht
- NORKAUER, A., KLEIN, A.: Arbeitsstellen kürzerer Dauer in Baden-Württemberg – Maßnahmen zur Staureduzierung, Straßenverkehrstechnik, Heft 4, 2004
- OBER-SUNDERMEIER, A.: Entwicklung eines Verfahrens zur Stauprognose an Engpässen auf Autobahnen unter besonderer Berücksichtigung von Arbeitsstellen, Dissertation, Schriftenreihe Verkehr, Heft 15, Kassel University Press, Kassel, 2003
- OBER-SUNDERMEIER, A., OTTO, J. C., ZACKOR, H.: Quantifizierung staubedingter Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Störungsursache: Arbeitsstellen, Schlussbericht zum FE 01.153/2000/CRB, Kassel, 2003
- OTTO, J. C.: QuantAS (Quantifizierung von Reisezeitverlusten an Arbeitsstellen) – Programmdokumentation, Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrstechnik, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Kassel, 2002
- OTTO, J. C., BECKMANN, A.: SAB (Stauprognose an Autobahnbaustellen) – Bedienungsanleitung und Programmdokumentation, Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrstechnik, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Kassel, 2001
- PFISTERER, H.: Unterhaltungsfreundliches Entwerfen – Kurzfassung, Tagungsband Kolloquium Straßenbetriebsdienst 2001, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2002
- PINKOFSKY, L.: Typisierung von Verkehrsstärkeganglinien mit Hilfe clusteranalytischer Verfahren – Tages-, Wochen- und Jahresganglinien, Schlussbericht zu den internen AP 00621 und AP 00623 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2003
- Pomůcka pro označování pracovních míst na dálnicích a silnicích pro motorová vozidla, metodický pokyn, Ministerstvo Dopravy a Spojů, Brno, Tschechien, 2002
- PORTUNÉ, R.: Psychische Belastungen im Straßenbetriebsdienst, Verband deutscher Straßenwärter, Donar-Verlag, Köln, 2004
- RAS-L: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Linienführung (RAS-L), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1995
- RAS-Q: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Querschnitte (RAS-Q), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1996
- REKERSBRINK, A.: Verkehrsflusssimulation mit Hilfe der Fuzzy-Logik und einem Konzept potenzieller Kollisionszeiten, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe (TH), Heft 51, Karlsruhe, 1994
- RESSEL, W.: Untersuchung zum Verkehrsablauf im Bereich der Leistungsfähigkeit an Baustellen auf Autobahnen, Informationen – Verkehrsplanung und Straßenwesen – Universität der Bundeswehr München, Heft 37, München, 1994
- REUSCHEL, A.: Fahrzeugbewegungen in der Kolonne bei gleichförmig beschleunigtem oder

- verzögertem Leitfahrzeug, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 1950
- ROOS, R., KLEIN, A., ZIMMERMANN, M., HOLL-DORB, C., KOB, S.: Verlegung von Arbeiten der betrieblichen Straßenunterhaltung in die Nachtstunden, Straßenverkehrstechnik, Heft 5, Bonn, 2001
- RSA: Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA), Bundesministerium für Verkehr (BMV) 6, Bonn, 1995
- RStO: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 2001
- RStO: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1986
- RVS 5.42: Baustellenabsicherung, Arbeitsstellen kürzerer Dauer, bearbeitet von der Österreichischen Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV), 2001
- SCHÖNBORN, H. D., SCHULTE, W.: RSA-Handbuch, Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Band 1, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1995
- SCHRECKENBERG, M., NAGEL, K.: A cellular automaton model for freeway traffic, Journal des Physique I France 2, 1992
- SCHRECKENBERG, BARLOVIC, ESSER, FROESE, KNOSPE et al.: Mikroskopische Simulation von Straßenverkehrsnetzen und analytische Methoden. In: Stadt Region Land 66 – Tagungsband zum Ergebnis-Workshop Verkehr und Mobilität – Verhalten, Simulation, Umwelt, Aachen, 1998
- Signalisation de chantiers et des obstacles sur la voie publique, Ministère Wallon de L'équipement et des Transports, Brüssel, Belgien, 2001
- SN Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen, Schweizer Norm 640 885c, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 1999
- SPARMANN, U.: Spurwechselforgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen, Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau, Heft 263, Bonn, 1978
- STEINAUER, B., BAIER, M. M., KEMPER, D., BAUR, O., MEYER, A.: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer, Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 118, Bergisch Gladbach, 2004
- STÖCKERT, R.: Auswirkungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Heft 457, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001
- STRATMANN, I. K.: Veränderungen der Circadianrythmik durch Nachtarbeit in Abhängigkeit von der individuellen Phasenlage, Dissertation an der Universität zu Marburg, 1979
- StVO: Straßenverkehrs-Ordnung, Bundesministerium für Verkehr (BMV) 6, Bonn, 1997
- StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, Bundesministerium für Verkehr (BMV) 6, Bonn, 1980, 1986, 1990, 2004
- StVO: Straßenverkehrs-Ordnung, Texte aus <http://www.verkehrportal.de/stvo/> (Stand: 17.03.2005)
- StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, Texte aus <http://www.verkehrportal.de/stvzo/> (Stand: 17.03.2005)
- TODOSIEV, E. P.: The Action-Point-Model of the Driver-Vehicle-System, Engin. Experiment. Station; Ohio State University, Columbus, Ohio, Report Nr. 202, A-3, 1963
- Trafikanordnungsplaner för arbeite på väg, Exempelsamling, Vägverket, Borlänge, Schweden, 1998
- ULICH, E., BAITSCH, C.: Schicht- und Nachtarbeit im Betrieb, 2. Auflage, gdi-Verlag, Rüslikon, Zürich, 1979
- VERSTEGE, S.: Rechnergestützte Modellierung der verkehrlichen Auswirkungen von Arbeitsstellen kürzerer Dauer mit Hilfe eines mikroskopischen Verkehrsflussmodells, Vertieferarbeit, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 2002

WIEDEMANN, R.: Simulation des Straßenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen Universität Karlsruhe (TH), Heft 8, Karlsruhe, 1974

WILLMANN, G.: Zustandsformen des Verkehrsablaufs auf Autobahnen, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen Universität Karlsruhe (TH), Heft 19, Karlsruhe, 1978

WOLTERECK, G.: Optimierung des Managements von Tagesbaustellen und Eigenregiearbeiten, Schlussbericht zum Workshop am 21. Juni 2001 in München, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren, München, 2001

ZACKOR, H.: Untersuchung von Steuerungsmodellen zur Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern, Teil III: Entwicklung von Steuerungsmodellen, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 199, Bonn, 1976

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2000

- V 74: Einsatzbereiche von Angebotsstreifen**
Hupfer, Böer, Huwer, Jacob, Nagel € 13,50
- V 75: Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung**
Baier, Hebel, Peter, Schäfer € 15,00
- V 76: Radverkehrsführung an Haltestellen**
Angenendt, Blase, Bräuer, Draeger, Klöckner, Wilken € 14,00
- V 77: Folgerungen aus europäischen F+E-Telematikprogrammen für Verkehrsleitsysteme in Deutschland**
Philipp, Dies, Richter, Zackor, Listl, Möller € 18,50
- V 78: Kennlinien der Parkraumnachfrage**
Gerlach, Dohmen, Blochwitz, Engels, Funke, Harman, Schmidt, Zimmermann € 15,50

2001

- V 79: Bedarf für Fahrradabstellplätze bei unterschiedlichen Grundstücksnutzungen**
Alrutz, Bohle, Borstelmann, Krawczyk, Mader, Müller, Vohl € 15,50
- V 80: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 1998**
Lensing € 13,50
- V 81: Emissionen beim Erhitzen von Fahrbahnmarkierungsmaterialien**
Michalski, Spyra € 11,50
- V 82: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1999 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 19,50
- V 83: Verkehrssicherheit in Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr**
Alrutz, Gündel, Stellmacher-Hein, Lerner, Mättig, Meyhöfer, Angenendt, Draeger, Falkenberg, Klöckner, Abu-Salah, Blase, Rühle, Wilken € 17,00
- V 84: Vereinfachtes Hochrechnungsverfahren für Außerorts-Straßenverkehrszählungen**
Lensing, Mavridis, Täubner € 16,00
- V 85: Erstellung einer einheitlichen Logik für die Zielführung (Wegweisung) in Städten**
Siegener, Träger € 14,50
- V 86: Neue Gütekriterien für die Beleuchtung von Straßen mit gemischtem Verkehr und hohem Fußgängeranteil**
Carraro, Eckert, Jordanova, Kschischenk € 13,00
- V 87: Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen**
Brilon, Breßler € 18,50

2002

- V 88: Tägliches Fernpendeln und sekundär induzierter Verkehr**
Vogt, Lenz, Kalter, Dobeschinsky, Breuer € 17,50

- V 89: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre**
Baier, Kathmann, Schuckließ, Trapp, Baier, Schäfer € 13,50
- V 90: Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen**
Bürkle, Berg € 16,50
- V 91: Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen**
Mattheis € 15,50
- V 92: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs**
Friedrich, Fischer € 14,00
- V 93: Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen**
Brilon, Bäumer € 17,00
- V 94: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen**
Lemke, Moritz € 17,00
- V 95: Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehren**
Topp, Lagemann, Derstroff, Klink, Lentze, Lübke, Ohlschmid, Pires-Pinto, Thömmes € 14,00
- V 96: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnhebung**
Angenendt, Bräuer, Klöckner, Cossé, Roeterink, Sprung, Wilken € 16,00
- V 97: Linksparken in städtischen Straßen**
Topp, Riel, Albert, Bugiel, Elgun, Roßmark, Stahl € 13,50
- V 98: Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland**
Baier, Bark, Brühning, Krumm, Meewes, Nikolaus, Räder-Großmann, Rohloff, Schweinhuber € 15,00
- V 99: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 21,00

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, 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 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher vergriffen
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Hacken € 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 111: Autobahnverzeichnis 2004
Kühnen € 21,50
- 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
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 Außerortstraßen – 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
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 Umlagemodellen
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, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50

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.