

Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungs- vergütungen in Bauverträgen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 335

bast

Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungs- vergütungen in Bauverträgen

von

Justin Geistefeldt
Sandra Hohmann
Nina von der Heiden
Julia Finkbeiner

Ruhr Universität Bochum
Lehrstuhl für Verkehrswesen – Planung und Management

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 335

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 03.0543
Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen

Fachbetreuung:
Andreas Medack

Referat
Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-528-6

Bergisch Gladbach, August 2020



Kurzfassung – Abstract

Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen

Die Beschleunigungsvergütung ist ein wichtiges Instrument zur Bauzeitverkürzung auf Bundesautobahnen. Die im HVA B-StB bislang angegebenen Nutzungsausfallkosten sind veraltet und stellen für die beschleunigte Durchführung von Baumaßnahmen keinen ausreichenden Anreiz dar.

Im Rahmen der Untersuchung erfolgte daher eine Erweiterung und Aktualisierung der Nutzungsausfallkostentabelle. Dazu wurden die arbeitsstellenbedingten Kostenveränderungen der Fahrtzeiten im fließenden Verkehr, der Fahrtzeitverluste, der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs, des Unfallgeschehens, des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffbelastung modellbasiert ermittelt.

Für typische Verkehrsführungen auf vier-, sechs- und achtstreifigen Autobahnen wurden tägliche volkswirtschaftliche Kosten sowie Mehrkosten als Differenz der Kosten im Zustand mit und ohne Arbeitsstelle für verschiedene Szenarien bestimmt. Anhand der Berechnungsergebnisse konnte der Einfluss der maßgebenden Randbedingungen hinsichtlich der Verkehrsnachfrage und der Kapazität mit und ohne Arbeitsstelle analysiert werden.

Basierend auf diesen Untersuchungen wurden zur Ermittlung aktualisierter Nutzungsausfallkosten Bezugsrandbedingungen festgelegt, mit denen ein möglichst großer Teil der Strecken des deutschen Autobahnnetzes abgedeckt wird. Im Ergebnis werden Nutzungsausfallkosten in Abhängigkeit vom DTV für 32 Arbeitsstellenverkehrsführungen in drei Tabellen für vier-, sechs- und achtstreifige Autobahnen angegeben, die zukünftig als Grundlage für die Vereinbarung von Bonus-Malus-Regelungen dienen können.

Determination of updated incentive bonuses for early completion in construction contracts

The provision of incentives for early completion is an important measure for reducing construction times on federal motorways. The loss of use costs given in the current contracting guidelines HVA B-StB are out-dated and do not provide sufficient incentives for the early completion of road construction projects.

Within the investigation, the loss of use costs were therefore updated and extended. The model-based analysis included the economic costs due to a change of travel times, travel time losses, traffic reliability, accident occurrence, fuel consumption and pollutant load caused by work zones.

For typical work zone layouts on four-, six-, and eight-lane motorways, both daily economic costs and additional costs representing the difference between the costs with and without work zones were calculated for various scenarios. With these calculation results, the influence of decisive boundary conditions regarding the traffic demand and the capacity could be analyzed.

For the development of standardized loss of use costs, reference boundary conditions covering a large share of the German motorway network were defined and the updated loss of use costs were calculated. As a result, loss of use costs depending on the average annual daily traffic (AADT) for 32 work zone layouts are provided in three tables for four-, six-, and eight-lane freeways. These values can serve as a basis for future contractual provisions of incentive and disincentive bonuses for early completion.

Summary

Determination of updated incentive bonuses for early completion in construction contracts

1 Objective

The provision of incentives for early completion is an important measure for reducing construction times on federal motorways. As the basis for contractual provisions of incentive and disincentive bonuses, daily loss of use costs depending on the average annual daily traffic (AADT) are given in the current contracting guidelines HVA B-StB for twelve work zone layouts. These values are out-dated and do not provide sufficient incentives for the early completion of road construction projects. Therefore, the aim of this project was to revise the loss of use costs, including the examination of decisive boundary conditions concerning the geometric and traffic flow parameters as well as the analysis of various evaluation parameters accounting for the economic costs caused by work zones.

2 Methodology

The investigation started with a documentation of the state of the art concerning the economic assessment of traffic impacts caused by work zones. In interviews with experts from construction companies and road authorities, the experience with incentives and disincentives for early completion in practice was surveyed.

So far, incentive bonuses for early completion are covenanted based on the tables providing loss of use costs given in the HVA B-StB. These values represent daily loss of use costs for twelve work zone layouts for several AADT categories. Within the investigation, these values were updated and both geometric and traffic flow boundary conditions as well as decisive evaluation parameters for calculating economic costs were analyzed.

The following boundary conditions regarding the traffic demand were considered:

- the average annual daily traffic (AADT),

- the distribution of traffic demand, represented by the combination of standardized daily and annual patterns of light and heavy vehicle traffic demand and
- the average heavy vehicle percentage.

Relevant parameters influencing the capacity are:

- the location of the motorway in rural or urban areas,
- the heavy vehicle percentage during the considered hour arising from the temporal distribution of light and heavy vehicles,
- the speed limit in the condition without the work zone and
- the lane widths and the existence of divided lanes within the work zone.

By means of defining decisive boundary conditions, different scenarios were determined, which provided the basis for analyzing the effects on traffic flow.

Based on appropriate methods for the economic analysis, the following evaluation parameters were considered for analyzing the impacts of work zones:

- travel times,
- travel time losses,
- traffic reliability,
- accidents,
- fuel consumption and
- pollutant load.

The influence of these evaluation parameters on the loss of use costs was analyzed by determining absolute costs and relative proportions of the total economic costs. For that, various combinations of boundary conditions were examined for an example work zone. Both the costs in case of a work zone and the additional costs resulting from the difference of the costs with and without the work zone were considered. Apart from that, the effects of decisive boundary conditions concerning traffic demand and capacity on the calculation results were analyzed by varying single boundary conditions.

Updated tables of the loss of use costs were determined for well-defined reference boundary conditions, which cover a large share of the German motorway network. The daily costs were rounded to multiples of 100€.

3 Results

The interviews with experts from construction companies and road authorities showed that contractual agreements of incentives and disincentives for early completion are considered as reasonable but are not applied frequently. The contractors named an expedient value for daily loss of use costs being equivalent to 0.1% of the total construction costs, representing absolute daily values roughly between 5,000 and 50,000€/d.

Both the traffic demand and the capacity of the work zone have a major impact on traffic flow. Proportions of the additional costs caused by the particular evaluation parameters were tested for the defined example work zone and illustrated the variations of proportions depending on the (directional) AADT. As travel time losses, traffic reliability, fuel consumption, and pollutant load depend on the capacity and accordingly on the volume-to-capacity ratio, the curves representing the economic costs depending on the AADT have similar shapes. As soon as the AADT reaches a certain value, at first low and then strongly increasing additional costs due to the work zone occur. The curve of the travel time costs runs almost linearly as a result of an assumed constant travel speed for volume-to-capacity ratios greater than 1. The accident costs follow a linear function and are low compared to the other evaluation parameters. At low and medium AADT values, the travel time costs account for a high share in the additional costs, whereas at high traffic volumes, mainly travel time losses and within a transition area both the travel times and the other evaluation parameters significantly contribute to the total loss of use costs. For updating the loss of use costs, all evaluation parameters were considered.

The developed evaluation model was used to determine the loss of use costs for 32 typical work zone layouts on four-, six-, and eight-lane freeways. Every boundary condition was varied using two alternatives: Different distributions of traffic demand, heavy vehicle percentages of 10 and 20%, sections in rural and urban areas as well as sections with and without speed limits in the case without work zone.

While simple conversion rules could be determined for estimating the economic costs of work zones when varying a single boundary condition, these rules could not be transferred to estimating the

additional costs resulting from the difference between the costs with and without the work zone. Consequently, no simple methods to convert standardized loss of use costs to work zones with different boundary conditions could be determined. Instead, reference boundary conditions were defined, which represent a large share of the German motorway network and particularly consider critical work zone configurations with special regard to the risk of congestion.

As reference boundary conditions for the updated tables of loss of use costs, a traffic demand distribution with high peaks during holidays, a mean heavy vehicle percentage of 15%, a section in rural areas without speed limit in the case without work zone and a work zone length of 3 km were defined. These conditions represent typical but rather critical constellations in terms of congestion occurrence at motorway work zones. For the reference boundary conditions, tables of loss of use costs were calculated and the daily costs were rounded to multiples of 100€. It is recommended to limit the range of the daily loss of use costs to approximately 5,000 to 50,000€/d. For lower loss of use costs, the efforts of covenanting incentives and disincentives for early completion within the construction contract are too high compared with the achievable benefit. Higher incentive and disincentive bonuses would result in high risks for the contractor.

4 Conclusions

Based on the investigation results, updated tables of loss of use costs for four-, six-, and eight-lane freeways are provided. Compared to the previous values given in the HVA B-StB, the updated values result in higher loss of use costs. This is particularly the case for heavily trafficked freeways which have a high risk of congestion. Hence, the investigation results can contribute to improve the effectiveness of the provision of incentives and disincentives for early completion particularly for critical road construction projects severely affecting the traffic flow.

Inhalt

1	Einleitung	9	4	Einflüsse auf die Nutzungsausfallkosten	34
1.1	Ausgangslage	9	4.1	Auswirkungen der betrachteten Randbedingungen	34
1.2	Ziel und Vorgehen	10	4.2	Anteile der betrachteten Bewertungsgrößen	36
2	Grundlagen	10	4.3	Berücksichtigung saisonaler Einflüsse	38
2.1	Anwendung von Beschleunigungsvergütungen	10	4.4	Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen	40
2.1.1	Ermittlung anzusetzender Bonus- und Maluszahlungen	10	5	Erarbeitung aktualisierter Nutzungsausfallkosten	42
2.1.2	Maßnahmen zur Bauzeitverkürzung	13	5.1	Berechnungsmethodik	42
2.1.3	Beschleunigungsvergütungen aus Sicht der Bauindustrie und der Straßenbauverwaltungen	16	5.2	Wahl der Bezugsrandbedingungen	42
2.2	Nutzenkomponenten bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	18	5.3	Abgrenzung des Wertebereichs	43
2.3	Bewertung von Arbeitsstellen	19	5.4	Vergleich mit den bisherigen Nutzungsausfallkosten	46
3	Verfahren für die Bewertung von Arbeitsstellen	20	6	Zusammenfassung	46
3.1	Konzept	20	Literatur	48	
3.2	Maßgebende Randbedingungen	21	Bilder	50	
3.2.1	Verkehrsnachfrage	21	Tabellen	50	
3.2.2	Kapazität	23	Anhang	52	
3.3	Maßgebende Bewertungsgrößen	25			
3.3.1	Kosten aus Fahrtzeiten im fließenden Verkehr	25			
3.3.2	Kosten aus Fahrtzeitverlusten	26			
3.3.3	Kosten aus (Un-)Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs	27			
3.3.4	Kosten aus Unfällen	28			
3.3.5	Kosten aus Kraftstoffverbrauch	30			
3.3.6	Kosten aus Schadstoffbelastung	32			
3.3.7	Verortung der Bewertungsgrößen	33			

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Notwendige Ausbau-, Erneuerungs- und Instandhaltungsmaßnahmen auf Bundesautobahnen erfordern zunehmend Eingriffe in den Verkehrsablauf und können die Verkehrssicherheit beeinflussen. Durch eine geringere Kapazität der Autobahn während einer Baumaßnahme werden regelmäßig Staus verursacht, welche erhebliche volkswirtschaftliche Kosten hervorrufen können. Die Kosten setzen sich aus der Erhöhung der Straßennutzerkosten infolge von Fahrzeitveränderungen und Fahrzeugbetriebskosten zusammen. Hinzu kommen eine erhöhte Unfallgefahr sowie eine Änderung von Lärm- und Abgasemissionen im Bereich der Kapazitätsengpässe.

Im Rahmen des Arbeitsstellenmanagements ist sicherzustellen, dass das Eintrittsrisiko, die Dauer und die Auswirkungen von arbeitsstellenbedingten Störungen möglichst gering gehalten werden. Im Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen (BMVBS, 2011a) werden verschiedene Strategien angegeben, um den Einfluss einer Arbeitsstelle zu reduzieren. Dazu zählen zum einen Vorgaben, welche die Planung und Ausführung der Arbeitsstelle betreffen (z. B. Verzicht auf Fahrstreifenreduktionen, möglichst breite Behelfsfahrstreifen). Zum anderen werden Hinweise zur Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen gegeben. Dabei stellt die Beschleunigungsvergütung ein geeignetes Instrument der Bauzeitverkürzung dar, mit dem die Dauer der Verkehrsbeeinträchtigung minimiert werden kann. Die vergabe- und vertragsrechtlichen Rahmenbedingungen in Bauverträgen sind im Handbuch zur Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA B-StB, BMVI, 2016a) geregelt. Demnach darf eine Beschleunigungsvergütung nur unter bestimmten Voraussetzungen vereinbart werden (z. B. Genehmigungsvorbehalt des BMVI). Dazu sind ergänzende Unterlagen und Begründungen (z. B. Angaben zur Verkehrsbelastung) vorzulegen. Darüber hinaus ist ein ausgewogenes Verhältnis zum einen zwischen der möglichen Bauzeitverkürzung und der Gesamtzeit mit Verkehrsbeschränkung sowie zum anderen zwischen der Höhe der möglichen Bonuszahlung und der Höhe der Vertragsstrafe bei Überschreitung der Vertragsfristen sicherzustellen.

Die Höhe der anzusetzenden Beschleunigungsvergütung wird ebenso im HVA B-StB festgelegt. Diese

soll 50 % der dort angegebenen Nutzungsausfallkosten entsprechen. Insgesamt werden in Tabellenform 104 Einzelwerte täglicher Nutzungsausfallkosten in Abhängigkeit vom durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) und der eingerichteten Verkehrsführung angegeben, wobei Zwischenwerte der DTV-Klassen zu interpolieren sind. Bei Unterschreitung der vertraglich vereinbarten Fristen (d. h. bei Reduzierung der Tage mit Verkehrsbeschränkungen) wird dem Auftragnehmer der Bonus vergütet. Bei einer Überschreitung der Bauzeit werden entsprechende Vertragsstrafen vorgesehen, wobei hierfür 100 % statt 50 % der angegebenen Nutzungsausfallkosten angesetzt werden. Das finanzielle Risiko bei einer Bauzeitverlängerung ist somit für Bauunternehmen deutlich höher als die mögliche Bonuszahlung bei einer Bauzeitverkürzung.

Die Nutzungsausfallkostentabelle liegt seit den 1990er Jahren (mit leichten Modifikationen im Jahre 2003 mit Einführung des Euro) in unveränderter Form vor. Die dort angegebenen Werte sind veraltet und stellen für den Bauunternehmer keinen ausreichenden Anreiz für eine effizientere Bauabwicklung dar.

Eine Bauzeitverkürzung kann hauptsächlich durch Verlängerung der Arbeitszeiten erreicht werden. Daher sind für den Unternehmer Vorgaben des Arbeitsschutzes (ARBZG, 1994), Auswirkungen auf die Schadstoffbelastung des Baustellenpersonals (STEINAUER et al., 1998) sowie Material- und Personalressourcen zu berücksichtigen. Darüber hinaus darf die psychische und physische Beeinträchtigung des Arbeitsstellenpersonals nicht vernachlässigt werden. Durch regelmäßige Nacharbeiten kann sich die Gefahr von Arbeitsunfällen erhöhen (Destatis, 2012). Ebenso führen fehlende Motivation und geringe Konzentrationsfähigkeit beim Personal sowie ungünstige Randbedingungen in den Nachtstunden zu einer Leistungsminderung, welche sich negativ auf die Qualität der durchzuführenden Arbeiten auswirken kann (HOHMANN, 2007). Für eine wirksame Anwendung von Beschleunigungsvergütungen müssen daher die möglichen Bonuszahlungen und die zusätzlichen Kosten für den Bauunternehmer abgewogen werden.

Für die Angabe realistischer Nutzungsausfallkosten muss eine gesamtwirtschaftliche Bewertung erfolgen. Erste Ansätze zur Ermittlung von Straßennutzerkosten unter Berücksichtigung von Fahrzeiten und Betriebskosten (Kraftstoffverbrauch) finden sich in SCHMUCK und BECKER (1984) sowie unter

zusätzlicher Berücksichtigung des Unfallgeschehens in OEFNER (1988). Diese beziehen sich auf die Ermittlung der Nutzenkomponenten nach den Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W, FGSV, 1986).

Derzeit werden die verkehrlichen Auswirkungen einer Arbeitsstelle mit dem überschlägigen Bewertungsverfahren nach dem Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen (BMVBS, 2011a) ermittelt, in dem die Verkehrsnachfrage in der Spitzenstunde und die Kapazität gegenübergestellt werden. Hierbei findet jedoch keine volkswirtschaftliche Bewertung statt. Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen wird daher ein Verkehrsanalyse-System (VAS) zur Anwendung in der Baubetriebsplanung entwickelt. Das VAS soll das derzeitige Verfahren ersetzen und auf der Grundlage des Prinzips einer Ganzjahresanalyse eine deutlich detailliertere Bewertung des Verkehrsablaufs an Arbeitsstellen ermöglichen. Für die Monetarisierung der Fahrtzeitverluste werden die Zeitkostensätze nach dem Entwurf der Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RWS, BMVI, 2016b) verwendet. Die Entwicklung des methodischen Ansatzes für das VAS erfolgte im Rahmen des Projekts FE 01.0174/2011/HRB. Die Kapazitäten und Unfallkostenraten für Arbeitsstellen, die im VAS Verwendung finden sollen, wurden im Projekt FE 01.0176/2011/HRB ermittelt. Die Nutzungsausfallkosten für die Anwendung in Bonus-Malus-Systemen werden basierend auf dem Bewertungsverfahren des VAS überarbeitet und aktualisiert.

1.2 Ziel und Vorgehen

Ziel des Projektes ist die Überarbeitung und Validierung der Nutzungsausfallkostentabelle nach dem HVA B-StB, welche für die Berechnung von Beschleunigungsvergütungen bei Straßenbaumaßnahmen verwendet wird. Derzeit sind die anzusetzenden Kosten lediglich abhängig von der Verkehrsführung und dem DTV. Bei der Überarbeitung werden nicht nur die einzelnen Werte der bestehenden Tabelle aktualisiert, sondern auch zusätzliche geometrische und verkehrliche Randbedingungen (z. B. Lage der Strecke und Schwerverkehrsanteil) einbezogen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, in welcher Form und in welchem Umfang die erforderlichen Kenngrößen und Angaben zur Verfü-

gung stehen. Die Zahl der zu berücksichtigenden Eingangsgrößen resultiert daher aus der Abwägung zwischen Detailliertheit und Anwendbarkeit.

Beruhend auf einem ganzheitlichen Untersuchungsansatz werden bei der Ermittlung von Nutzungsausfallkosten sowohl die zu erwartenden Fahrtzeitverluste als auch weitere Bewertungsgrößen (z. B. Unfallkosten) berücksichtigt. Daraus werden aktualisierte Nutzungsausfallkosten sowie Empfehlungen für den Einsatz von Bonus-Malus-Systemen abgeleitet.

Um die Praxistauglichkeit zu gewährleisten, werden Expertengespräche mit Vertretern von Straßenbauverwaltungen und Bauunternehmen durchgeführt und die Ergebnisse in die Bearbeitung einbezogen.

2 Grundlagen

2.1 Anwendung von Beschleunigungsvergütungen

2.1.1 Ermittlung anzusetzender Bonus- und Maluszahlungen

Im Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA B-StB, BMVI, 2016a) sind die vergabe- und vertragsrechtlichen Rahmenbedingungen der Beschleunigungsvergütung geregelt.

Die von öffentlichen Auftraggebern anzuwendende Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A (VOB/A, 2012), lässt eine Beschleunigungsvergütung nur dann zu, wenn die Fertigstellung vor Ablauf der Vertragsfristen erhebliche Vorteile bringt (§ 9a VOB/A). Dazu muss der Nutzen (z. B. Einsparung an Zeit, Betriebs- und Unfallkosten) die zusätzlichen Baukosten durch die Beschleunigungsvergütung übersteigen. Die zusätzlichen Zeit-, Betriebs- und Unfallkosten sind jedoch von vielen verschiedenen Parametern abhängig. Neben der mittleren Verkehrsstärke und der Verkehrsführung in der Baustelle haben insbesondere die Verkehrscharakteristik mit der unterschiedlichen Verteilung des Verkehrs auf Tageszeit, Wochentag und Jahreszeit sowie der Schwerverkehrsanteil Auswirkungen auf die Kosten.

Nach dem HVA B-StB ist eine vertragliche Vereinbarung der Beschleunigungsvergütung nur dann zulässig, wenn es sich um einen hochbelasteten

Streckenabschnitt handelt. Des Weiteren ist die Vorgabe einer maximalen, knapp bemessenen Bauzeit durch den Auftraggeber nach Datum oder in Werktagen in den Besonderen Vertragsbedingungen sowie eine Vertragsstrafe bei Überschreitung dieser Frist erforderlich. Die Bauzeit wird dabei unter Zugrundelegung der Baubetriebsform 2 gemäß dem Leitfadens zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen (BMVBS, 2011a) mit Arbeiten an allen Werktagen unter vollständiger Ausnutzung des Tageslichts ermittelt.

Bei der Anwendung der Beschleunigungsvergütung ist darauf zu achten, dass ein ausgewogenes Verhältnis sowohl zwischen der möglichen Bauzeitverkürzung und der Gesamtzeit mit Verkehrsbeschrän-

kungen als auch zwischen der Höhe der möglichen Bonuszahlung und der Höhe der Vertragsstrafe bei Überschreitung der Vertragsfristen besteht. Die Höhe der Beschleunigungsvergütung ist im HVA B-StB geregelt und soll 50 % der dort angegebenen Nutzungsausfallkosten pro Tag entsprechen. In Abhängigkeit vom durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) und der eingerichteten Verkehrsführung sind 104 Einzelwerte täglicher Nutzungsausfallkosten festgelegt (vgl. Tabelle 2-1), wobei Zwischenwerte der DTV-Klassen zu interpolieren sind. Die Beschleunigungsvergütung wird dem Auftragnehmer gewährt, wenn eine Unterschreitung der vertraglich vereinbarten Fristen und somit eine Reduzierung der Tage mit Verkehrsbeschränkungen erreicht wurde.

DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung				
	2+0 ¹⁾ [€/d]	1+1 ¹⁾ [€/d]	2n+1 ^{1,2)} [€/d]		
bis 15.000	-	-	-		
20.000	500	500	260		
25.000	2.100	1.500	1.300		
32.500	4.100	3.100	2.600		
36.100	7.700	5.100	5.100		
39.000	17.900	12.800	7.700		
41.100	30.700	20.500	10.300		
44.000	56.300	43.500	21.800		
≥ 45.000	76.700	76.700	38.400		
DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung				
	4s+0 ³⁾ [€/d]	3s+1 ³⁾ [€/d]	2n+2 ^{2,3)} [€/d]	4+1 ¹⁾ [€/d]	3n+2 ^{1,2)} [€/d]
bis 20.000	-	-	-	-	-
35.000	2.600	2.600	-	-	2.100
45.000	4.100	4.100	1.000	-	3.100
55.000	5.100	5.100	2.100	2.600	4.100
65.000	7.700	7.700	2.600	5.100	7.700
72.500	12.800	10.200	3.100	10.200	10.200
77.500	17.900	12.300	4.100	15.400	15.400
82.500	41.000	30.700	6.700	35.800	25.600
87.500	66.500	56.300	15.400	61.400	46.600
≥ 90.000	76.700	76.700	30.700	76.700	61.400

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

1) Baustellen mit Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen während der Bauarbeiten

2) Werte gelten für einseitige Baustellen, für zweiseitige Baustellen sind die Werte zu verdoppeln

3) Baustellen ohne Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen

Tab. 2-1: Beschleunigungsvergütung für Bauverträge im Straßen- und Brückenbau nach dem HVA B-StB (BMVI, 2016a)

DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung			
	6+0 ³⁾ [€/d]	5s+1 ²⁾ [€/d]	4+2 ³⁾ [€/d]	3n+3 ^{2,3)} [€/d]
bis 45.000	-	-	-	-
55.000	2.100	1.500	1.000	-
65.000	3.600	2.600	2.100	-
75.000	4.600	3.600	3.100	1.000
85.000	6.200	5.100	4.600	1.500
95.000	7.700	6.200	5.600	2.100
102.500	10.200	9.200	8.200	2.600
107.500	15.400	12.800	10.200	3.100
112.500	25.600	17.900	13.800	4.100
117.500	41.000	30.700	23.000	5.100
≥ 120.000	66.500	46.000	35.800	7.700

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

¹⁾ Baustellen mit Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen während der Bauarbeiten
²⁾ Werte gelten für einseitige Baustellen, für zweiseitige Baustellen sind die Werte zu verdoppeln
³⁾ Baustellen ohne Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen

Tab. 2-1: Fortsetzung

Die Beschleunigungsvergütung wird aus der Differenz zwischen den angegebenen und tatsächlichen Kalendertagen bzw. Fristen für Verkehrsbeschränkungen ermittelt, die mit den Einzelwerten täglicher Nutzungsausfallkosten in EUR (netto) pro Kalendertag zu multiplizieren sind. Dabei wird jeder Tag als Tag mit Verkehrsbeschränkungen definiert, an dem der Verkehrsfluss wegen Einschränkung der Anzahl und/oder Breite einzelner Fahrstreifen (einschließlich des Seitenstreifens) und/oder durch baustellenbedingte Geschwindigkeitsbeschränkungen von 60 oder 80 km/h behindert wird. Bei anteiliger Verkehrsbeschränkung an einem Tag wird jeweils der volle Kalendertag eingerechnet. Für die Beseitigung der bei der Abnahme festgestellten Mängel, für die eine weitere Verkehrsbeschränkung erforderlich ist, werden die angefallenen Kalendertage mit Verkehrsbeschränkungen bei der Ermittlung der Beschleunigungsvergütung berücksichtigt. Bei einer Überschreitung der vertraglich vereinbarten Fristen sind Vertragsstrafen in Form von 100 % der angegebenen Nutzungsausfallkosten vorgesehen.

Die im HVA B-StB (BMVI, 2016a) aufgeführten Nutzungsausfallkosten gemäß Tabelle 2-1 bauen auf einem Vorschlag von PM-Consult und Heusch/Boesefeldt (1997) über mögliche vertretbare Mehrkosten auf (vgl. Tabelle 2-2). Die Mehrkosten basieren auf den durch Arbeitsstellen entstandenen Zeitver-

lusten und Betriebskosten für die Verkehrsteilnehmer, die im Rahmen einer gesamtwirtschaftlichen Kostenanalyse bewertet wurden. Dabei wurden drei Bewertungskomponenten unterschieden:

- Zeitverluste im fließenden Verkehr (normaler Verkehrsfluss) durch verminderte Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle,
- Zeitverluste durch zusätzliche Verkehrsstaus und
- Veränderungen der Betriebskosten durch geringere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle.

Geringe Zeitverluste (unter 5 Minuten) wurden als nicht alternativ nutzbar angesehen und daher nicht in die Bewertung einbezogen. Zudem wurden die Mehrkosten mit Höchstgrenzen versehen.

Die vorher festgelegten Bauzeiten haben einen großen Einfluss auf die Anwendung von Beschleunigungsvergütungen. Der Bundesrechnungshof kritisiert in Bezug darauf, dass die Straßenbauverwaltungen die Bauzeiten für Bundesautobahnen zurzeit nicht zutreffend bemessen (BRH, 2012). Bisher würden die Bauzeiten zu großzügig bemessen, so dass die Bauunternehmen ohne Mehraufwand ihre Arbeiten früher als vereinbart fertigstellen können. Der durch die verkürzte Bauzeit entstandene Vorteil, wie in der VOB/A als Voraussetzung gefordert, geht dann jedoch nicht auf die Beschleunigungsver-

DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung				
	2+01) [DM/d]	1+11) [DM/d]	2+11,2) [DM/d]		
< 35.000	-	-	-		
≥ 35.000 - 37.500	8.000	5.000	2.500		
≥ 37.500 - 40.000	35.500	25.000	12.500		
≥ 40.000 - 42.500	60.000	40.000	20.000		
≥ 42.500 - 45.000	110.000	85.000	42.500		
≥ 45.000	150.000	150.000	75.500		
DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung				
	4s+03) [DM/d]	3+13) [DM/d]	2+22,3) [DM/d]	4+11) [DM/d]	3+21,2) [DM/d]
< 70.000	-	-	-	-	-
≥ 70.000 - 75.000	18.000	12.000	-	17.000	8.000
≥ 75.000 - 80.000	35.000	24.000	6.000	30.000	18.000
≥ 80.000 - 85.000	80.000	60.000	13.000	70.000	50.000
≥ 85.000 - 90.000	130.000	110.000	30.000	120.000	90.000
≥ 90.000	150.000	150.000	60.000	150.000	120.000
DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung				
	6+03) [DM/d]	5+13) [DM/d]	4+23) [DM/d]	3+32,3) [DM/d]	
< 100.000	-	-	-	-	
≥ 100.000 - 105.000	15.000	10.000	7.000	-	
≥ 105.000 - 110.000	30.000	20.000	15.000	-	
≥ 110.000 - 115.000	50.000	35.000	27.000	3.000	
≥ 115.000 - 120.000	80.000	60.000	45.000	8.000	
≥ 120.000	130.000	90.000	70.000	15.000	

1) Baustellen mit Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen während der Bauarbeiten
2) Werte gelten für einseitige Baustellen, für zweiseitige Baustellen sind die Werte zu verdoppeln
3) Baustellen ohne Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen

Tab. 2-2: Generalisierte vertretbare Mehrkosten (PM-Consult und Heusch/Boesefeldt, 1997)

gütung zurück. Als Alternative zur Beschleunigungsvergütung wird vom Bundesrechnungshof empfohlen, die Bauzeit deutlich knapper zu bemessen, sodass Unternehmen den dadurch bedingten Mehraufwand im Angebot berücksichtigen müssen. Damit würden auch diese Leistungen dem Wettbewerb unterliegen.

Ebenso kann die Reduzierung der Bauzeit auch bereits während der Vergabephase in sogenannten Bauzeiten im Wettbewerb stattfinden. Die Auftragnehmer bieten bei der Angebotsabgabe eine individuelle Bauzeit an, die dann neben dem Angebotspreis mit in die Bewertung aller Angebote eingeht. Dieses innovative Modell zur Reduzierung der

Bauzeit stellt derzeit zwar nicht die gängige Praxis dar, allerdings wird die Prüfung, ob diese Form der Ausschreibung sinnvoll ist, teilweise von den Straßenbauverwaltungen der Länder empfohlen (vgl. z. B. Straßen.NRW, 2011).

2.1.2 Maßnahmen zur Bauzeitverkürzung

Eine Bauzeitverkürzung kann hauptsächlich durch Verlängerung der Arbeitszeiten und Schichtarbeiten mit Nachtschicht erreicht werden. Schichtarbeit ist eine Form der Tätigkeit mit Arbeit zu wechselnden Zeiten oder konstant ungewöhnlicher Zeit. Unterschieden werden dabei zwei Grundformen der

Schichtarbeit, die permanenten Schichtsysteme (Dauerfrüh-, -spät- oder -nachtschichten) und die Wechselschichtsysteme (Systeme mit oder ohne Nachtarbeit sowie mit oder ohne Wochenendarbeit) (DGAUM, 2006).

Im Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen (BMVBS, 2011a) sind vier Baubetriebsformen (BF) definiert, die Vorgaben zu den täglichen Arbeitszeiten enthalten:

- BF 1: Normale Tagesschicht,
- BF 2: Arbeiten an allen Werktagen unter vollständiger Ausnutzung des Tageslichts,
- BF 3: Arbeiten nur nachts,
- BF 4: Arbeiten rund um die Uhr (24 Stunden).

Arbeitsstellen längerer Dauer sind laut Leitfaden in BF 2 auszuführen. In den Sommermonaten ermöglicht diese Baubetriebsform eine verlängerte tägliche Arbeitszeit und kann so zu einer Reduzierung der Tage mit Verkehrsbeeinträchtigungen führen. Aufgrund der Sonnenauf- und -untergangszeiten kann die BF 2 in den Sommermonaten jedoch nur durch einen 2-Schicht-Betrieb erfolgen. Der Einsatz der Baubetriebsformen 3 und 4 ist laut Leitfaden erforderlich, wenn es sich um eine Strecke mit besonders hoher Stauanfälligkeit handelt und es die erforderlichen Arbeiten aus bautechnologischer und bauablauftechnischer Sicht zulassen.

Eine Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte zur Bauzeitverkürzung bei Anwendung der BF 2 stellt hohe Anforderungen an die Ablaufplanung und führt zu einem höheren Bedarf an Baumaschinen und Geräten. Bei Arbeitszeiten von 24 Stunden je Tag werden die benötigten Geräte und Baumaschinen, da sie sich über längere Zeit im Betrieb befinden, besser ausgelastet. Untersuchungen von KEMPER (2010) haben gezeigt, dass die Fahrzeugkosten je Stunde bei steigenden Jahreseinsatzstunden bei Arbeitsstellen kürzerer Dauer sinken. Eine Reduzierung der Kosten für die Vorhaltung der Geräte kann in Arbeitsstellen längerer Dauer durch die Anwendung der BF 4 somit erreicht werden.

Für den Unternehmer bestehen dabei jedoch Restriktionen durch das Arbeitszeitgesetz und den Arbeitsschutz (ARBZG, 1994). Für Arbeiten in den Nachtstunden sieht das Arbeitszeitgesetz besondere Regelungen vor, die für den Arbeitnehmer vergütet werden müssen und mit einem angemessenen Zeitausgleich einhergehen. Ebenso sind durch das

Immissionsschutzgesetz der Bautätigkeit in der Nacht oder am Wochenende enge Grenzen gesetzt.

Schichtarbeit stellt zusätzlich zur tätigkeitsspezifischen Anforderung eine auf die Beschäftigten einwirkende Belastung dar. Oberstes Ziel des Arbeitszeitgesetzes ist daher der Erhalt von Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Bedingt durch die Beeinträchtigung des circadianen Rhythmus, dem jeder Mensch unterliegt, können durch Schichtbetrieb physische und psychische Erkrankungen bei Beschäftigten entstehen. Die Rhythmen der einzelnen Körperfunktionen eines Menschen sind funktional aufeinander abgestimmt und unterliegen einem tagesperiodischen Wechsel. Da der Mensch ein tagaktives Lebewesen ist, dessen Körperfunktionen am Tag auf Aktivität und in der Nacht auf Erholung eingestellt sind, kommt es durch die Nachtarbeit zu einer Desynchronisation der Körperfunktionen. Aus dieser biologischen Desynchronisation ergeben sich eine Reihe negativer Beanspruchungsfolgen (DGAUM, 2006).

Der Schlaf ist für die Regeneration des Organismus und für die Regulierung des circadianen Rhythmus essentiell. Aufgrund unterschiedlicher Faktoren haben Nachtarbeiter eine um zwei bis vier Stunden kürzere Schlafdauer als andere Menschen. Dieser Schlafmangel führt zu Leistungsminderung, Müdigkeit während der Arbeitszeit, einem Anstieg der Fehlerfrequenz und einer Verlängerung der Reaktionszeiten (HOHMANN, 2007).

Nachtarbeit führt nicht zu einer Entwicklung spezifischer beruflicher Erkrankungen, sondern stellt eine unspezifische Belastung dar, die zur Entwicklung multifaktoriell bedingter Erkrankungen beiträgt. Die auftretenden Beschwerden bei Nachtarbeitern betreffen im Wesentlichen Störungen circadianperiodisch gesteuerter Funktionen, wie Schlafstörungen, Appetitlosigkeit und Magenbeschwerden. Als Langzeitfolgen können auch Depressionen, Ulcuserkrankungen, Bluthochdruck und Diabetes auftreten.

Eine weitere Belastung der Beschäftigten im Schichtbetrieb ist neben der biologischen auch die soziale Desynchronisation. Schichtarbeit und vor allem regelmäßige Nachtarbeit stellen große Eingriffe in das soziale Leben eines Menschen dar. Dieser häufig unterschätzte Faktor kann ebenfalls gesundheitliche Folgen nach sich ziehen. Ein intaktes soziales Umfeld und die Teilnahme am gesellschaftlichen Leben sind zwei der wichtigsten Me-

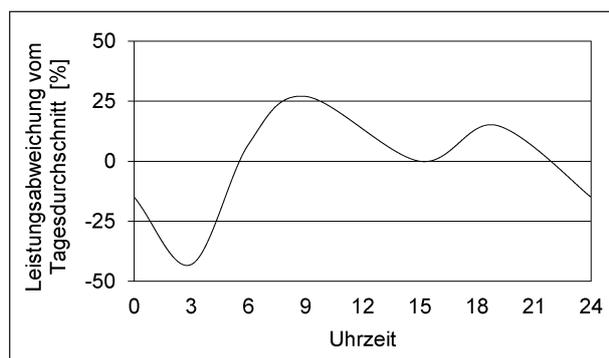


Bild 2-1: Leistungsabweichung vom Tagesdurchschnitt in Abhängigkeit von der Uhrzeit (nach HILDEBRANDT et al., 1998)

chanismen, um die durch die Arbeit entstandene Belastung auszugleichen (HOHMANN, 2007).

Bedingt durch die Tagaktivität des Menschen ist auch die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten während der Nachtschicht beeinträchtigt. Die in Bild 2-1 dargestellte Kurve der Leistungsfähigkeit eines Menschen in Abhängigkeit von der Tageszeit zeigt, dass die Leistungsfähigkeit um 03:00 Uhr ihr absolutes Minimum erreicht. Über den Zeitraum der Nachtschicht, von 22:00 bis 5:00 Uhr, liegt die Leistungsfähigkeit unter dem Durchschnitt. Die verminderte Leistungsfähigkeit umfasst dabei psychische Fähigkeiten stärker als physische Fähigkeiten. Dies wird deutlich in verminderten Reaktionszeiten, höheren Fehlerquoten, geringeren Signalerkennungsquoten und der verminderten Fähigkeit, kognitive Aufgaben korrekt zu bearbeiten (BADURA et al., 2010).

Die verminderte Leistungsfähigkeit während der Nachtschicht stellt vor allem dann ein erhebliches Problem dar, wenn das daraus resultierende Fehlverhalten zu Unfällen führt. Die Untersuchungen von FOLKARD (2002) zeigen, dass das Unfallrisiko in der Schichtarbeit höher ist als in der normalen Arbeitszeit. Unter vergleichbaren Arbeitsbedingungen zeigte sich, dass im Vergleich zur Frühschicht ein erhöhtes Unfallrisiko von 17,8 % für die Spätschicht und von 30,6 % für die Nachtschicht besteht (BADURA et al., 2010).

Durch eine gezielte Anpassung des Schichtplans lassen sich die negativen Einflüsse der Schichtarbeit verringern. Das Arbeitszeitgesetz fordert die Gestaltung von Schichtplänen nach dem arbeitswissenschaftlichen Kenntnisstand, die für die betriebliche Praxis umsetzbar ist und die Gesundheit und Leistungsfähigkeit nicht beeinträchtigt (ARBZG, 1994). Die derzeit auch international um-

gesetzten arbeitswissenschaftlichen Empfehlungen zur Schichtplangestaltung sehen nicht mehr als drei Nachtschichten hintereinander und eine schnelle Rotation von Früh- und Spätschichten (d. h. Wechsel alle 2 bis 3 Tage) vor. Des Weiteren wird in der Arbeitsmedizinischen Leitlinie (DGAUM, 2006) ein Vorwärtswechsel der Schichten (auf eine Frühschicht folgt eine Spätschicht/auf eine Spätschicht folgt eine Nachtschicht) sowie eine mitarbeiterorientierte Flexibilisierung und Individualisierung der Arbeitszeit empfohlen.

Während der Arbeitszeit im Baustellenbereich wirkt auf das Baustellenpersonal neben der Vorbelastung auch die verkehrliche Zusatzbelastung von gesundheitsschädlichen Abgasen wie Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und dem krebserregenden Benzol (C₆H₆). Untersuchungen der Schadstoffbelastung des Baustellenpersonals im Bereich von Arbeitsstellen an Autobahnen haben gezeigt, dass die Konzentration der einwirkenden Schadstoffbelastungen über die Tageszeit schwankt. Zu verkehrsarmen Tageszeiten nimmt die einwirkende Schadstoffbelastung signifikant ab. Der Baustellenbetrieb zu verkehrsarmen Zeiten, wie z. B. in den Nachtstunden oder am Wochenende, ist somit hinsichtlich der Schadstoffbelastung des Baustellenpersonals zu empfehlen (STEINAUER et al., 1998).

Allerdings können nur gewisse Arbeiten während der Nachtschicht ohne Qualitätseinbußen durchgeführt werden. Die Herstellung einer qualitativ hochwertigen Asphaltdeckschicht gemäß dem Regelwerk sollte nur bei Tageshelligkeit durchgeführt werden (FÜHRLING, 2015). Auch Abriss- und Tiefgründungsarbeiten, die häufig mit Lärmemissionen einhergehen, dürfen gemäß dem Landesimmissionschutzgesetz (LImSchG) zum Gesundheitsschutz der Bevölkerung nur eingeschränkt durchgeführt werden. Neben dem zusätzlichen Personalaufwand bei der Durchführung und der Überwachung der Arbeiten während der Nachtstunden wird auch zusätzliches Personal in der Baustoffgewinnung, -ent-sorgung und -lieferung erforderlich. Es wird der Zugang zu Deponieraum und Recyclinganlagen sowie Baustofflieferungen aus Mischanlagen während der Nacht und am Wochenende benötigt. Da von Mischanlagen Lärmemissionen ausgehen, benötigen diese für die Produktion während der Nachtstunden besondere Genehmigungen. Ebenso bedarf es zusätzlicher Genehmigungen für die Aufhebung des Sonntagsfahrverbots für den Lkw-Verkehr. Diese Restriktionen führen dazu, dass die beschleunigen-

de Wirkung eines 24-Stunden-Schichtbetriebes nicht in vollem Umfang genutzt werden kann. Eine Verdopplung der Arbeitszeit in einem 24-Stunden-Schichtbetrieb führt somit nicht zwangsläufig zu einer Halbierung der Gesamtbauzeit (FÜHR-LING, 2015).

Ein weiteres Problem stellt u. U. die notwendige Beleuchtung für Arbeiten in den Nachtstunden dar, die zu negativen Beeinflussungen für den Verkehrsteilnehmer führen kann. Ausgehend von dieser Annahme wurden verschiedene empirische Untersuchungen zum Verkehrsablauf in beleuchteten Arbeitsstellen durchgeführt. Betrachtet wurden der Eingangs- und Ausgangsbereich sowie die Mittelstrecke. Bei dieser Untersuchung stellte sich heraus, dass die ausgeleuchteten Arbeitsstellen keine signifikanten Veränderungen des Fahrverhaltens bewirkten. Ebenso zeigte eine mikroskopische und makroskopische Untersuchung der ausgeleuchteten Baustellenbereiche, dass die 24-Stunden-Bautätigkeiten keinen signifikanten Einfluss auf die Unfallstruktur haben (LÜESSE et al., 2016).

2.1.3 Beschleunigungsvergütungen aus Sicht der Bauindustrie und der Straßenbauverwaltungen

Im Rahmen von Telefoninterviews wurden Geschäftsführer, Niederlassungsleiter und Bauleiter von insgesamt neun großen und mittelständischen Bauunternehmen aus ganz Deutschland sowie Mitarbeiter von fünf Straßenbauverwaltungen zu ihren Erfahrungen und Erwartungen zu Bonus-Malus-Regelungen als Instrument der Bauzeitverkürzung befragt. Hierbei wurde sowohl nach der Häufigkeit von Bonus-Malus-Regelungen in Ausschreibungen als auch nach konkreten Erfahrungen mit diesen gefragt. Die vollständigen Fragenkataloge hierzu befinden sich im Anhang A.

Bauindustrie

Bei der Befragung von Vertretern der Bauindustrie stellte sich heraus, dass vorhandene Erfahrungen mit Bonus-Malus-Regelungen sehr stark vom Tätigkeitsumfeld der jeweiligen Unternehmen abhängen. So haben Unternehmen mit Straßenbauprojekten in verkehrsreichen Bundesländern wie Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Hessen deutlich mehr Erfahrungen als Unternehmen mit Tätigkeitsschwerpunkt in verkehrsärmeren Bundesländern. Da in vielen Ländern nie Bonus-Malus-Regelungen

in die Ausschreibungen einfließen, haben Unternehmen, die hauptsächlich in diesen Ländern tätig sind, keine oder nur sehr wenige Erfahrungen vorzuweisen.

Auch in den Bundesländern mit hoher Verkehrsnachfrage auf Autobahnen ist der Anteil der Ausschreibungen mit Bonus-Malus-Regelungen nach Angaben der Bauunternehmen sehr unterschiedlich. Zum Unmut der meisten Bauunternehmen werden in einem Großteil der Fälle Malus-Zahlungen ohne gleichzeitigen Bonus vertraglich vereinbart, sodass der Unternehmer zwar das Risiko der verspäteten Fertigstellung trägt, aber keine Aussicht auf Bonuszahlungen bei verfrühtem Abschluss der Baumaßnahmen hat. Gleichzeitig stellte sich in den Gesprächen aber auch heraus, dass Malus-Regelungen nur selten wirksam werden und, wenn doch, in der Regel nicht die gesamte Vertragsstrafe gezahlt werden muss. Vielmehr werden in den meisten Fällen Mehrleistungen geltend gemacht oder es wird nachgewiesen, dass es sich um eine unverschuldete oder nur zum Teil verschuldete Bauzeitverlängerung handelt.

Werden Bonus-Regelungen vereinbart, fließt in vielen Unternehmen der Bonus bereits in die Kalkulation ein, es wird also fest von der Erreichung der Bauzeitverkürzung ausgegangen. Je nach Risikobereitschaft des Unternehmens wird der Bonus komplett oder nur in Teilen eingerechnet. Weniger risikobereite Unternehmer haben somit deutlich geringere Chancen, einen Auftrag mit Bonus-Regelung zu erhalten.

Hinsichtlich der Höhe von Bonuszahlungen waren die meisten Befragten der Ansicht, dass die aktuellen Zahlungen ein ausreichender Anreiz sind, um die Bauzeit zu verkürzen. Allerdings waren alle Befragten der Meinung, dass die Höhe von Bonus und Malus der Gerechtigkeit wegen gleich hoch sein sollte und die derzeitige Regel, dass der Bonus nur 50 % der Nutzungsausfallkosten betragen darf, nicht nachzuvollziehen sei. Die Grenze von 5 % der Auftragssumme für die Nutzungsausfallkosten wurde in der Regel als sinnvoll, teilweise sogar als zu hoch angesehen. Zwei Unternehmen merkten zudem an, dass die Kosten pro Tag aus der derzeitigen Nutzungsausfallkostentabelle, insbesondere bei hohen DTV-Werten, aufgrund des zu hohen unternehmerischen Risikos bei möglichen Vertragsstrafen über 50.000 €/d viel zu groß seien. Als sinnvolle Zahlungen (Bonus und Malus) pro Tag wurde von diesen beiden Unternehmen als realistischer

Anhaltswert ungefähr 0,1 % der Auftragssumme genannt.

Zur Erreichung von Bauzeitverkürzungen setzen die meisten Unternehmen die typischen Maßnahmen Mehrschichtbetrieb, höherer Personaleinsatz und höherer Geräteeinsatz ein. Jedes Unternehmen hat dabei eigene Strategien bei der Kalkulation (z. B. Kalkulation so, dass die Bauzeit genau eingehalten werden kann, Samstagsarbeit als Puffer etc.). Zusätzlich wurden aber auch ein erhöhter Nachunternehmereinsatz und eine sinnvolle Änderung der in der Ausschreibung vorgegebenen Bauabschnitte, ohne Nachteile für den Verkehrsteilnehmer, genannt. Eine weiterführende Beschreibung des möglichen Personal- und Baugeräteeinsatzes zum Zweck einer Bauzeitverkürzung ist aufgrund der bestehenden großen Maßnahmenvielfalt in der Praxis im Rahmen der Expertengespräche nicht abzuleiten gewesen.

Straßenbauverwaltungen

In der Regel werden in den Ausschreibungen für Baumaßnahmen Vorgaben gemacht, die eine Verkürzung der Bauzeit hervorrufen sollen. Dies sind zum Beispiel die Ausnutzung von Tageshelligkeit und der 2-Schicht-Betrieb. Die Entscheidung, ob darüber hinaus eine Bonus-Malus-Regelung vorgesehen wird, um die Bauzeit weiter zu verkürzen bzw. eine mögliche Verlängerung zu verhindern, ist hauptsächlich abhängig von der Bedeutung der Strecke im Netz, auf der die Baumaßnahme durchzuführen ist. Der DTV einer Strecke ist dabei das Hauptkriterium. Jedoch kommen auch auf Strecken, welche zu bestimmten Zeiten eine besondere Bedeutung haben (z. B. durch starken Ferienverkehr), Bonus-Malus-Regelungen in Betracht.

Einige verkehrsärmere Bundesländer planen ihre erforderlichen Baumaßnahmen außerhalb der häufig stärker belasteten Ferienzeit. Dort werden Bonus-Malus-Regelungen somit meist nicht erforderlich. Dennoch wird auch hier trotz der geringen Erfahrung die Möglichkeit, Bonus- und Malus-Zahlungen in Ausschreibungen vorzusehen, als sinnvoll erachtet. Allerdings geben einige Länder an, dass ein sinkender Personalstand in den Straßenbauverwaltungen dazu führt, dass der Mehraufwand, den Maßnahmen mit Bonus-Malus-Regelungen mit sich bringen, nicht geleistet werden kann. Der Mehraufwand wird dabei weniger in der Vor- als in der Nachbereitung der Maßnahmen gesehen. Vorab muss

die Entscheidung getroffen werden, ob und in welcher Höhe Bonus- und Malus-Zahlungen vorzusehen sind. Hierbei dient die Nutzungsausfallkostentabelle nicht immer als feste Vorgabe. In manchen Fällen wird von den Werten deutlich abgewichen. Darüber hinaus werden Werte selbst festgelegt, falls die Randbedingungen (z. B. gewählte Verkehrsführung) durch die gegebene Tabelle nicht abgedeckt werden. Die Tatsache, dass für Bonus-Zahlungen 50 % der Tabellenwerte und für Malus-Zahlungen 100 % anzusetzen sind, wird von den Straßenbauverwaltungen unterschiedlich beurteilt. Ein Argument für die Beibehaltung dieses Unterschieds ist, dass der Druck bei Malus-Zahlungen höher bleiben sollte als die Aussicht auf Bonus-Zahlungen. Demgegenüber steht, dass es fairer wäre, die Bonus-Zahlungen auf ebenfalls 100 % anzuheben, da ein deutlich höheres unternehmerisches Risiko im Vergleich zu der Aussicht auf geringere Bonus-Zahlungen insbesondere kleinere Unternehmen davon abhalten könnte, eine solche Maßnahme durchführen zu wollen.

Deutlich mehr Aufwand als für die Festlegung der zu erbringenden Bonus- und Malus-Zahlungen ist von den Straßenbauverwaltungen im Nachgang einer Maßnahme zu leisten. Die Beurteilung, ob Bonus- oder Malus-Zahlungen wirksam werden, ist wegen der häufig auftretenden Nachträge oftmals aufwendig und zeitintensiv. Malus-Zahlungen werden dabei nach Aussage der Straßenbauverwaltungen trotz Überschreitung der vereinbarten Bauzeit häufig nicht wirksam. Oftmals werden Verlängerungen mit Nachträgen begründet. Auch unvorhergesehene Randbedingungen (z. B. extreme Witterung oder Probleme im Baugrund wie bei einem Bombfund) sind Risiko des Auftraggebers.

Das bisherige Vorgehen nach HVA B-StB (BMVI, 2016a) sollte nach Meinung der Straßenbauverwaltungen beibehalten werden. Änderungsvorschläge ergeben sich lediglich in zwei Punkten.

Die Ergänzung der Tabellen um bislang fehlende Verkehrsführungen (z. B. auf 8-streifigen Autobahnen) wird als zwingend erforderlich erachtet. Dabei sollte jedoch an der bisherigen Tabellenform festgehalten werden. Modelle zur Ermittlung der Nutzungsausfallkosten, in die weitere Randbedingungen (z. B. Schwerverkehrsanteil auf der Strecke, geplanter Zeitraum der Baumaßnahme im Jahr) einbezogen werden könnten, werden aufgrund der Komplexität nicht gewünscht. Auch wird es als kritisch gesehen, die Anzahl der Tabellen durch die

Abdeckung der o. g. Randbedingungen deutlich zu erhöhen, da dies sonst den Aufwand der Ermittlung der Nutzungsausfallkosten zu stark erhöhen oder zu fehleranfällig sein könnte.

Ein Gesprächspartner hat angemerkt, dass die reine Kombination von DTV und Verkehrsführung nicht ausreichend sei, um Tagesspitzen abbilden zu können. Eine „Verkomplizierung“ des Verfahrens, d. h. Modellrechnungen statt der Ermittlung eines Tabellenwertes anhand der zwei Eingangsgrößen, wird allerdings auch hier nicht gewünscht. Stattdessen wird die Implementierung der Ermittlung von Nutzungsausfallkosten in das Verkehrsanalyzesystem (siehe Kapitel 2.3) vorgeschlagen.

Ein weiterer Änderungswunsch betrifft die Höhe der Nutzungsausfallkosten. Oftmals werden selbst von den Straßenbauverwaltungen die erreichbaren täglichen Bonus-Zahlungen als zu gering erachtet, um für die Bauunternehmen einen ausreichenden Anreiz darzustellen, mit geeigneten Maßnahmen die Bauzeit zu verkürzen. Die Obergrenze von 5 % der Auftragssumme kann dazu führen, dass die Unternehmen die Bauzeit zwar noch weiter verkürzen könnten, dies aber nicht tun, da sie aufgrund der Obergrenze keine Bonus-Zahlungen mehr erwarten können. Insgesamt wird die Festlegung einer täglichen Unter- und Obergrenze vorgeschlagen. Hierfür wurde der Bereich von 4.000 bis 20.000 €/d genannt. So wäre sowohl ein ausreichender Anreiz als auch ein begrenztes unternehmerisches Risiko gewährleistet.

2.2 Nutzenkomponenten bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

EWS

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden zum Vergleich von Varianten, zur Prüfung der Bauwürdigkeit und Dringlichkeit einer Maßnahme sowie zur Vermeidung von Realisierungen unwirtschaftlicher Maßnahmen durchgeführt. Als Grundlage für die einheitliche Bewertung von Straßenbauinvestitionen innerhalb und außerhalb bebauter Gebiete können die Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS, FGSV, 1997) angewendet werden. Ziel der EWS ist es, objektive und nachvollziehbare Entscheidungen zu ermöglichen, indem die Veränderung verschiedener Nutzenkomponenten durch die zu überprüfende Maßnahme betrachtet und den Kosten der Maßnahme

gegenübergestellt wird. Dabei werden folgende Nutzenkomponenten einbezogen:

- Betriebskosten,
- Fahrtzeiten,
- Unfallgeschehen,
- Lärmbelastung,
- Schadstoffbelastung,
- Klimabelastung,
- Trennwirkung gegenüber Fußgänger-Überquerung und
- Flächenverfügbarkeit für Fußgänger und Radfahrer.

Für die Berechnung der einzelnen Nutzengrößen werden in den EWS Schätzverfahren angegeben, die nach Straßentypen und weiteren Randbedingungen unterteilte Datengrundlagen enthalten und sowohl positive Nutzen (Gewinne) als auch negative Nutzen (Verluste) ergeben können. Die Nutzen werden anhand von Kostensätzen monetarisiert. Bei der endgültigen Betrachtung des Nutzen/Kosten-Verhältnisses (NKV) wird somit aus allen einzelnen Komponenten ein Wert ermittelt, der quantifizierbare Auswirkungen enthält und Voraussetzung für den Vergleich der jeweiligen Maßnahmen ist.

RWS

Die Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RWS, BMVI, 2016b), welche in der Entwurfsfassung vorliegen, enthalten als Weiterentwicklung der EWS (FGSV, 1997) veränderte und detailliertere Verfahren zur Bewertung von geplanten Straßenbaumaßnahmen. Dabei werden anhand von Nutzen-Kosten-Analysen die zu bewertenden Maßnahmenvarianten (Planfall) dem Zustand bei nicht durchgeführter Baumaßnahme (Vergleichsfall) gegenübergestellt. Die einzelnen, bereits in den EWS betrachteten Nutzenkomponenten werden eingeteilt in Auswirkungen auf den Verkehrsablauf (Fahrtzeiten und Betriebskosten), auf die Verkehrssicherheit (Unfallgeschehen), auf die Umwelt (Lärm-, Schadstoff-, und Klimabelastung) und auf die Qualität des Fußgängerverkehrs (Trennwirkung und Flächenverfügbarkeit). Zusätzlich werden Auswirkungen auf die Betriebskosten zur Erhaltung der Verkehrsanlage und zur Lenkung des Verkehrs betrachtet. Je nach geplanter Maßnahme ist individu-

ell festzulegen, ob weitere Nutzenkomponenten mit einbezogen werden sollen. Die Berechnung erfolgt mit standardisierten Verfahren, die auf gegenwärtigen Erkenntnissen beruhen. Zur Anwendung der Berechnung nach den RWS werden ausreichende Datengrundlagen sowie Verkehrsprognosen sowohl für den Planfall als auch für den Vergleichsfall benötigt. Die Ergebnisse einzelner Nutzenkomponenten aus den standardisierten Verfahren können – falls vorhanden – durch die Angabe genauerer Werte ersetzt werden.

BVWP

Der vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur aufgestellte Bundesverkehrswegeplan (BVWP) 2030 umfasst alle zukünftig geplanten Investitionen des Bundes in die Verkehrsinfrastruktur (BMVI, 2016c). Dabei werden sowohl Maßnahmen zum Neu- und Ausbau von Strecken als auch Investitionen zur Instandhaltung und Sanierung berücksichtigt. Die einzelnen Projekte werden mit einer Nutzen-Kosten-Analyse, einem Maß für die Bedeutung innerhalb der Raumordnung und der Umweltverträglichkeit sowie einer städtebaulichen Beurteilung in Dringlichkeitskategorien eingestuft. Neben volkswirtschaftlichen Kosten werden dabei auch umweltbezogene Bewertungen einbezogen. Innerhalb der Nutzen-Kosten-Analyse wird überprüft, inwiefern die Investitionen einen volkswirtschaftlichen Nutzen haben und sich rentieren. Im neuen BVWP wurde das Bewertungsverfahren weiterentwickelt und die Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs als zusätzliche Nutzenkomponente in die Berechnung einbezogen. Damit wird berücksichtigt, dass neben der Fahrtzeit und daraus folgenden Zeitgewinnen bzw. Zeitverlusten als Größe für die Bewertung von Verkehrswegen auch die Zuverlässigkeit als Maß für die Planbarkeit von Fahrten relevant ist. Als maßgebende Zuverlässigkeitskenngröße wurde dabei die Standardabweichung der Fahrtzeit festgelegt.

2.3 Bewertung von Arbeitsstellen

Der vom BMVBS eingeführte Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen ersetzte als Grundlage der Baubetriebsplanung die Richtlinien zur Baubetriebsplanung auf Bundesautobahnen (RBAP, BMV, 1996) und wurde mit dem ARS 04/2011 (BMVBS, 2011b) eingeführt. Die darin geforderte Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen

von Arbeitsstellen soll künftig mit Hilfe eines bundesweit einheitlichen Verfahrens EDV-gestützt umgesetzt werden.

Im Rahmen des FE 01.0174/2011/HRB „Verfahren für die Bewertung des Verkehrsablaufs auf Autobahnen als Ganzjahresanalyse für unterschiedliche Randbedingungen“ (GEISTEFELDT und HOHMANN, 2014) wurde eine Methodik für ein solches Verkehrsanalyse-System (VAS) entwickelt, welches die Einschätzung unterschiedlicher baulicher und betrieblicher Szenarien ermöglichen soll.

Die nachfolgende Beschreibung der Arbeitsstellenbewertung nach dem Modell des VAS geht von einer Implementierung der im Rahmen von FE 01.0174/2011/HRB und FE 01.0176/2011/HRB vorgeschlagenen Verfahren für das VAS aus. Da die Entwicklung des VAS zum Zeitpunkt dieses Berichtes noch nicht abgeschlossen war, konnte die Frage, ob die Arbeitsstellenbewertung des VAS zukünftig nach dem hier beschriebenen Verfahren erfolgen wird, noch nicht abschließend geklärt werden.

Die Gesamtbewertung einer Arbeitsstelle setzt sich nach dem für das VAS vorgeschlagenen Verfahren aus einer volkswirtschaftlichen und einer regelbasierten Bewertung zusammen.

Für die Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen von Arbeitsstellen wurde aufbauend auf einer vergleichenden Analyse unterschiedlicher Modellsätze ein geeignetes Verkehrsflussmodell ausgewählt und kalibriert. Der Ansatz für die Quantifizierung der verkehrlichen Auswirkungen von Engpässen ist die intervallgenaue Modellierung von Kapazitätsüberschreitungen über einen längeren Zeitraum. Das zugrunde liegende Prinzip der Ganzjahresanalyse ermöglicht eine deutlich präzisere Nachbildung des Verkehrsablaufs über einen beliebig langen Zeitraum anstelle einer Bewertung in einer einzelnen Bemessungsstunde. Die dabei angesetzten Kapazitätswerte für Arbeitsstellen wurden im FE 01.0176/2011/HRB „Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen auf Autobahnen unter unterschiedlichen Randbedingungen“ (GEISTEFELDT et al., 2016) erarbeitet und basieren auf der Auswertung von 40 Arbeitsstellen längerer Dauer aus den Jahren 2001 bis 2013. Die Berechnung überlastungsbedingter Fahrtzeitverluste erfolgt im VAS anhand eines deterministischen Warteschlangenmodells mit deterministischen Eingangsgrößen in Stunden-Intervallen.

Neben dem Kriterium der arbeitsstellenbedingten Fahrtzeitverluste wird bei der volkswirtschaftlichen Bewertung im VAS auch die Verkehrssicherheit anhand von Unfallkostenraten beurteilt. Darüber hinaus ist die Ermittlung der Kosten aus Schadstoffbelastung und Kraftstoffverbrauch möglich.

Für die regelbasierte Bewertung werden im VAS die im Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen angegebenen Vorgaben zur Arbeitsstellengestaltung hinsichtlich der Verkehrsführung, Querschnittsgestaltung, Maßnahmen der Verkehrsregelung etc. automatisiert geprüft (GEISTEFELDT et al., 2014).

Die Teilergebnisse der Bewertung werden zusammengefasst und mit Hilfe eines dreistufigen Ampelsystems dargestellt. Mit dem VAS kann somit auf Bundes- und Länderebene beurteilt werden, ob eine geplante Arbeitsstelle den Vorgaben entspricht und ob die verkehrlichen Auswirkungen unter den gegebenen Randbedingungen akzeptabel sind. Darüber hinaus können vom Anwender Variantenvergleiche einzelner Arbeitsstellen durchgeführt und Projekte zeitlich optimiert werden.

Das VAS wird vorrangig als Bewertungsverfahren für die Baubetriebsplanung entwickelt. Darüber hinaus kann das Modell für die Berechnung der verkehrlichen Bewertung auch für die Analyse wissenschaftlicher und verkehrsplanerischer Fragestellungen eingesetzt werden. Anders als beim Anwendungsfall der Baubetriebsplanung, bei dem für die Berechnung der Fahrtzeitverluste ein deterministisches Warteschlangenmodell mit deterministischen Eingangsgrößen in Stunden-Intervallen verwendet wird, ist für den wissenschaftlichen Anwendungsfall eine kürzere Intervalldauer von 5 Minuten vorgesehen, womit auch die Berücksichtigung stochastischer Einflüsse auf den Verkehrsablauf ermöglicht wird.

3 Verfahren für die Bewertung von Arbeitsstellen

3.1 Konzept

Die durch eine Arbeitsstelle hervorgerufenen Nutzungsausfallkosten sind abhängig von den verkehrlichen Randbedingungen sowie den berücksichtigten Bewertungsgrößen. Als maßgebende Randbedingungen sind alle Einflussfaktoren zu verstehen,

die sich auf die Verkehrsnachfrage und die Kapazität auswirken.

Hinsichtlich der Parameter der Verkehrsnachfrage ist nicht nur die absolute Höhe, ausgedrückt durch die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), sondern auch die zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage über den Tag und das Jahr zu berücksichtigen. Daher wurden unterschiedliche Kombinationen typisierter Ganglinien nach dem Entwurf der RWS (BMVI, 2016b) untersucht.

Eine Festlegung und Clusterung der für die Kapazität von Arbeitsstellen relevanten Einflussgrößen erfolgte auf der Grundlage des im FE 01.0176/2011/HRB (GEISTEFELDT et al., 2016) entwickelten Kapazitätsmodells. Betrachtet wurden dabei alle gängigen Verkehrsführungen auf zwei-, drei- und vierstreifigen Richtungsfahrbahnen. Auch weitere, die Kapazität der Arbeitsstelle beeinflussende Randbedingungen (z. B. die Lage der Strecke innerhalb oder außerhalb von Ballungsräumen und der Schwerverkehrsanteil) wurden mit einbezogen.

Die Festlegung der maßgebenden Bewertungsgrößen, mit denen die verkehrlichen Auswirkungen einer Arbeitsstelle beschrieben werden können, erfolgte auf der Grundlage der gängigen Verfahren für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Folgende Bewertungsgrößen wurden berücksichtigt:

- Kosten aus Fahrtzeiten im fließenden Verkehr:
 - nach den RWS,
- Kosten aus überlastungsbedingten Fahrtzeitverlusten:
 - analog zum Verfahren des VAS,
- Kosten aus (Un-)Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs:
 - anhand der BVWP-Methodik,
- Kosten aus Unfällen:
 - analog zum Verfahren des VAS,
- Kosten aus Kraftstoffverbrauch:
 - analog zum Verfahren des VAS,
 - nach den RWS,
- Kosten aus Schadstoffbelastung:
 - analog zum Verfahren des VAS,
 - nach den RWS.

Die Kosten aus einer Veränderung der Fahrtzeiten im fließenden Verkehr sind im Hinblick auf die Berücksichtigung des Einflusses der Geschwindigkeitsbeschränkung im Baustellenbereich relevant. Die Berechnung der Kosten aus Fahrtzeiten im fließenden Verkehr erfolgte mit dem im Entwurf der RWS (BMVI, 2016b) enthaltenen Verfahren zur Ermittlung der Fahrtgeschwindigkeit auf der freien Strecke. Für die Nachbildung der Fahrtgeschwindigkeiten in Arbeitsstellen wurden die im FE 01.0176/2011/HRB (GEISTEFELDT et al., 2016) entwickelten q-v-Diagramme zugrunde gelegt.

Die Ermittlung der Bewertungsgrößen Fahrtzeitverluste, Kraftstoffverbrauch und Schadstoffbelastung erfolgte mit dem für das VAS konzipierten Berechnungsmodell (GEISTEFELDT und HOHMANN, 2014). Für die Berechnung der Fahrtzeitverluste kam jedoch nicht die für die Baubetriebsplanung vorgesehene Berechnung mit deterministischen Eingangsgrößen in Stunden-Intervallen zum Einsatz, sondern die im VAS für wissenschaftliche Anwendungen vorgesehene detailliertere Berechnung mit stochastischen Eingangsgrößen in 5-Minuten-Intervallen.

Die Ermittlung von Unfallkosten erfolgte in Anlehnung an das im FE 01.0176/2011/HRB (GEISTEFELDT et al., 2016) entwickelte Verfahren, welches auf aktualisierten Unfallkostenraten für Arbeitsstellen basiert.

Die Bewertungsgröße Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs wird bislang nicht in den Richtlinien berücksichtigt, wurde jedoch für den BVWP 2030 erstmals als Nutzenkomponente einbezogen. Als maßgebende Kenngröße wurde dabei die Standardabweichung der routenbezogenen Fahrtzeitverluste verwendet (Significance et al., 2012). Das im BVWP verwendete Modell zur Ermittlung der Standardabweichung der Fahrtzeitverluste für unterschiedliche Randbedingungen wurde von GEISTEFELDT et al. (2014) entwickelt.

Für die Festlegung, welche Größen in die Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen und somit in die Quantifizierung von Nutzungsausfallkosten einfließen sollen, wurden die absoluten Werte und relativen Anteile der Komponenten an der Summe der volkswirtschaftlichen Kosten analysiert. Nachfolgend werden in Kapitel 3.2 die maßgebenden Randbedingungen für die Ermittlung der einzelnen Kostenkomponenten erläutert.

3.2 Maßgebende Randbedingungen

3.2.1 Verkehrsnachfrage

Die verkehrlichen Auswirkungen, auf deren Grundlage aktualisierte Nutzungsausfallkosten ermittelt werden, sollen für möglichst viele Arbeitsstellen in Deutschland aussagekräftig sein. Daher wurden verschiedene Ausprägungen der relevanten Parameter der Verkehrsnachfrage und der Kapazität untersucht, welche ein breites Spektrum der in der Realität vorkommenden Maßnahmen abdecken.

Die Parameter der Verkehrsnachfrage sind

- die Höhe, charakterisiert durch den DTV-Wert,
- die zeitliche Verteilung, beschrieben durch typisierte Ganglinien, und
- der mittlere Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil).

Die absolute Höhe der täglichen Verkehrsbelastung stellt die wichtigste Einflussgröße auf die verkehrlichen Auswirkungen einer Arbeitsstelle dar. Im Ergebnis sollen alle Bewertungsgrößen daher abhängig vom DTV bestimmt werden können. Dafür wurde der richtungsbezogene DTV (DTV_R) im Bereich von 10.000 bis 100.000 Kfz/d in Schritten von 2.500 Kfz/d variiert.

Die Verteilung der Verkehrsnachfrage ist abhängig von der Lage und der Funktion der Strecke, woraus sich die Verkehrszusammensetzung in Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) sowie die Ganglinie ergeben. Um repräsentative Ergebnisse ermitteln zu können, wurden keine realen Ganglinien verwendet, sondern typische Ganglinienkombinationen der RWS (BMVI, 2016b). Verwendet werden typisierte Tagesganglinien für die Tage(sgruppen) Montag, Dienstag bis Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag, die in relativen Anteilskurven den Verlauf der Verkehrsstärke über den Tag angeben. Darüber hinaus liefern die RWS typisierte Jahresganglinien, die für jeden Tag den Anteil des Tagesverkehrs an der Gesamtverkehrsstärke eines Jahres festlegen. Die Ganglinien sind jeweils für den Leichtverkehr (Fahrzeuge mit zul. Gesamtgewicht $\leq 3,5$ t) und den Schwerverkehr (Fahrzeuge mit zul. Gesamtgewicht $> 3,5$ t) definiert. Für die Tagesganglinien des Schwerverkehrs und des Leichtverkehrs an Samstagen und Sonntagen existiert jeweils nur ein Ganglinientyp. Tabelle 3-1 zeigt die Ganglinientypen nach den RWS.

Typ	Bezug	Beschreibung	
Jahresgang- linientyp	1	LV, SV	Weitestgehend ausgeglichen, Rückgänge in Ferien- und Feiertagswochen
	2	LV	Spitzen in Ferien- und Feiertagswochen
	3	SV	Extreme Maxima in einzelnen Wochen
	4	LV	Ausgeprägte Spitzen in der Ferienszeit, lokale Maxima in den Feiertagswochen
Tagesgang- linientyp	1	LV, Mo-Fr	Morgenspitze
	2	LV, Mo-Fr	Nachmittagsspitze
	3	LV, Mo-Fr	Zwei Spitzen

Tab. 3-1: Ganglinientypen nach den RWS (BMVI, 2016b)

Ganglinienkombination	Häufigkeit
1/1/3/3/3	29 %
2/1/3/3/3	26 %
1/1/1/1/1	8 %
1/1/1/3/3	6 %
1/1/2/2/3	6 %
1/1/1/3/1	5 %
2/1/2/2/3	5 %
weitere Kombinationen	16 %
Definition der Ganglinienkombination: 1. Stelle: Jahresganglinientyp LV 2. Stelle: Jahresganglinientyp SV 3. Stelle: Tagesganglinientyp LV Montag 4. Stelle: Tagesganglinientyp LV Dienstag bis Donnerstag 5. Stelle: Tagesganglinientyp LV Freitag	

Tab. 3-2: Häufigkeit von Ganglinienkombinationen: Ergebnisse der Auswertung der Dauerzählstellendaten der BAST aus den Jahren 2005, 2010 und 2015

Die Analyse der Häufigkeitsverteilung unterschiedlicher Ganglinienkombinationen (GLK) erfolgte anhand der Ergebnisse der Jahresauswertung 2005, 2010 und 2015 der Dauerzählstellen auf Bundesautobahnen der Bundesanstalt für Straßenwesen, bei der allen Dauerzählstellen Ganglinientypen auf Basis einer vorläufigen RWS-Typisierung zugewiesen wurden (vgl. Tabelle 3-2). Die Betrachtung der sieben häufigsten Ganglinienkombinationen zeigt, dass sich diese im Wesentlichen hinsichtlich der Jahresganglinie und der Tagesganglinien des Leichtverkehrs unterscheiden. Am häufigsten treten mit 58 % bzw. 37 % die Jahresganglinien des

Leichtverkehrs vom Typ 1 und 2 auf. Die Tagesganglinien des Leichtverkehrs unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch, ob an Werktagen zwei Verkehrsspitzen oder nur eine ausgeprägte Spitze am Morgen oder Nachmittag vorliegt.

Mehr als die Hälfte der in Tabelle 3-2 betrachteten Strecken kann durch die zwei häufigsten Ganglinienkombinationen beschrieben werden. Diese beiden Kombinationen wurden daher für die weiteren Analysen ausgewählt. Die häufigste Kombination 1/1/3/3/3 zeichnet sich durch einen weitestgehend ausgeglichenen Verlauf über das Jahr und die zweithäufigste Kombination 2/1/3/3/3 durch deutliche Spitzen in Ferien- und Feiertagswochen aus. Bild 3-1 zeigt die resultierenden Jahresganglinien im Vergleich.

Für den mittleren SV-Anteil, der sich aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsstärkeganglinien des Leicht- und Schwerverkehrs auf die zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage und damit insbesondere auch auf die Höhe der Verkehrsnachfrage in den Spitzenstunden auswirkt, wurden Werte von 10 und 20 % analysiert.

Generierung von 5-Minuten-Werten

Analog zum wissenschaftlichen Anwendungsbereich des VAS (vgl. Kapitel 2.3) wurden aus den Stundenwerten der Verkehrsnachfrage 5-Minuten-Werte generiert. Die Berücksichtigung trendbedingter Veränderungen der Verkehrsnachfrage innerhalb der Stunden-Intervalle erfolgte mithilfe des Verfahrens nach ZURLINDEN (2003). Kurzfristige Schwankungen wurden anhand eines normalverteilten Faktors mit Mittelwert 1 und verkehrsabhängiger Standardabweichung berücksichtigt (BRILON und GEISTEFELDT, 2007).

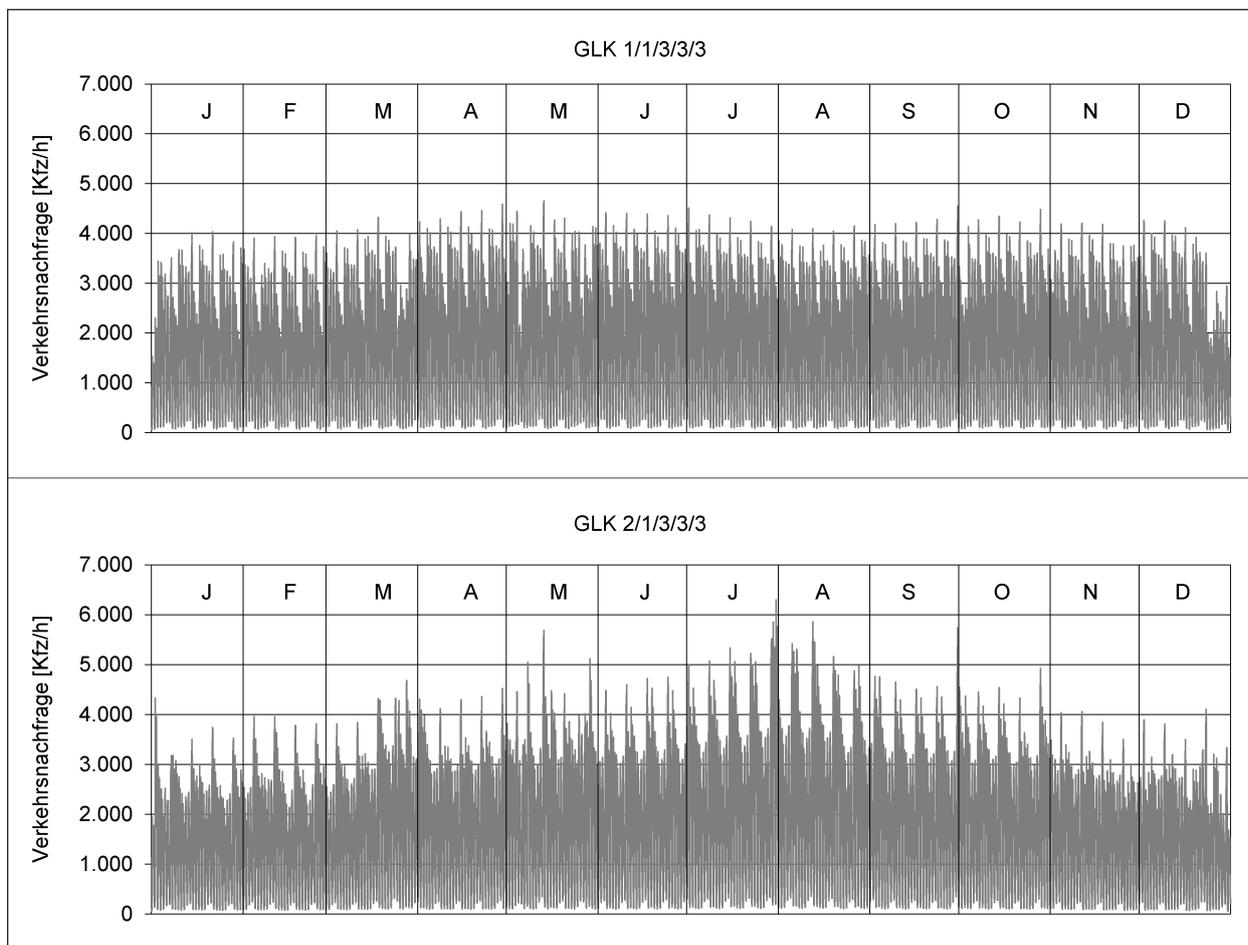


Bild 3-1: Vergleich der GLK 1/1/3/3/3 (oben) und 2/1/3/3/3 (unten) bei einem DTVR von 40.000 Kfz/d und 10 % SV-Anteil

3.2.2 Kapazität

Nutzungsausfallkosten ergeben sich aus der Differenz der maßgebenden Bewertungsgrößen im Zustand mit und ohne Arbeitsstelle. Daher erfolgten die Berechnungen sowohl mit der Kapazität der freien Strecke als auch mit der Kapazität im Bereich von Arbeitsstellen.

Kapazität der freien Strecke

Für die Ermittlung der Kapazitäten auf der freien Strecke wurden die Bemessungswerte des HBS (FGSV, 2015) verwendet. Diese sind abhängig von der Fahrstreifenanzahl, der Längsneigung, der Geschwindigkeitsregelung, dem SV-Anteil und der Lage der Strecke (innerhalb oder außerhalb von Ballungsräumen). Der für die Ermittlung der Kapazität maßgebende SV-Anteil in den einzelnen Stunden ergibt sich aus dem mittleren SV-Anteil und der zeitlichen Verteilung des Leicht- und Schwerverkehrs über den Betrachtungszeitraum.

Kapazität im Bereich von Arbeitsstellen

Die Bestimmung der Kapazität von Arbeitsstellen erfolgte auf der Grundlage des im FE 01.0176/2011/HRB (GEISTEFELDT et al., 2016) entwickelten Kapazitätsmodells, welches für die Verwendung im VAS konzipiert wurde. Als maßgebende Einflussgrößen auf die Kapazität von Arbeitsstellen längerer Dauer werden dabei die Strecken- und Verkehrsparameter

- Lage innerhalb oder außerhalb von Ballungsräumen,
- SV-Anteil und
- Längsneigung

sowie die Arbeitsstellenparameter

- Fahrstreifenbreite und
- Vorhandensein einer Fahrbahnteilung

berücksichtigt. Für die ebenfalls untersuchten Arbeitsstellenparameter

- Fahrstreifenreduktion und
- Überleitung auf die Gegenfahrbahn

konnte hingegen kein über die reduzierte Grundkapazität von Behelfsfahrstreifen in Arbeitsstellen hinausgehender Einfluss auf die Kapazität festgestellt werden.

Das Kapazitätsmodell und die ermittelten Abminderungsfaktoren sind im Folgenden dargestellt. Die Berechnung der Arbeitsstellenkapazitäten erfolgt dabei fahrtrichtungsgrennt.

$$C = \frac{G}{1 + SV/100} \cdot f_{aB} \cdot f_{FT} \cdot f_s \cdot \sum_{i=1}^n f_{b,i} \quad (3-1)$$

mit

C Kapazität für die betrachtete Fahrtrichtung [Kfz/h]

G Grundkapazität für einen Fahrstreifen
= 2.000 Pkw-E/h

SV SV-Anteil der Richtungsfahrbahn [%]

f_{aB} Faktor für den Einfluss der Lage im Bundesautobahnnetz [-]

$$= \begin{cases} 1,00 & \text{für Arbeitsstellen innerhalb von} \\ & \text{Ballungsräumen (iB)} \\ 0,95 & \text{für Arbeitsstellen außerhalb von} \\ & \text{Ballungsräumen (aB)} \end{cases}$$

f_s Faktor für den Einfluss der Längsneigung s [-]

$$= \begin{cases} 1,00 & \text{für } s \leq 2 \% \\ 0,90 & \text{für } 2 \% < s \leq 4 \% \\ 0,80 & \text{für } s > 4 \% \end{cases}$$

f_{FT} Faktor für den Einfluss einer Fahrbahnteilung (FT) [-]

$$= \begin{cases} 1,00 & \text{für Arbeitsstellen ohne} \\ & \text{Fahrbahnteilung} \\ 0,95 & \text{für Arbeitsstellen mit Fahrbahn-} \\ & \text{teilung und einer Richtungsver-} \\ & \text{kehrsführung mit } > 2 \text{ FS} \\ 0,90 & \text{für Arbeitsstellen mit Fahrbahn-} \\ & \text{teilung und einer Richtungsver-} \\ & \text{kehrsführung mit } 2 \text{ FS} \end{cases}$$

n Anzahl der Behelfsfahrstreifen [-]

$f_{b,i}$ Faktor für den Einfluss der Breite des Fahrstreifens i [-]

$$= \begin{cases} 1,00 & \text{für } b_{Pkw,i} \geq 2,75 \text{ m und} \\ & b_{Lkw,i} \geq 3,25 \text{ m} \\ 0,95 & \text{für } 2,60 \text{ m} \leq b_{Pkw,i} < 2,75 \text{ m} \\ 0,90 & \text{für } b_{Pkw,i} < 2,60 \text{ m und} \\ & b_{Lkw,i} < 3,25 \text{ m} \end{cases}$$

Die Fahrstreifenbreite ist dabei der einzige Faktor, der für jeden Behelfsfahrstreifen (Index i) einzeln ermittelt wird. Die anderen Faktoren gelten für alle Fahrstreifen der betrachteten Fahrtrichtung.

Die Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussparameter auf die Kapazität einer Arbeitsstelle führt zu zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten. Für RSA-konforme Arbeitsstellen mit ein-, zwei-, drei- und vierstreifigen Verkehrsführungen, SV-Anteilen von 0, 10, 20 und 30 % sowie drei verschiedenen Steigungsklassen ($s \leq 2$ %, $2 \% < s \leq 4$ % und $s > 4$ %) ergeben sich 720 unterschiedliche Kapazitätswerte von 1.169 bis 8.000 Kfz/h. Analysiert wurden alle RSA-konformen Arbeitsstellen mit ein-, zwei-, drei- und vierstreifigen Verkehrsführungen. Dabei wurden zur Ermittlung der Arbeitsstellenkapazitäten für jede Verkehrsführung typische Kombinationen der Behelfsfahrstreifenbreiten ausgewählt, die in Tabelle 3-3 enthalten sind. Die dort angegebenen Kapazitäten beziehen sich auf Strecken außerhalb von Ballungsräumen mit einem SV-Anteil von 10 %.

Alle Fahrstreifenbreitenkombinationen sind so gewählt, dass der Regelquerschnitt für die Entwurfsklasse EKA 1 nach den RAA (FGSV, 2008) den Arbeitsstellenquerschnitt aufnehmen kann. Eine Ausnahme bildet die Verkehrsführung 6+0 auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen. Diese kann grundsätzlich nur in der zweiten Stufe eines achtstreifigen Ausbaus oder nach provisorischer Verbreiterung des Querschnitts angewendet werden. Die meisten gewählten Fahrstreifenbreitenkombinationen können zudem auch auf Regelquerschnitten der Entwurfsklasse EKA 3 der RAA und alten Regelquerschnitten nach den RAS-Q (1996) untergebracht werden. Ausnahmen bilden die Verkehrsführungen 4+0 bei vierstreifigen Autobahnen, 5+1 und 5+0 bei sechsstreifigen Autobahnen sowie 6+2, 6+1 und 6+0 bei achtstreifigen Autobahnen.

Die auf den mittleren SV-Anteil bezogenen Kapazitätswerte C werden in den nachfolgenden Analysen zur Charakterisierung der zugrunde liegenden kapazitätsbeeinflussenden Randbedingungen verwendet. Für Arbeitsstellen liegen diese Werte in einer Bandbreite zwischen $C = 1.583$ Kfz/h (1-streifi-

schlangenmodell verwendet. Für die Anwendung im Arbeitsstellenmanagement werden hierfür deterministische Eingangsgrößen (Verkehrsnachfrage und Kapazität) in Stunden-Intervallen zugrunde gelegt. Da die Verwendung stochastischer Eingangsgrößen in 5-Minuten-Intervallen jedoch zu detaillierteren Ergebnissen führt und zusätzlich Aussagen zur Bandbreite der Fahrtzeitverluste aufgrund stochastischer Eigenschaften des Verkehrsablaufs ermöglicht, wurden die Zeitverluste analog zum wissenschaftlichen Anwendungsbereich des VAS berechnet.

Für alle analysierten Kombinationen der maßgebenden Einflussgrößen wurden dabei jeweils 1.000 Simulationsläufe durchgeführt. Bei jedem Simulationslauf wurde durch die Variation der Zufallskomponenten der Verkehrsnachfrage und der Kapazität die Variabilität des Überlastungsgeschehens berücksichtigt. Die Berechnung repräsentiert somit den Verkehrszustand für eine Realisierung dieser Zufallsgrößen. Durch mehrfache Wiederholung der Berechnung im Sinne einer Monte-Carlo-Simulation wird ein Schätzwert der mittleren Zeitverluste ermittelt. Im Ergebnis der Modellrechnungen lagen so für jedes Szenario Einzelwerte der Fahrtzeitverluste für jedes 5-Minuten-Intervall eines ganzen Jahres vor.

Die Monetarisierung der Fahrtzeitverluste erfolgte analog zu den Kosten aus Fahrtzeiten im fließenden Verkehr nach den in Tabelle 3-4 angegebenen Zeitkostensätzen.

Bild 3-2 zeigt für drei unterschiedliche Kapazitätswerte die ermittelten durchschnittlichen täglichen Kosten aufgrund von Fahrtzeitverlusten in Abhängigkeit vom DTV_R . Gewählt wurden hierfür Randbe-

dingungen, die bezogen auf den mittleren SV-Anteil Kapazitäten zwischen $C = 1.583$ und 7.800 Kfz/h ergeben (vgl. Kapitel 3.2.2). Darüber hinaus ist mit einer Kapazität von 3.800 Kfz/h ein weiteres Beispiel für eine zweistreifige Richtungsfahrbahn innerhalb von Ballungsräumen, mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 120 km/h und einem SV-Anteil von 10% dargestellt.

3.3.3 Kosten aus (Un-)Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs

Zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs für den Verkehrsträger Straße im Rahmen der Maßnahmenbewertung des BVWP 2030 wurde von GEISTEFELDT et al. (2014) ein Modell zur Beschreibung der Standardabweichung der Fahrtzeit, die als maßgebende Zuverlässigkeitskenngröße in einer Vorstudie (Significance et al., 2012) ausgewählt wurde, entwickelt. Das Modell beschreibt die Standardabweichung der überlastungsbedingten Fahrtzeitverluste auf Strecken von Autobahnen in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad:

$$s_{tv}(x) = \begin{cases} 0,2 \cdot (x - 0,75)^{1,7} & \text{für } x \geq 0,75 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (3-2)$$

mit

s_{tv} Standardabweichung der Fahrtzeitverluste [h]

x Auslastungsgrad [-]

Die aus Überlastungen resultierende Variabilität der Fahrtzeitverluste stellt die für die Bewertung der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs maßgebende Komponente der Standardabweichung der Fahrt-

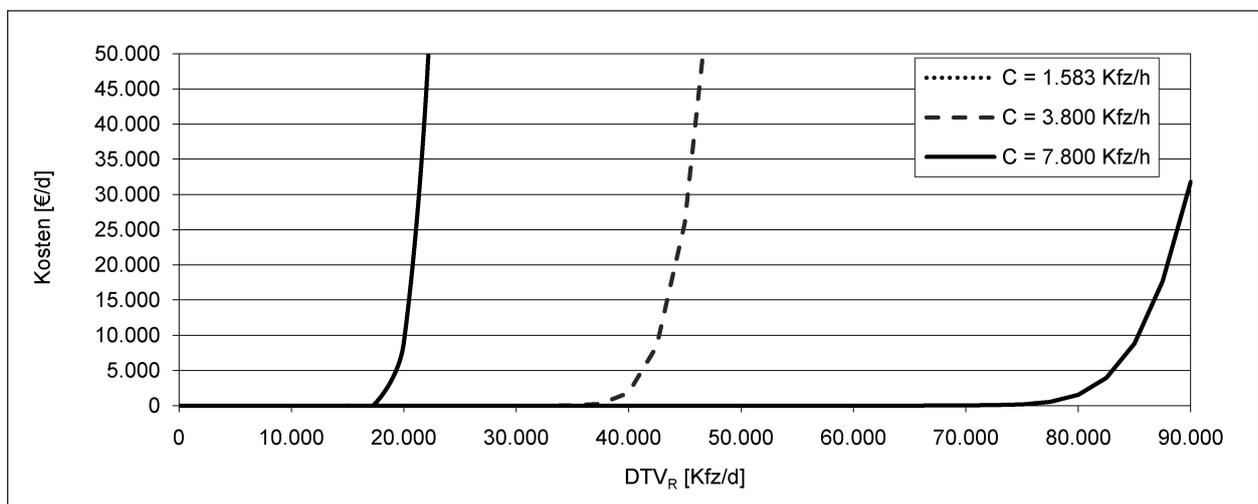


Bild 3-2: Kosten aus Fahrtzeitverlusten (nach VAS) in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10% SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3

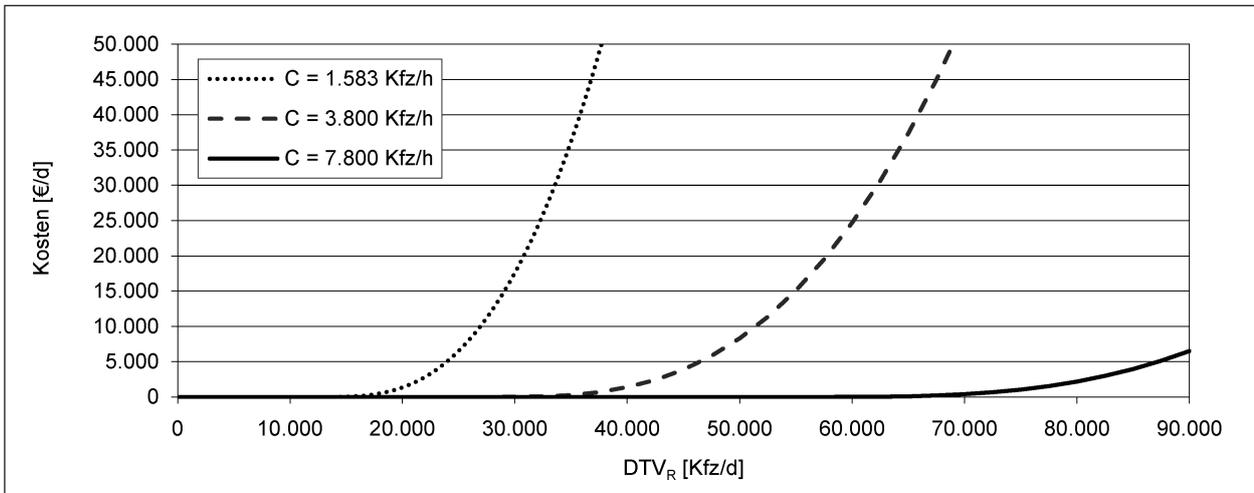


Bild 3-3: Kosten aus Zuverlässigkeit (nach BVWP) in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3

Fahrzeuggruppe	Kostensatz		
	Mo – Fr	Sa	So
LV	11,20	9,45	11,20
SV	30,10	42,35	63,35

Tab. 3-5: Kostensätze [€/(Kfz·h)] für die Standardabweichung der Fahrtzeitverluste als Zuverlässigkeitskenngröße (Annahme auf der Grundlage des BVWP 2030)

zeit dar, da die Auswirkungen von Geschwindigkeitsunterschieden im fließenden Verkehr vergleichsweise gering sind. Die ausschließliche Beschreibung der Fahrtzeitverluste anstelle der gesamten Fahrtzeit vereinfacht zudem die Modellanwendung durch eine einheitliche Behandlung des Leicht- und Schwerverkehrs.

Analog zum Verfahren des BVWP 2030 wurde für die Monetarisierung dieser Bewertungsgröße 70 % des Kostensatzes der Fahrtzeitverluste angesetzt (siehe Tabelle 3-5), d. h. 1 Stunde Standardabweichung der Fahrtzeitverluste wird mit 70 % des Kostensatzes für 1 Stunde Fahrtzeit bewertet. Bild 3-3 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der aus der Zuverlässigkeit resultierenden täglichen Kosten analog zu den weiteren Bewertungsgrößen für drei Kapazitätswerte in Abhängigkeit vom DTVR.

3.3.4 Kosten aus Unfällen

Die Ermittlung von volkswirtschaftlichen Kosten aus Unfällen erfolgte auf der Grundlage von Unfallkostenraten für verschiedene Streckentypen und verschiedene Verkehrsführungen im Bereich von Arbeitsstellen. Die Berechnung der Unfallkosten setzt

sich nach folgender Grundformel aus der jeweiligen Unfallkostenrate sowie dem DTVR und der Länge des betrachteten Abschnitts über einen definierten Zeitraum zusammen:

$$UK = UKR \cdot L \cdot DTVR \cdot t \tag{3-3}$$

mit

- UK Unfallkosten [€]
- UKR Unfallkostenrate für den betrachteten Streckentyp [€/(1.000 Kfz · km)]
- L Länge des betrachteten Abschnitts [km]
- DTVR Durchschnittlicher täglicher Verkehr auf dem betrachteten Abschnitt [Kfz/d]
- t Dauer des Analysezeitraums [d]

Für die Ermittlung von Unfallkosten auf der freien Strecke können dabei die Unfallkostenraten der RWS (BMVI, 2016b) verwendet werden, welche vom Streckentyp und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit abhängig sind.

Zur Ermittlung von Unfallkosten im Bereich von Arbeitsstellen wurden die im Rahmen des FE 01.0176/2011/HRB ermittelten Unfallkostenraten (GEISTEFELDT et al., 2016) verwendet. Da für die vier Arbeitsstellenbereiche Zulauf, Verschwenkung/Überleitung, Innenbereich und Rückverschwenkung/Rückleitung verschiedene Unfallkostenraten angegeben werden, errechnen sich die Gesamtunfallkosten nach einer Modifikation der oben angegebenen Gleichung als Addition der Unfallkosten der einzelnen Abschnitte fahrtrichtungsgetrennt wie folgt:

$$UK_{ARi} = (UKR_{Zu} \cdot 0,800 + UKR_{VÜ} \cdot L_{VÜ,St} + UKR_{Bi} \cdot (L_{ARi,g} - 2 \cdot 0,135) + UKR_{RR} \cdot 0,135) \cdot DTV_{ARi} \cdot t_A \cdot 10^{-3} \quad (3-4)$$

mit

UK_{ARi}	Unfallkosten der betrachteten Fahrtrichtung [€]
UKR_{Zu}	Unfallkostenrate für den Zulauf [€/ (1.000 Kfz · km)]
$UKR_{VÜ}$	Unfallkostenrate für die Verschwenkung bzw. Überleitung [€/ (1.000 Kfz · km)]
$L_{VÜ,St}$	Standardlänge der Verschwenkung bzw. Überleitung [km]
UKR_{Bi}	Unfallkostenrate für den Baustelleninnenbereich [€/ (1.000 Kfz · km)] $UKR_{Bi,B} \cdot f_{BFS} \cdot f_{Vzul}$
$UKR_{Bi,B}$	Basis-Unfallkostenrate für den Baustelleninnenbereich [€/ (1.000 Kfz · km)]
f_{BFS}	Faktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten [-]
f_{Vzul}	Faktor zur Berücksichtigung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit [-]
$L_{ARi,g}$	gemeldete Baustellenlänge [km]
UKR_{RR}	Unfallkostenrate für die Rückverschwenkung bzw. Rückleitung [€/ (1.000 Kfz · km)]
DTV_{ARi}	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in der betrachteten Fahrtrichtung [Kfz/d]
t_A	Einrichtungszeitraum in Tagen [d]

Die verwendeten Unfallkostenraten sind dabei abhängig von der Verkehrsführung und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Einfluss auf die Unfallkostenrate haben im Detail folgende Eigenschaften der Verkehrsführung:

- Anzahl der Fahrstreifen,
- Vorhandensein einer Überleitung oder Fahrbahnteilung,
- Vorhandensein einer Fahrstreifenreduktion,

- Standardlänge der Verschwenkung bzw. Überleitung und
- Breiten der einzelnen Fahrstreifen.

Die Unfallkostenraten nach den RWS (BMVI, 2016b), die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung relevant sind, sowie die Unfallkostenraten für alle betrachteten Verkehrsführungen und die Faktoren zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nach GEISTEFELDT et al. (2016) sind im Anhang B dargestellt.

In Bild 3-4 sind für eine Arbeitsstellenlänge von 3 km die Unfallkosten für die Verkehrsführungen mit den höchsten und niedrigsten Unfallkosten (4+3-Verkehrsführung auf der Seite der Fahrstreifenreduktion bzw. 3+1-Verkehrsführung auf der Seite der Fahrbahnteilung) in Abhängigkeit vom DTV_R dargestellt. Als weitere Annahmen wurde von Behelfsfahrstreifenbreiten $b_{Lkw} \geq 3,25$ m und $b_{Pkw} \geq 2,60$ m und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen. Da der DTV_R als lineare Größe in die Gleichung eingeht, ergibt sich im Gegensatz zu den Kosten aus Fahrzeitverlusten auch ein linearer Verlauf der Kurve. Die Länge der Arbeitsstelle geht wie der DTV_R als lineare Größe in die Gleichung ein. Hierdurch hat die Länge einen deutlich größeren Einfluss auf die Unfallkosten als die verschiedenen Unfallkostenraten der einzelnen Verkehrsführungen.

Für die Ermittlung der Unfallkosten ergibt sich für den Anwender mit dem exakten Verfahren aufgrund zusätzlicher Eingangsgrößen ein erhöhter Aufwand bei der Ermittlung der Nutzungsausfallkosten. Aus diesem Grund wird zur Ableitung der Nutzungsausfallkosten ein vereinfachtes Modell vorgeschlagen, welches für alle Verkehrsführungen und Arbeitsstellenlängen gilt. Hierfür wurde für eine Arbeitsstellenlänge von 3 km der Mittelwert aus den Unfallkosten aller Verkehrsführungen in Abhängigkeit vom DTV_R gebildet. Die Länge von 3 km wurde analog zu der Berechnung der Kosten aus Fahrzeiten im fließenden Verkehr als ungefährender Mittelwert der Längen aller Arbeitsstellenverkehrsführungen auf Bundesautobahnen aus den Baubetriebsmeldungen der Jahre 2003 – 2012 gewählt (vgl. GEISTEFELDT et al., 2016). Die vereinfachten Ansätze zur Ermittlung der Unfallkosten ohne und mit Arbeitsstelle lauten demnach:

$$UK_{ohneAS} = 0,0510 \cdot DTV_R \quad (3-5)$$

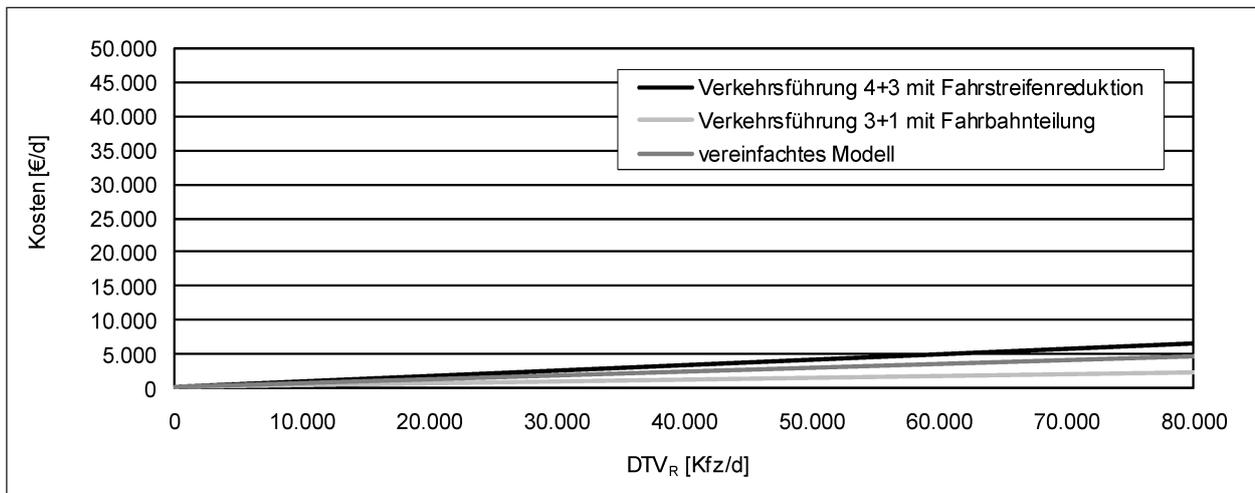


Bild 3-4: Kosten aus Unfällen (Beispiel mit unterschiedlichen Verkehrsführungen und vereinfachtes Modell)

$$UK_{\text{mitAS}} = 0,0585 \cdot DTV_R \quad (3-6)$$

mit

UK_{ohneAS} Unfallkosten im Fall ohne Arbeitsstelle [€/d]

UK_{mitAS} Unfallkosten im Fall mit Arbeitsstelle [€/d]

DTV_R richtungsbezogener durchschnittlicher täglicher Verkehr [Kfz/d]

Für den Zustand ohne Arbeitsstelle wurde davon ausgegangen, dass keine Geschwindigkeitsbeschränkung vorliegt.

Die Kosten aus Unfällen anhand des vereinfachten Modells im Fall mit Arbeitsstelle sind ebenfalls in Bild 3-4 eingetragen. In Kapitel 4.2 erfolgt ein Vergleich der Berechnungen mit dem exakten sowie mit dem vereinfachten Ansatz, welcher die hinreichende Genauigkeit des vereinfachten Ansatzes aufzeigt.

3.3.5 Kosten aus Kraftstoffverbrauch

Verfahren des VAS

Zur Berechnung der Kraftstoffkosten nach dem Verfahren des VAS werden als Eingangsgrößen die Verkehrsnachfrage und die Kapazität in Stunden-Intervallen verwendet, um die Fahrleistung im Stau zu berechnen. Dazu wird die mittlere Rückstaulänge in jedem Intervall abhängig davon, ob sich der Stau in diesem Intervall bildet, bestehen bleibt oder auflöst, bestimmt. Somit werden die Auswirkungen der

Überlastungen in vorherigen Intervallen auf die folgenden Intervalle mit einbezogen, sodass die Entwicklung des Rückstaus berücksichtigt wird. Um aus der Fahrleistung den Kraftstoffverbrauch berechnen zu können, werden die spezifischen Kraftstoffverbrauchsfaktoren der RWS (BMVI, 2016b) verwendet. Diese liegen für die Fahrzeuggruppen Leicht- und Schwerverkehr und für den Leichtverkehr unterteilt in die Kraftstoffarten Benzin und Diesel für verschiedene Streckentypen von Autobahnen in Abhängigkeit von der Längsneigungsklasse und der Verkehrszustandsstufe vor. Die Unterscheidung des Leichtverkehrs nach Kraftstoffart (Benzin und Diesel) ist in den Faktoren bereits berücksichtigt, sodass die Fahrleistung nicht differenziert werden muss.

Die Zuordnung zu einer der sechs Verkehrszustandsstufen erfolgt in Anlehnung an die Berechnung im VAS, sodass für die ermittelte Fahrleistung im Stau die Faktoren der Verkehrszustandsstufe 5 verwendet werden. Somit kann aus der Fahrleistung $[(\text{Kfz} \cdot \text{km})/a]$, dem spezifischen Kraftstoffverbrauchsfaktor $[\text{g}/(\text{Kfz} \cdot \text{km})]$ und der Umrechnung von Gramm in Tonnen der Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuggruppe $[\text{t}/a]$ berechnet werden. Die Kraftstoffkosten ergeben sich folglich aus dem fahrleistungsabhängigen Verbrauch der jeweiligen Kraftstoffart, einem Faktor zur Umrechnung des Kraftstoffverbrauchs von Masse auf Volumen und dem Kraftstoffkostensatz für Benzin bzw. Diesel [€/l] nach den RWS (siehe Tabelle 3-6).

Analog zur Bewertungsgröße Fahrtzeitverluste sind in Bild 3-5 die durchschnittlichen täglichen Kosten aufgrund des Kraftstoffverbrauchs in Abhängigkeit

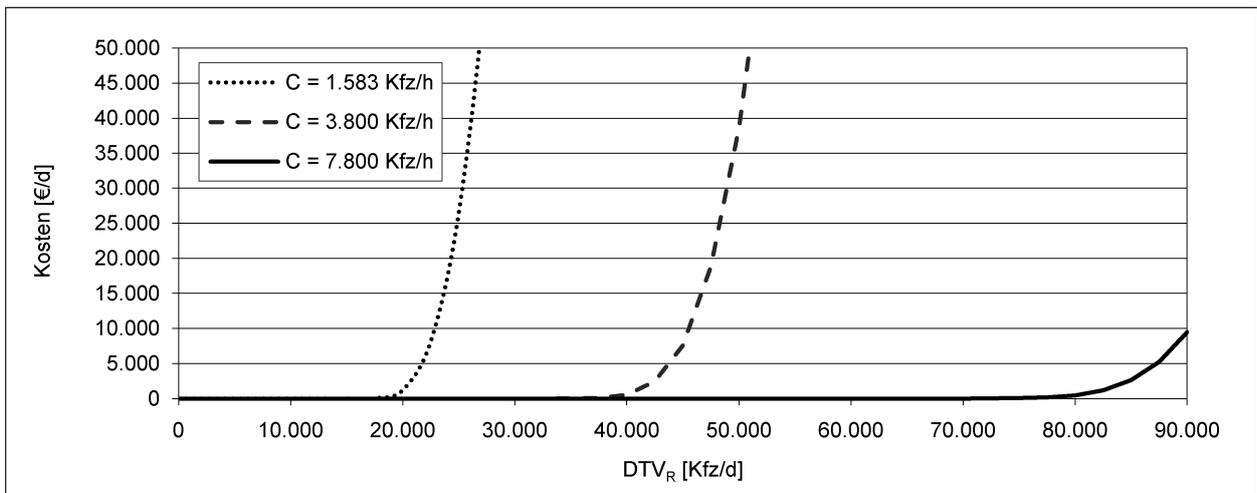


Bild 3-5: Kosten aus Kraftstoffverbrauch (nach VAS) im Stau in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3

Kraftstoffart	Kostensatz
Benzin	0,77
Diesel	0,84

Tab. 3-6: Kostensätze [€/l] für Kraftstoffverbrauch nach dem Entwurf der RWS (BMVI, 2016b)

vom DTV_R exemplarisch für drei Kapazitätswerte dargestellt, um die Bandbreite der Ergebnisse zu zeigen. Um die Werte als längenunabhängige Größen vergleichen zu können, erfolgte die Berechnung hierbei ausschließlich unter Einbeziehung der Fahrleistung im Stau.

Verfahren der RWS

Die Fahrleistung wird nach den RWS als das aufsummierte Produkt aus Verkehrsnachfrage und einer festgelegten Streckenlänge definiert. Somit wird eine gesamte jährliche Fahrleistung der jeweiligen Fahrzeuggruppe berechnet, die anteilig in die Fahrleistung der einzelnen sechs Verkehrszustandsstufen unterteilt wird. Die Zuordnung zu den Verkehrszustandsstufen 1 bis 6 erfolgt dabei basierend auf Stunden-Intervallen über den Auslastungsgrad. Demnach werden die einzelnen Intervalle detailliert unterteilt und sämtliche Verkehrszustandsstufen in die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs miteinbezogen. Die Entwicklung des Verkehrsflusses über die einzelnen Intervalle hinaus wird jedoch nicht berücksichtigt. Die jeweiligen spezifischen Kraftstoffverbrauchsfaktoren für die Verkehrszustandsstufen [$g/(Kfz \cdot km)$] ergeben multipliziert mit der entsprechenden anteiligen Fahrleistung der Fahrzeuggruppe und der Umrechnung von Gramm in Tonnen den

Kraftstoffverbrauch pro Jahr. Daraus werden mit einem Faktor zur Umrechnung des Kraftstoffverbrauchs von Masse auf Volumen und dem Kraftstoffkostensatz für Benzin bzw. Diesel [€/l] die Kraftstoffkosten pro Jahr nach den RWS bestimmt (siehe Tabelle 3-6).

Vergleich der Verfahren des VAS und der RWS

Die Ermittlung der Bewertungsgröße Kraftstoffverbrauch erfolgte sowohl mit dem Verfahren des VAS als auch mit dem Verfahren nach den RWS. Um einen Vergleich der Verfahren zu ermöglichen, wurde sowohl die Fahrleistung im Stau als auch die auf eine festgelegte Länge bezogene Fahrleistung im fließenden Verkehr berücksichtigt. In Bild 3-6 werden die Werte exemplarisch für eine Streckenlänge von 10 km dargestellt.

Die beiden Verfahren zeigen im Bereich geringer Verkehrsnachfrage keine Unterschiede in den Ergebnissen. Im Bereich höherer Verkehrsnachfrage unterscheiden sich die Werte deutlich, wobei die Kosten nach VAS bei starker Überlastung weit über denen nach den RWS liegen. Begründet ist dies in der Berücksichtigung der Entwicklung von Stauereignissen im Verfahren des VAS. Während nach den RWS die Verkehrszustandsstufen intervallgenau unabhängig von Vor- oder Folgeintervallen ermittelt werden, geht in das Verfahren des VAS mit ein, dass sich ein Stau ggf. noch abbaut, während die Verkehrsnachfrage die Kapazität schon wieder unterschritten hat. Für die weiteren Analysen dieser Bewertungsgröße wurde daher das genauere Verfahren des VAS verwendet. Da die durchschnittlichen täglichen Kosten durch Kraftstoffverbrauch

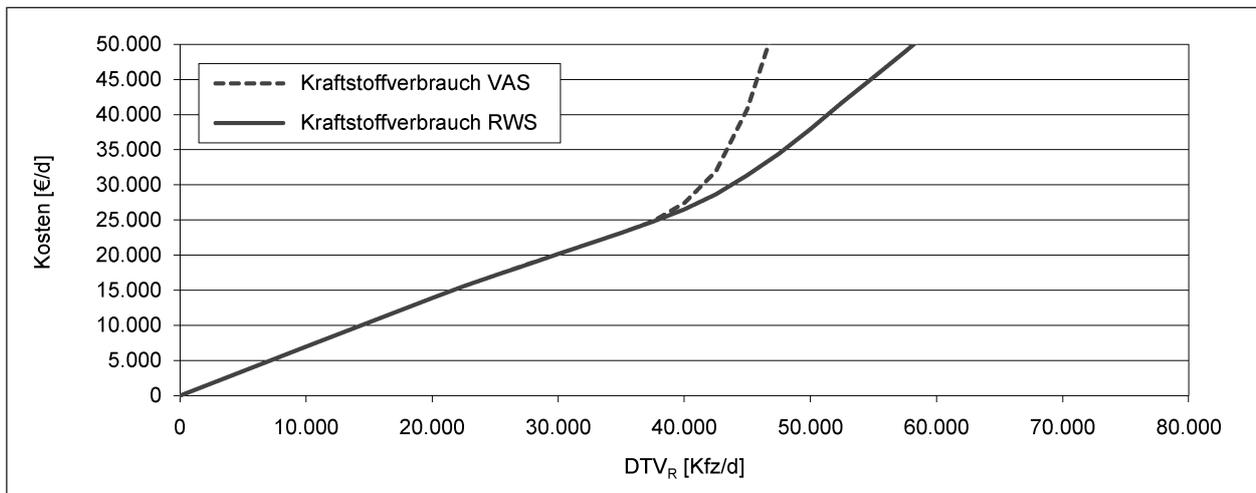


Bild 3-6: Kosten aus Kraftstoffverbrauch (Vergleich zwischen den Verfahren des VAS und der RWS; Beispiel: Streckenlänge 10 km, Kapazität C = 3.800 Kfz/h)

unabhängig von der Länge der Untersuchungsstrecke ermittelt werden sollen, erfolgte die Berechnung ausschließlich unter Einbeziehung der Fahrleistung im Stau.

3.3.6 Kosten aus Schadstoffbelastung

Verfahren des VAS

Analog zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs im VAS wird zur Ermittlung der Kosten durch Schadstoffbelastung abhängig von der Verkehrsnachfrage und der Kapazität zunächst die Fahrleistung im Stau berechnet, die sich aus der mittleren Rückstaulänge und der Verkehrsnachfrage pro Stunden-Intervall ergibt. Mittels spezifischer Emissionsfaktoren nach den RWS, die für unterschiedliche Schadstoffkomponenten für den Leicht- und Schwerverkehr abhängig von der Längsneigungs-klasse und der Verkehrszustandsstufe für verschiedene Strecken auf Autobahnen vorliegen, und der Umrechnung von Gramm in Tonnen werden jährliche Abgasemissionen [t/a] ermittelt. Dabei werden die drei Schadstoffkomponenten NO_x (Stickstoffoxide), SO₂ (Schwefeldioxid) und NH₃ (Ammoniak) zur Berechnung der Kosten für Vegetationsschäden berücksichtigt. Auch hier werden für die Fahrleistung im Stau die spezifischen Emissionsfaktoren der Verkehrszustandsstufe 5 verwendet. Durch die Multiplikation von Abgasemissionen [t/a] und Kostensätzen [€/t] der jeweiligen Schadstoffkomponente erfolgt die Berechnung von jährlichen Kosten für Vegetationsschäden durch Abgasemissionen (siehe Tabelle 3-7).

Schadstoffkomponente	Kostensatz
NO _x	2.700
SO ₂	700
NH ₃	8.600

Tab. 3-7: Kostensätze [€/t] für Vegetationsschäden durch Schadstoffbelastungen nach dem Entwurf der RWS (BMVI, 2016b)

In Bild 3-7 sind die Ergebnisse der aus dieser Bewertungsgröße resultierenden täglichen Kosten analog zu den Bewertungsgrößen Fahrtzeitverluste und Kraftstoffverbrauch für drei Kapazitätswerte in Abhängigkeit vom DTVR dargestellt.

Verfahren der RWS

Die Berechnung der Kosten für Vegetationsschäden durch Schadstoffbelastung nach den RWS erfolgt analog zur Berechnung der Kraftstoffkosten. Der ermittelte Anteil der gesamten, auf eine zuvor festgelegte Länge bezogenen Fahrleistung an den jeweiligen Verkehrszustandsstufen von 1 bis 6 wird für die Berechnung der Abgasemissionen gleichermaßen verwendet. Das Produkt aus dem Anteil der Fahrleistung der Verkehrszustandsstufe an der Gesamtfahrleistung, der Gesamtfahrleistung [(Kfz•km)/a], dem spezifischen Emissionsfaktor der jeweiligen Verkehrszustandsstufe [g/(Kfz•km)] und der Umrechnung von Gramm in Tonnen ergibt für die Fahrzeuggruppen Leicht- und Schwerverkehr in die Schadstoffkomponenten unterteilte Abgasemissionen [t/a]. Aufsummiert können daraus mittels der Kostensätze [€/t] für die drei Schadstoffkomponen-

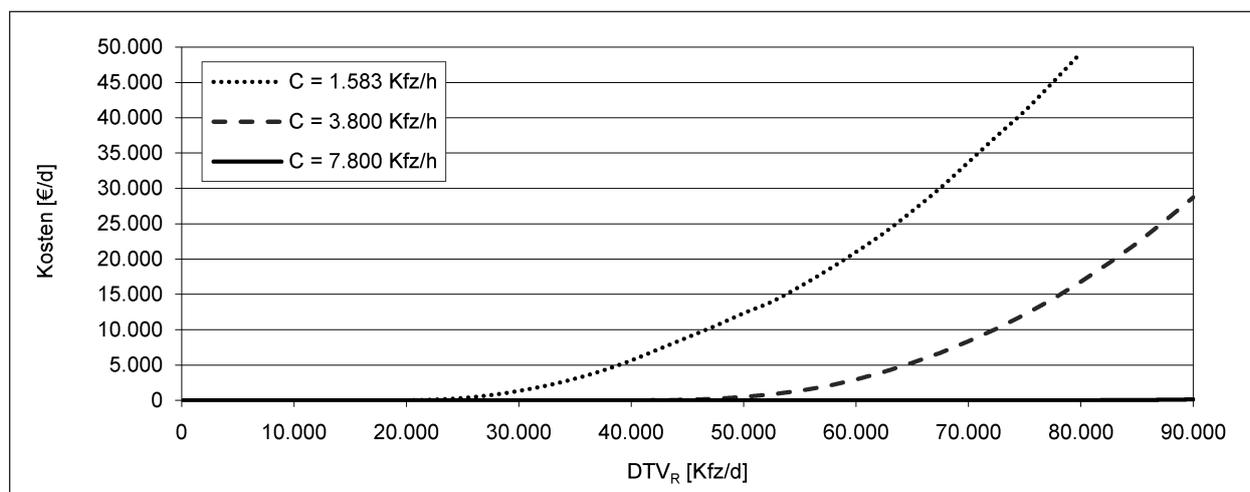


Bild 3-7: Kosten aus Schadstoffbelastung im Stau (nach VAS) in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3

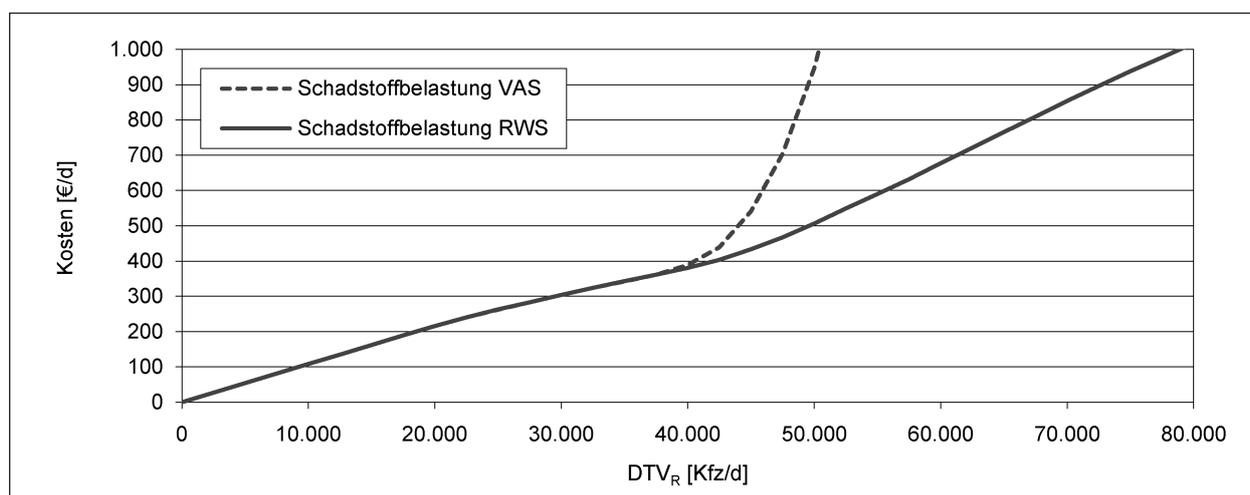


Bild 3-8: Kosten aus Schadstoffbelastung (Vergleich zwischen den Verfahren des VAS und der RWS; Beispiel: Streckenlänge 10 km, Kapazität $C = 3.800$ Kfz/h)

ten die Kosten für Vegetationsschäden durch Abgasemissionen ermittelt werden (siehe Tabelle 3-7).

Vergleich der Verfahren des VAS und der RWS

Analog zu den Fahrtzeitverlusten und dem Kraftstoffverbrauch erfolgte die Ermittlung der Schadstoffbelastung sowohl mit dem Verfahren des VAS als auch mit dem Verfahren nach den RWS. Zur Darstellung des Vergleichs wurde auch hier die Berechnung unter Einbeziehung der Fahrleistung im Stau und im fließenden Verkehr für eine Länge von 10 km durchgeführt. In Bild 3-8 sind die Ergebnisse der aus dieser Bewertungsgröße resultierenden täglichen Kosten beider Verfahren gegenübergestellt. Wie sich bereits beim Kraftstoffverbrauch zeigte, führt die Berücksichtigung der Entwicklung

von Stauereignissen im Verfahren des VAS zu deutlichen Unterschieden im Bereich hoher Verkehrsstärken. Daher wurde auch hier das genauere Verfahren des VAS angewandt. Dabei wurden die Kosten für eine längenunabhängige Bewertung ebenfalls analog lediglich basierend auf der Fahrleistung im Stau ermittelt.

3.3.7 Verortung der Bewertungsgrößen

Die betrachteten Bewertungsgrößen beziehen sich auf unterschiedliche Orte einer Strecke. Diese sind in Bild 3-9 für einen Engpass an einer Arbeitsstelle skizziert. Während die Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs ausschließlich vom Auslastungsgrad am Engpass abhängig ist, werden die Fahrtzeitverluste, der Kraftstoffverbrauch und die Schadstoff-

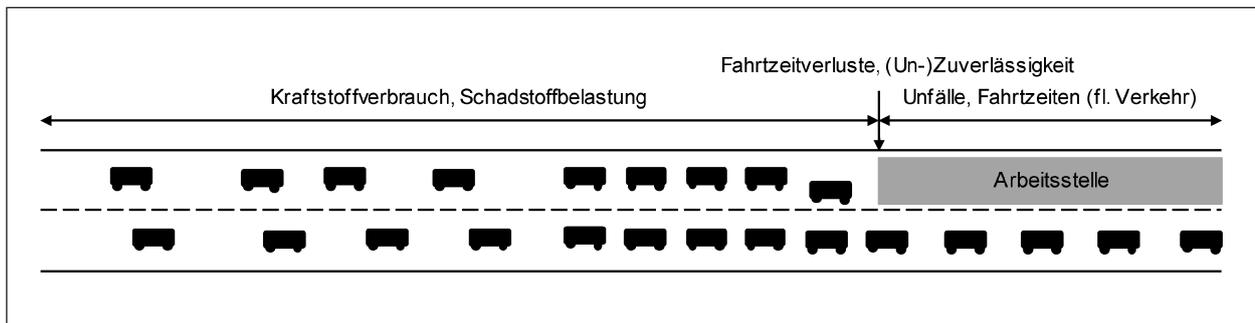


Bild 3-9: Verortung der Bewertungsgrößen

belastung anhand der fiktiven Rückstaulänge ermittelt, die sich nach dem zugrunde liegenden Warteschlangenmodell ergibt und ebenfalls vom Auslastungsgrad abhängig ist. Die Fahrzeitverluste beziehen sich daher auch auf den Engpass. Für den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffbelastung wird zusätzlich die Fahrleistung im Stau benötigt. Daher wird die Staulänge anhand der fiktiven Rückstaulänge des Warteschlangenmodells mit einer mittleren Dichte im Stau von 30 Kfz/km je Fahrstreifen geschätzt. Die Kosten aus Fahrzeiten im fließenden Verkehr und Unfällen beziehen sich hingegen auf die Länge der Arbeitsstelle und sind daher unabhängig von Überlastungen im Zulauf.

4 Einflüsse auf die Nutzungsausfallkosten

4.1 Auswirkungen der betrachteten Randbedingungen

Nutzungsausfallkosten ergeben sich aus der Differenz der volkswirtschaftlichen Kosten im Zustand mit und ohne Arbeitsstelle. Für eine Beispielmaßnahme wurden zunächst repräsentative Kombinationen von Bewertungsgrößen analysiert und Parameterstudien durchgeführt, um die Sensitivität der Berechnungsergebnisse – insbesondere hinsichtlich der Fahrzeitverluste – in Abhängigkeit von einzelnen Randbedingungen zu ermitteln. Dafür wurde die Verkehrsführung (VF) 4+0 mit zwei Fahrstreifen je Richtung, die auf einer Fahrbahn geführt werden, gewählt. Betrachtet wird die Richtung mit übergeleiteten Fahrstreifen.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, wurde anhand einer Ganzjahresanalyse der Zusammenhang zwischen dem richtungsbezogenen durchschnittlichen täglichen Verkehr DTV_R und den einzelnen Bewertungs-

größen berechnet und analysiert. Für die Beispielmaßnahme wurden die aus den Bewertungsgrößen resultierenden volkswirtschaftlichen Kosten sowohl für den Mit-Fall (mit Arbeitsstelle) als auch die Differenz der Kosten zum Ohne-Fall (d. h. die Mehrkosten aufgrund der Arbeitsstelle) ermittelt.

Verkehrsnachfrage

Die Höhe der Verkehrsnachfrage hat einen deutlichen Einfluss auf die resultierenden Kosten aller betrachteten Bewertungskomponenten. Die Ermittlung von Nutzungsausfallkosten erfordert daher – wie in der bisherigen Nutzungsausfallkostentabelle – eine Differenzierung nach DTV-Klassen.

Der Vergleich der ermittelten Fahrzeitverluste für die beiden in Kapitel 3.2.1 gewählten Ganglinienkombinationen in Bild 4-1 zeigt einen deutlichen Einfluss der Verteilung der Verkehrsnachfrage. Daher wurden die Berechnungen für zwei unterschiedliche Verteilungen, d. h. sowohl für Strecken mit einem weitestgehend ausgeglichenen Verlauf der Verkehrsnachfrage über das Jahr (GLK 1/1/3/3/3) als auch für Strecken mit deutlichen Verkehrsspitzen in Ferien- und Feiertagswochen (GLK 2/1/3/3/3), durchgeführt.

Im Ergebnis der Modellrechnungen lagen für jedes Szenario Einzelwerte der Fahrzeitverluste für jedes 5-Minuten-Intervall eines ganzen Jahres vor. So konnten zusätzlich zu den durchschnittlichen täglichen Kosten Einflüsse aus der Jahresganglinie der Verkehrsnachfrage analysiert werden.

Bild 4-2 zeigt für die Beispielmaßnahme und einen DTV von 35.000 Kfz/h den zeitlichen Verlauf der Kosten aus Fahrzeitverlusten. Hierbei wird deutlich, dass die täglichen Kosten über das Jahr erheblich variieren. Daher wurde der zeitliche Verlauf der Kosten aus Fahrzeitverlusten in weiteren Analysen vertiefend betrachtet (vgl. Kapitel 4.3).

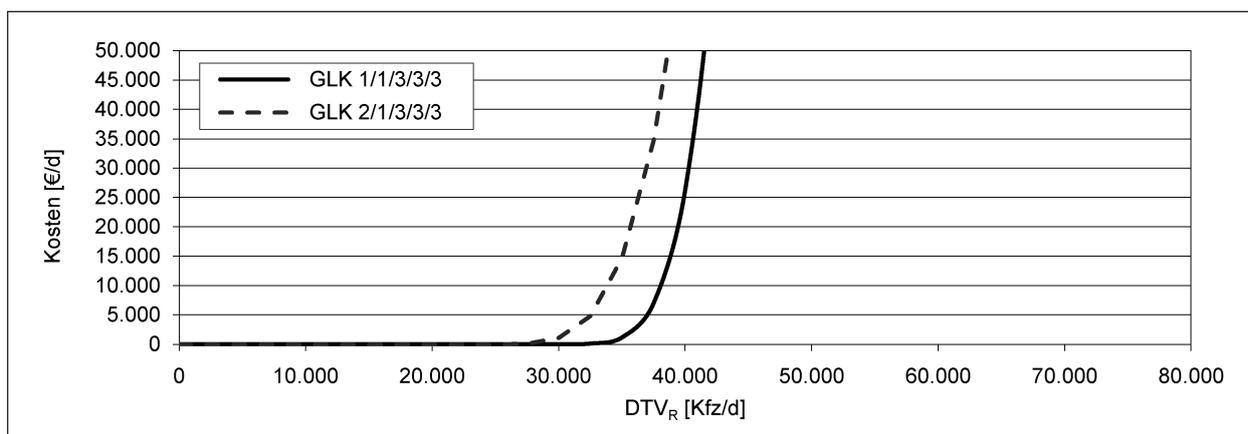


Bild 4-1: Kosten aus Fahrzeitverlusten im Vergleich der GLK 1/1/3/3/3 und 2/1/3/3/3 (Beispielmaßnahme VF 4+0)

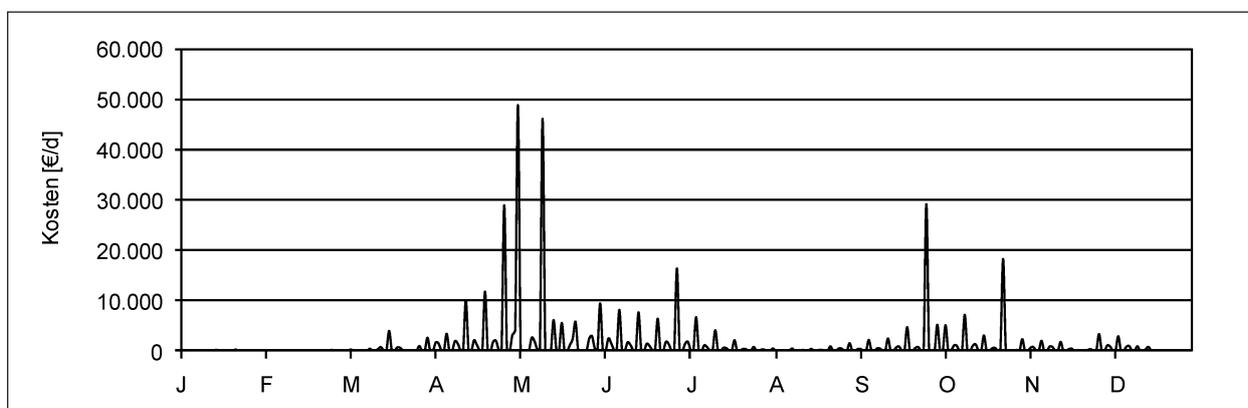


Bild 4-2: Zeitlicher Verlauf der Kosten aus Fahrzeitverlusten über das Jahr (Beispielmaßnahme VF 4+0 mit einem DTV von 35.000 Kfz/d)

Kapazität

Da die Kapazität einer Strecke mit zunehmendem SV-Anteil abnimmt, kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der Kapazitätsüberschreitungen und somit die Höhe der Kosten aus Fahrzeitverlusten mit zunehmendem mittleren SV-Anteil ansteigt. Der angesetzte mittlere SV-Anteil wirkt sich allerdings nicht nur auf die Ermittlung der Kapazität in Abhängigkeit vom SV-Anteil im Stunden-Intervall, sondern auch auf die Aufteilung der Verkehrsnachfrage in Leicht- und Schwerverkehr aus. Da die Spitzen der Verkehrsnachfrage im Leichtverkehr (Beispiel: montags Typ 1 mit Morgenspitze zwischen 7 und 8 Uhr) und Schwerverkehr (montags einheitlicher Ganglinientyp mit Spitze zwischen 11 und 12 Uhr) zu unterschiedlichen Zeiten auftreten, kann ein höherer mittlerer SV-Anteil eine Verringerung der Gesamtverkehrsnachfrage in der Morgen- und Nachmittagsspitze bewirken. Durch die gleichmäßigere Verteilung der Verkehrsnachfra-

ge kommt es unter Umständen somit zu weniger Kapazitätsüberschreitungen.

Um zu untersuchen, ob sich die beiden genannten Sachverhalte gegenseitig aufheben oder zumindest abschwächen, wurde der Einfluss des SV-Anteils auf die ermittelten Kosten aus Fahrzeitverlusten für mittlere SV-Anteile von 10 % und 20 % überprüft. Bild 4-3 zeigt für die Beispielmaßnahme VF 4+0, dass die Auswirkungen des SV-Anteils auf die Kapazität einen größeren Einfluss auf die Höhe der Fahrzeitverluste und somit auf die damit verbundenen Kosten haben als die Auswirkungen des SV-Anteils auf die zeitliche Verteilung der Verkehrsnachfrage. Die beiden Einflüsse heben sich somit nicht vollständig auf. Das Ausmaß des Anstiegs der Kosten aus Fahrzeitverlusten mit zunehmendem mittleren SV-Anteil wird durch die gleichmäßigere Verteilung der Verkehrsnachfrage jedoch deutlich abgeschwächt.

Der Vergleich der Ergebnisse der Szenarien innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen zeigt ebenfalls Unterschiede in den täglichen Kosten aus Fahrzeitverlusten (vgl. Bild 4-4). Erwartungsgemäß führt die niedrigere Kapazität bei Strecken außerhalb von Ballungsräumen in allen Kapazitätsszenarien zu einem schnelleren Anstieg der Kosten.

4.2 Anteile der betrachteten Bewertungsgrößen

Die einzelnen Bewertungsgrößen wurden für die Beispielmaßnahme VF 4+0 gegenübergestellt. Bild 4-5 zeigt die Differenzen der volkswirtschaftlichen Kosten der einzelnen Bewertungsgrößen im Zu-

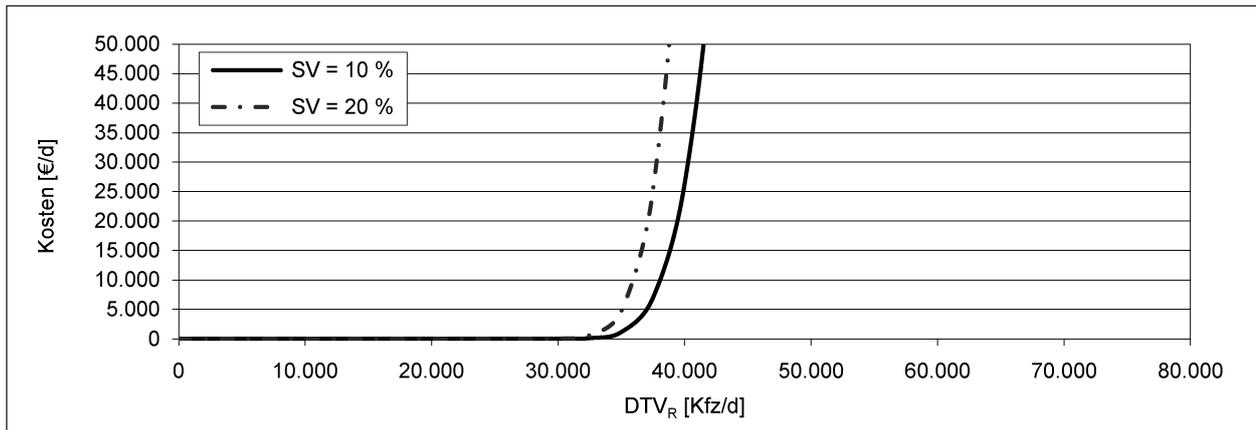


Bild 4-3: Kosten aus Fahrzeitverlusten im Vergleich mittlerer SV-Anteile von 10 % und 20 % (Beispielmaßnahme VF 4+0)

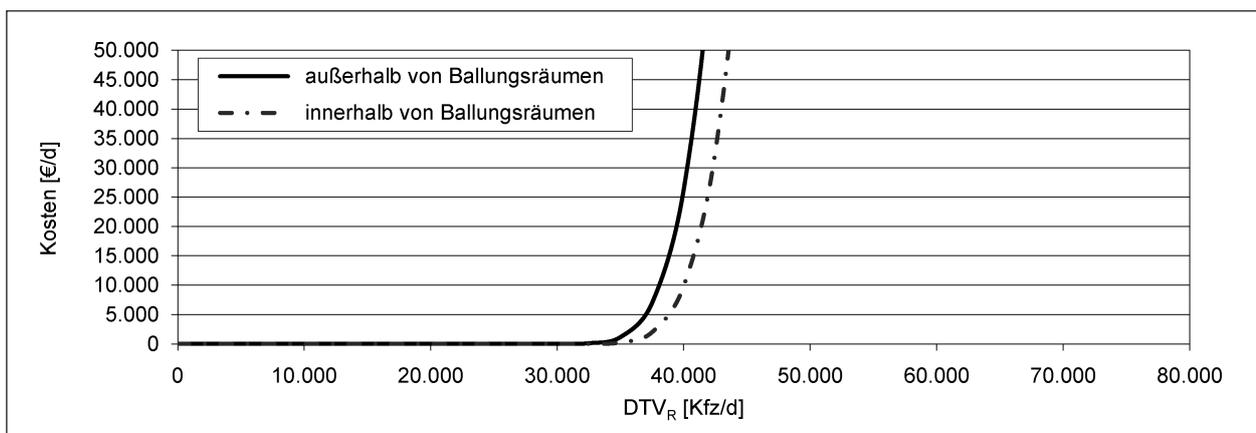


Bild 4-4: Kosten aus Fahrzeitverlusten für Strecken innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen (Beispielmaßnahme VF 4+0)

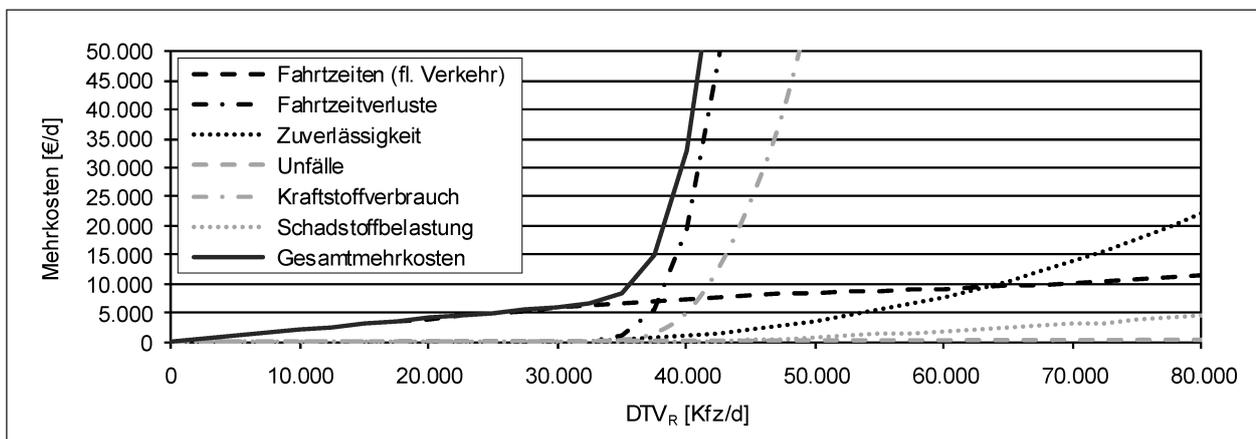


Bild 4-5: Mehrkosten aller Bewertungsgrößen (Beispielmaßnahme VF 4+0)

stand mit und ohne Arbeitsstelle (im Weiteren nur noch als „Mehrkosten“ bezeichnet) sowie die Summe der Mehrkosten in Abhängigkeit vom DTV_R im Vergleich. Die Skalierung der y-Achse wurde dabei auf 50.000 €/d begrenzt.

Da die Größen Fahrzeitverluste, Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs, Kraftstoffverbrauch und Schadstoffbelastung jeweils von der Kapazität und somit vom Auslastungsgrad abhängig sind, ist der grundsätzliche Verlauf dieser Kurven ähnlich. Erst wenn das Verhältnis von Kapazität zu DTV_R einen bestimmten Wert erreicht, werden zunächst geringe und dann mit zunehmendem DTV_R immer stärker ansteigende Mehrkosten ermittelt. Hierbei ergeben sich für die Fahrzeitverluste mit Abstand die höchsten Mehrkosten, darüber hinaus haben auch der Kraftstoffverbrauch sowie in einem Übergangsbereich die Veränderung der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs einen nennenswerten Anteil an den Mehrkosten.

Die Ermittlung der Kosten aus Fahrzeiten im fließenden Verkehr erfolgt anhand von Fahrtgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke. Ab einem Auslastungsgrad von 1, d. h. im Zustand der Überlastung, werden jedoch feste Fahrtgeschwindigkeiten angesetzt, sodass die aus dieser Bewertungsgröße entstehenden Mehrkosten insgesamt einen annähernd linearen Verlauf annehmen. Vor allem für geringe DTV_R -Werte ergeben sich die Gesamtmehrkosten im Wesentlichen aus der Veränderung der Fahrzeiten infolge der Geschwindigkeitsbeschränkung im Arbeitsstellenbereich.

Bei der Gleichung zur Ermittlung der Unfallkosten handelt es sich um ein lineares Modell, sodass sich

in Abhängigkeit vom DTV_R linear ansteigende Mehrkosten ergeben, welche insgesamt deutlich unter den Mehrkosten für die übrigen Bewertungsgrößen liegen.

Bild 4-6 zeigt ergänzend für die Beispielmaßnahme eine Darstellung des Anteils der Mehrkosten der einzelnen Bewertungsgrößen an den Gesamtmehrkosten. Zunächst wird deutlich, dass die Kosten aus der Veränderung der Schadstoffbelastung und des Unfallgeschehens jeweils einen sehr geringen Anteil an den Gesamtmehrkosten aufweisen. Auch die Kosten aus der Veränderung der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs sind im Verhältnis zu den Kosten der übrigen Bewertungskomponenten gering. Aufgrund des grundlegend unterschiedlichen Verlaufs der Kurven der Mehrkosten durch die Veränderung des Unfallgeschehens und der Fahrzeiten im fließenden Verkehr einerseits und durch die Veränderung der Fahrzeitverluste, der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs, des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffbelastung andererseits ergeben sich Bereiche,

- in denen die Mehrkosten aus Fahrzeiten im fließenden Verkehr einen Hauptanteil an den Mehrkosten haben (bei geringen und mittleren Auslastungsgraden),
- in denen die Mehrkosten aus Fahrzeiten und die übrigen Mehrkosten ähnlich hoch sind (bei Auslastungsgraden um den Wert 1,0) und
- in denen die Mehrkosten aus überlastungsbedingten Fahrzeitverlusten den wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten haben (bei Auslastungsgraden deutlich über 1,0).

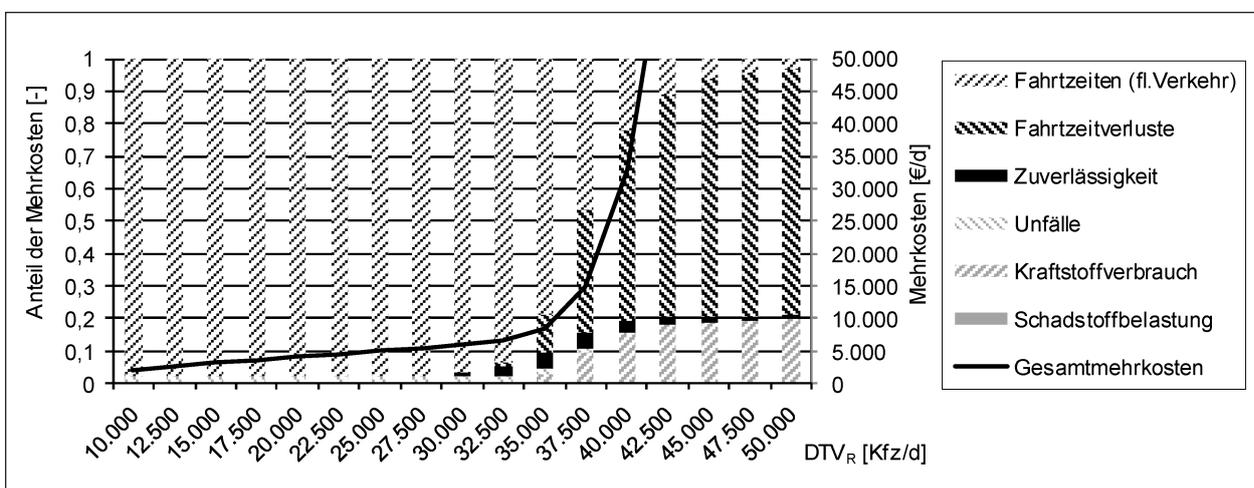


Bild 4-6: Anteile der Mehrkosten aller Bewertungsgrößen (Beispielmaßnahme VF 4+0)

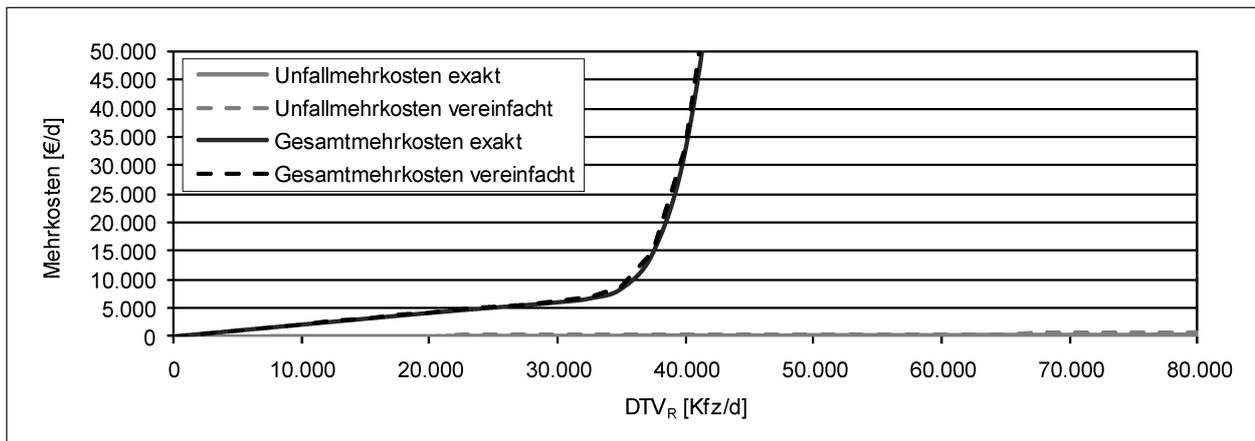


Bild 4-7: Auswirkung der Modellvereinfachung für die Unfallkostenberechnung (Beispielmaßnahme VF 4+0)

Bei Gesamtmehrkosten von bis zu ca. 7.000 €/d haben die Kosten aus Fahrtzeiten im fließenden Verkehr den Hauptanteil an den Gesamtmehrkosten für die Beispielmaßnahme. Für hohe DTV_R -Werte ergibt sich der Verlauf der Gesamtmehrkosten im Wesentlichen aus dem starken Anstieg der Kosten aus überlastungsbedingten Fahrtzeitverlusten.

Bild 4-7 zeigt für die Beispielmaßnahme die Auswirkungen des vereinfachten Ansatzes zur Ermittlung der Mehrkosten aus der Veränderung des Unfallgeschehens auf die Gesamtkosten. Es wird deutlich, dass durch den vereinfachten Ansatz die exakten Unfallmehrkosten teilweise über- und teilweise unterschätzt werden. Die Summe der Differenzen liegt jedoch nur bei maximal ca. 1.300 €/d. Da die Unfallkosten insgesamt einen geringen Anteil an den Gesamtmehrkosten haben, ist der Einfluss einer solchen Abweichung generell gering. Da bei Anwendung des exakten Verfahrens zur Berechnung der Unfallmehrkosten die Arbeitsstellenlänge und für jede Verkehrsführung vier verschiedene Unfallkostenraten für Vorlauf, Überleitung, Innenbereich und Rücklauf berücksichtigt werden müssten, wird das vereinfachte Modell als sinnvoller Kompromiss zwischen Genauigkeit und Anwenderfreundlichkeit der Nutzungsausfallkostentabellen angesehen.

Für die weiteren Analysen und die Ableitung von Nutzungsausfallkosten werden alle betrachteten Bewertungsgrößen berücksichtigt.

4.3 Berücksichtigung saisonaler Einflüsse

In Kapitel 4.1 wurde anhand der Beispielmaßnahme gezeigt, dass die täglichen Kosten aus Fahrt-

zeitverlusten über das Jahr deutlich variieren (vgl. Bild 4-1). Durchschnittliche tägliche Nutzungsausfallkosten bilden somit lediglich einen groben Mittelwert über das Jahr ab.

Im Ergebnis der Modellrechnungen lagen für jedes Kapazitäts- und Verkehrsnachfrageszenario Einzelwerte der Nutzungsausfallkosten für jedes 5-Minuten-Intervall des Untersuchungszeitraums vor. Die Summe der Kosten wurde jeweils durch die Anzahl der Tage des Untersuchungszeitraums (hier: 365 Tage) geteilt. Darüber hinaus wurden die durchschnittlich in den einzelnen Monaten des Jahres anfallenden Kosten analysiert. Durch das Verhältnis der monatsbezogenen Werte zu den jahresbezogenen Werten konnten Faktoren ermittelt werden, die eine Umrechnung der Jahresdurchschnittswerte in Monatswerte ermöglichen.

Bild 4-8 zeigt das Verhältnis der monatsbezogenen Werte zu den Jahresdurchschnittswerten für Ganglinien mit ausgeglichenem Jahresverlauf (GLK 1/1/3/3/3, oben) und mit Nachfragespitzen während Ferien- oder Feiertagen (GLK 2/1/3/3/3, unten) in Form einer Boxplot-Darstellung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde dabei auf die „Whisker“ verzichtet und nur der Bereich vom 25. bis zum 75. Perzentil dargestellt.

Die zu verwendenden Anpassungsfaktoren ergeben sich aus dem Median der Verhältniswerte nach Bild 4-8. Die durchschnittlichen täglichen Fahrtzeitverlustkosten können mithilfe der in Tabelle 4-1 angegebenen Faktoren in monatsbezogene Werte umgerechnet werden. Falls die Einrichtung einer Bauphase über einen Monatswechsel hinausgeht, ist der Anpassungsfaktor (nach der Anzahl der Tage gewichtet) zu mitteln. Falls keine monatsgenaue

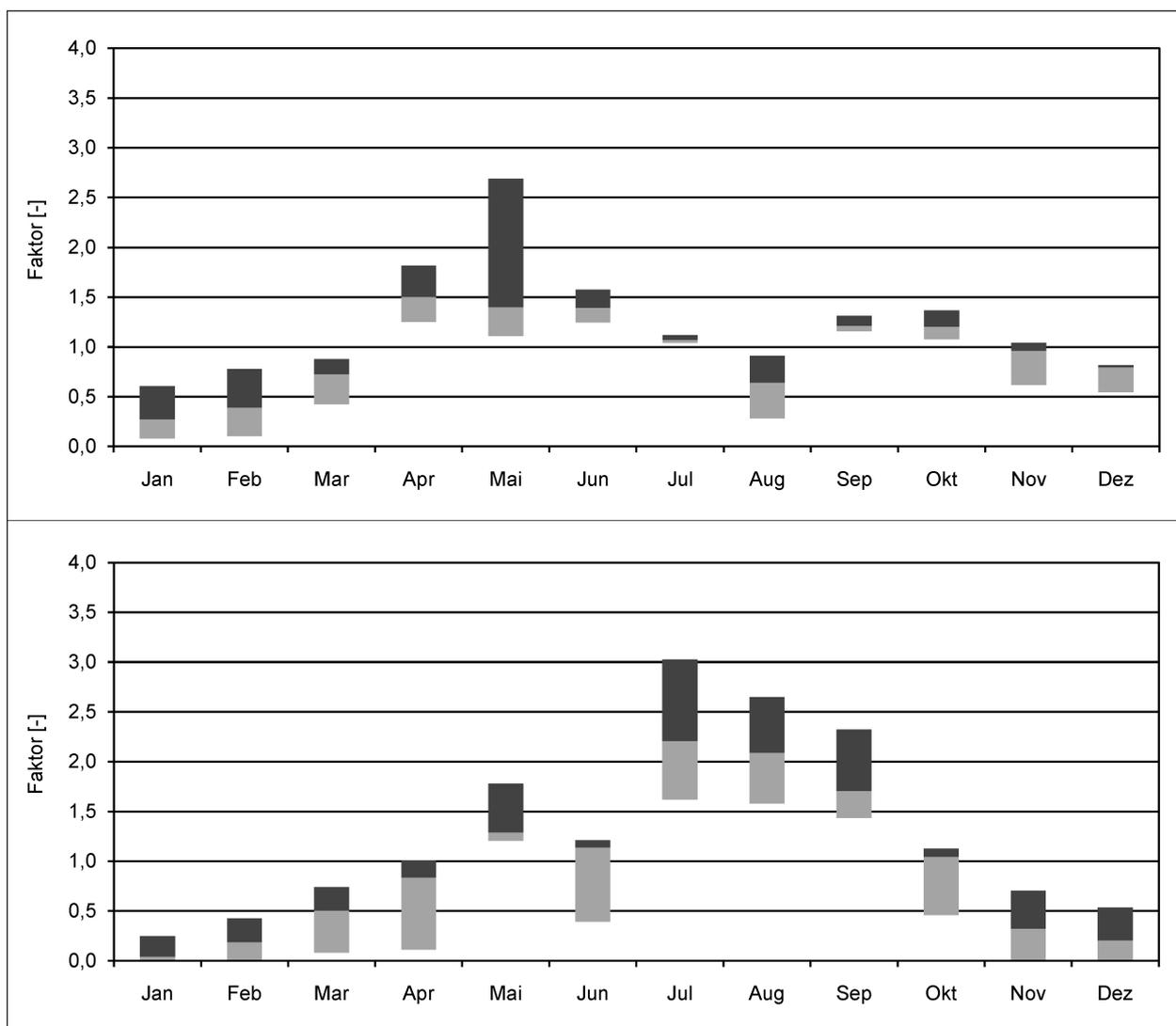


Bild 4-8: Zusammenhang der täglichen Fahrtzeitverlustkosten über ein Jahr und über die Monate mit der GLK 1/1/3/3/3 (oben) und 2/1/3/3/3 (unten)

Monat	Ganglinienkombination		Monat	Ganglinienkombination	
	1/1/3/3/3: ausgeglichener Jahresverlauf	2/1/3/3/3: ausgeprägte Ferien- und Feiertagsspitzen		1/1/3/3/3: ausgeglichener Jahresverlauf	2/1/3/3/3: ausgeprägte Ferien- und Feiertagsspitzen
Januar	0,27	0,04	Juli	1,07	2,21
Februar	0,39	0,19	August	0,64	2,09
März	0,73	0,50	September	1,21	1,70
April	1,50	0,84	Oktober	1,20	1,04
Mai	1,40	1,29	November	0,96	0,32
Juni	1,39	1,14	Dezember	0,80	0,21

Tab. 4-1: Tabelle zur Umrechnung der täglichen Fahrtzeitverlustkosten als Durchschnitt über ein Jahr in monatsbezogene Werte zur Berücksichtigung saisonaler Einflüsse auf die Verkehrsnachfrage

Betrachtung vorgenommen werden soll, ist der Anpassungsfaktor in jeder Bauphase mit 1,0 anzusetzen.

Bei der Verwendung von Anpassungsfaktoren ist jedoch zu berücksichtigen, dass dieses Vorgehen das gesamte Verfahren zur Ermittlung von Nutzungsausfallkosten sowohl umständlicher als auch weniger nachvollziehbar machen würde, da eine Bauzeitverkürzung im Januar anders bewertet würde als im Juli. Darüber hinaus wird bei den Ausschreibungen zwar die erwartete Bauzeit vorgegeben, der exakte Baubeginn und somit auch das für die Ermittlung der Bonus-/Maluszahlungen relevante Bauende sind jedoch häufig nicht bekannt. Alternativ wird vorgeschlagen, die Nutzungsausfallkosten bei zeitlich begrenzten Baumaßnahmen in Abhängigkeit vom DTV der Bauzeit zu bestimmen anstatt vom DTV des gesamten Jahres.

4.4 Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen

Als Randbedingungen sind alle Einflussfaktoren zu verstehen, die sich auf die Verkehrsnachfrage sowie die Kapazität einer Strecke auswirken. In Kapitel 4.1 wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Randbedingungen zunächst überschlägig analysiert. Dabei zeigte sich, dass alle betrachteten Randbedingungen Einfluss auf die Berechnungs-

ergebnisse haben und daher in die Ermittlung aktualisierter Nutzungsausfallkosten einbezogen werden sollten.

Unter Berücksichtigung sämtlicher Kombinationen der in Kapitel 3.2 betrachteten Randbedingungen bei der Ermittlung von Nutzungsausfallkosten ergäben sich für vier-, sechs- und achtstreifige Autobahnen insgesamt 48 Tabellen. Im Hinblick auf eine einfache Anwendbarkeit in der Praxis sollte die Anzahl der zu verwendenden Tabellen jedoch stark eingegrenzt werden. Daher wurde untersucht, welche der Randbedingungen sich signifikant auf die Berechnungsergebnisse auswirken.

Die Änderungen wurden dabei ausgehend von folgenden Randbedingungen (Variante I) analysiert:

- Ganglinienkombination 1/1/3/3/3 mit ausgeglichener Verlauf der Verkehrsnachfrage über das Jahr,
- mittlerer SV-Anteil von 10 %,
- Strecken außerhalb von Ballungsräumen und
- ohne Geschwindigkeitsbeschränkung im Zustand ohne Arbeitsstelle.

Verglichen wurden die Werte der Variante I mit Varianten, bei denen jeweils eine der Randbedingungen geändert wurde (Varianten II bis V) (vgl. Bild 4-9).

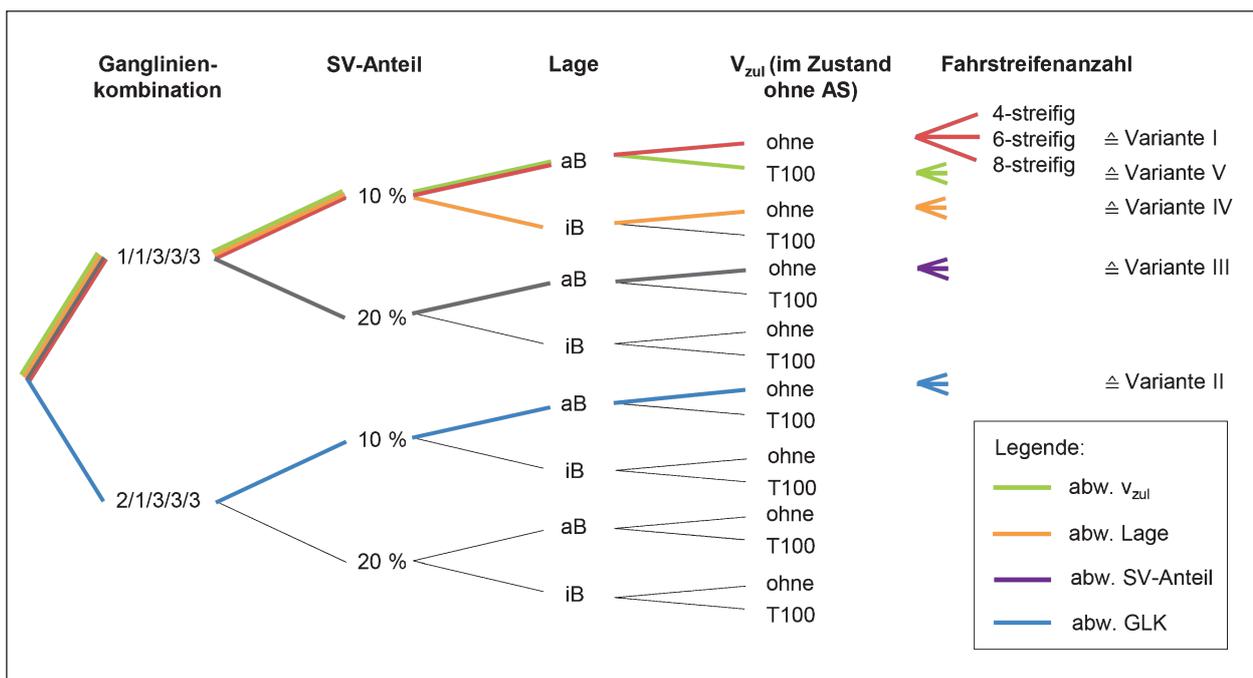


Bild 4-9: Darstellung der Varianten mit unterschiedlichen Randbedingungen

Zunächst wurde untersucht, wie sich abweichende Randbedingungen auf die volkswirtschaftlichen Kosten auswirken. Anschließend wurden die Auswirkungen auf die Mehrkosten einer Maßnahme, d. h. auf die eigentlichen Nutzungsausfallkosten, betrachtet.

Änderung der Kosten bei abweichender Verkehrsnachfrageverteilung

In Kapitel 4.1 wurden die Kosten aus Fahrtzeitverlusten sowohl für Strecken mit einem weitestgehend ausgeglichenen Verlauf der Verkehrsnachfrage über das Jahr (GLK 1/1/3/3/3) als auch für Strecken mit deutlichen Verkehrsspitzen in Ferien- und Feiertagswochen (GLK 2/1/3/3/3) verglichen. Dabei zeigte sich, dass der unterschiedliche Verlauf der Kosten durch ein Verschieben der Kurve abgebildet werden kann (vgl. Bild 4-1). Dies bedeutet, dass zur Ermittlung der Kosten die Werte der GLK 1/1/3/3/3 beibehalten werden können, auch wenn es sich um eine Strecke handelt, auf der die Verkehrsnachfrageverteilung eher der GLK 2/1/3/3/3 entspricht. Hierfür muss lediglich der Eingangswert für den DTV_R erhöht werden.

Für sämtliche Kapazitätsszenarien mit und ohne Arbeitsstelle wurde daher ermittelt, um welchen Wert der DTV_R erhöht werden muss. Im Mittel ergab sich hierfür ein Wert von 5.000 Kfz/d, wobei der Wert mit höherer Kapazität steigt.

Änderung der Kosten bei abweichendem SV-Anteil

Die Analysen in Kapitel 4.1 haben ergeben, dass sich die entgegenwirkenden Einflüsse des SV-Anteils auf die Kapazität und die Verkehrsnachfrageganglinie nicht vollständig ausgleichen und sich somit mit einem SV-Anteil von 20 % höhere Kosten für die einzelnen Bewertungsgrößen ergeben als mit einem SV-Anteil von 10 % (vgl. Bild 4-3). Der Wert für Strecken mit einem SV-Anteil von 20 % kann ermittelt werden, indem die Kosten für Strecken mit einem SV-Anteil von 10 % durch einen Faktor erhöht werden.

Für sämtliche Kapazitätsszenarien mit und ohne Arbeitsstelle wurde daher untersucht, um welchen Faktor die Kosten erhöht werden müssen. Im Mittel wurde ein Faktor von 3,0 ermittelt.

Änderung der Kosten bei Strecken außerhalb von Ballungsräumen

Der Vergleich der Ergebnisse der Szenarien innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen in Kapitel 4.1 zeigte, dass die Kosten aufgrund der niedrigeren Kapazität bei Strecken außerhalb von Ballungsräumen erwartungsgemäß höher lagen als bei Strecken innerhalb von Ballungsräumen (vgl. Bild 4-4). Die Kosten für Strecken innerhalb von Ballungsräumen können ermittelt werden, indem der Wert für Strecken außerhalb von Ballungsräumen durch einen Faktor verringert wird.

Im Mittel für sämtliche Kapazitätsszenarien mit und ohne Arbeitsstelle ergab sich ein Faktor von 0,4, mit dem die für Strecken außerhalb von Ballungsräumen berechneten Kosten multipliziert werden müssen, um die Ergebnisse auf Strecken innerhalb von Ballungsräumen zu übertragen.

Änderung der Mehrkosten

Für die Berechnung der Mehrkosten wird die Differenz zwischen Mit- und Ohne-Fall, d. h. mit bzw. ohne Arbeitsstelle, unter gleichbleibenden Randbedingungen gebildet. Die Analyse ergab, dass sich die Auswirkungen unterschiedlicher Randbedingungen auf die volkswirtschaftlichen Kosten einer Maßnahme nicht direkt auf die Mehrkosten übertragen lassen. Somit ist es nicht möglich, die Tabellenwerte eines Satzes festgelegter Randbedingungen durch einfache Methoden (wie die Änderung des DTV -Eingangswertes oder die Verwendung eines Umrechnungsfaktors) auf abweichende Randbedingungen anzupassen.

Schlussfolgerungen

Während die Auswirkungen unterschiedlicher Randbedingungen auf die volkswirtschaftlichen Kosten infolge einer Arbeitsstelle mit einfachen Rechenregeln berücksichtigt werden können, ist dies bei den für die Ermittlung der Nutzungsausfallkosten maßgebenden Mehrkosten nicht möglich. Weil es aus Gründen der Handhabbarkeit nicht sinnvoll ist, dem Anwender für alle Kombinationen der maßgebenden Randbedingungen 48 Tabellen zur Verfügung zu stellen, wurden für die aktualisierten Nutzungsausfallkostentabellen repräsentative Randbedingungen gewählt, welche einen möglichst großen Anteil der Strecken des deutschen Autobahnnetzes abdecken.

5 Erarbeitung aktualisierter Nutzungsausfallkosten

5.1 Berechnungsmethodik

Nutzungsausfallkosten repräsentieren die Mehrkosten aufgrund einer Arbeitsstelle, die aus der Differenz der Kosten mit und ohne Arbeitsstelle in Abhängigkeit von den jeweils maßgebenden Randbedingungen (vgl. Kapitel 3.2) resultieren. Somit ergibt beispielsweise die Verkehrsführung 4+0 auf vierstreifigen Autobahnen andere Werte für die Mehrkosten als die Verkehrsführung 4+0 auf sechsstreifigen Autobahnen, da sich die Bewertungsgrößen im Fall ohne Arbeitsstelle deutlich unterscheiden.

Aufgrund der unterschiedlichen Berücksichtigung des SV-Anteils in den Kapazitätsmodellen für Arbeitsstellen (nach GEISTEFELDT et al., 2016) und für Autobahnen ohne Arbeitsstelle (nach HBS, FGSV, 2015) kann es vorkommen, dass bei niedrigen SV-Anteilen und breiten Behelfsfahrstreifen die Kapazität der Arbeitsstelle höher als die Kapazität der Autobahn im Zustand ohne Arbeitsstelle ist. Eine geringfügige Erhöhung der Kapazität durch eine Arbeitsstelle ist auch bereits in der Realität festgestellt worden (vgl. BRILON et al., 2006), weil durch die Geschwindigkeitsbeschränkung in der Arbeitsstelle der Verkehr homogenisiert wird. Rechnerisch ergeben sich in diesen Fällen negative Werte für die Mehrkosten, die durch die Bewertungsgrößen Fahrzeitverluste, Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs, Kraftstoffverbrauch und Schadstoffbelastung entstehen. Da ein solcher modellbedingter „Nutzen“ einer Arbeitsstelle jedoch bei der Herleitung allgemeingültiger Nutzungsausfallkosten ausgeschlossen werden sollte, wurden diese negativen Mehrkosten gleich null gesetzt und nur die Mehrkosten aufgrund der erhöhten Unfallgefahr berücksichtigt.

Modellbedingt ergeben sich bei der Berechnung der einzelnen Bewertungsgrößen bei sehr hohen DTV-Werten Überlastungszustände, die sich im Verlauf des Tages auch bei sinkender Verkehrsbelastung nicht mehr abbauen können. Um nicht unendlich hohe Werte z. B. für die Fahrzeitverluste zu erhalten, wird der Rückstau im Berechnungsmodell um Mitternacht immer auf null gesetzt. Trotz dieser sogenannten „Staukappung“ ist davon auszugehen, dass diese Situationen unrealistische Belastungsfälle darstellen. Die Nutzungsausfallkosten sollten daher nicht mehr dargestellt werden, sobald

der Effekt der „Staukappung“ greift. Weitergehende Analysen haben ergeben, dass dies alle Werte betrifft, für die der DTV über 25.000 Kfz/d/Fahrstreifen liegt. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auch knapp unter diesen Werten bereits extreme Überlastungen entstehen, welche in der Realität u. a. aufgrund der entstehenden Verkehrsverlagerungen nicht in dieser Ausprägung auftreten. Sinnvolle Obergrenzen für die Nutzungsausfallkosten werden in Kapitel 5.3 festgelegt.

5.2 Wahl der Bezugsrandbedingungen

Die Auswahl der Bezugsrandbedingungen für die Ermittlung der Nutzungsausfallkosten erfolgte mit der Maßgabe, einerseits möglichst repräsentative Streckentypen abzubilden und andererseits besonders kritische Konstellationen im Hinblick auf das Staugeschehen im Bereich von Arbeitsstellen zu berücksichtigen.

Strecken außerhalb von Ballungsräumen weisen einen deutlich größeren Anteil an der Gesamtlänge des deutschen Autobahnnetzes auf als Strecken innerhalb von Ballungsräumen und wurden daher als Bezugsrandbedingung gewählt.

Auf Strecken außerhalb von Ballungsräumen weisen die GLK 1/1/3/3/3 mit ausgeglichenem Verlauf der Verkehrsnachfrage über das Jahr und die GLK 2/1/3/3/3 mit deutlichen Spitzen der Verkehrsnachfrage in Ferien- und Feiertagswochen ähnlich hohe Anteile auf. Die GLK 2/1/3/3/3 berücksichtigt aber eher die Verkehrsspitzen bei geringer Verkehrsbelastung, d. h. in niedrigen DTV-Klassen, und wurde daher als Bezugsrandbedingung gewählt.

Der mittlere SV-Anteil auf Bundesautobahnen liegt bei 14,9 % (BASt, 2013). Daher wurde als Bezugsrandbedingung ein SV-Anteil von 15 % gewählt. Dafür wurden die Simulationen zusätzlich mit einem SV-Anteil von 15 % durchgeführt.

Die Berücksichtigung einer Geschwindigkeitsbeschränkung im Zustand ohne Arbeitsstelle wird aus Gründen der Praktikabilität verworfen. Zum einen sind deren Auswirkungen auf die Nutzungsausfallkosten für Planer ohne genaue Kenntnis der verkehrstechnischen Zusammenhänge nicht plausibel, weil sie nur den Vergleichsfall ohne Arbeitsstelle betreffen. Zum anderen sind die im Zustand ohne Arbeitsstelle angeordneten Geschwindigkeitsbeschränkungen u. U. nicht bekannt.

Als Länge der Arbeitsstelle, die der Ermittlung der Veränderung der Fahrzeiten im fließenden Verkehr und der Unfallkosten zugrunde liegt, wird jeweils der ungefähre Mittelwert der Längen aller im Rahmen der Baubetriebsplanung an das BMVI gemeldeten Arbeitsstellenverkehrsführungen aus den Jahren 2003-2012 von 3 km angesetzt (vgl. GEISTEFELDT et al., 2016).

Die erarbeiteten Nutzungsausfallkostentabellen beziehen sich somit auf die folgenden Bezugsrandbedingungen:

- Ganglinienkombination 2/1/3/3/3 mit deutlichen Spitzen der Verkehrsnachfrage in Ferien- und Feiertagswochen,
- mittlerer SV-Anteil von 15 %,
- Strecken außerhalb von Ballungsräumen
- ohne Geschwindigkeitsbeschränkung im Zustand ohne Arbeitsstelle,
- Länge der Arbeitsstelle von 3 km,
- Behelfsfahrestreifenbreiten innerhalb der Arbeitsstelle gemäß Tabelle 3-3 und
- Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h in der Arbeitsstelle (60 km/h bei Verkehrsführung 4+0 mit besonders schmalen Fahrestreifen auf vierstreifigen Autobahnen).

5.3 Abgrenzung des Wertebereichs

Zur Abgrenzung eines sinnvollen Wertebereichs für die Nutzungsausfallkostentabellen werden zwei Ansätze gewählt. Zunächst ist eine Orientierung an den Einsatzbereichen der Regelquerschnitte für Autobahnen nach den RAA (FGSV, 2008) sinnvoll. So können z. B. sechsstreifige Autobahnen mit einem DTV von unter 50.000 Kfz/d ausgeschlossen werden, da diese in der Realität praktisch nicht vorkommen.

Als weiterer Ansatz sollten nur solche Kosten in den Tabellen dargestellt werden, welche realistische Werte für die Festlegung von Nutzungsausfallkosten darstellen. Hierfür werden Ergebnisse aus den Expertengesprächen und Entscheidungen im Betreuerkreis herangezogen. Die Befragungen von Bauunternehmen haben als Anhaltswert für geeignete Nutzungsausfallkosten etwa 0,1 % der Auftragssumme pro Tag ergeben. Dies entspricht für die von den Bauunternehmen genannten Fälle in etwa dem Bereich zwischen 5.000 und 50.000 €/d. Im Sinne der einfachen Handhabbarkeit der Nutzungsausfallkostentabellen und vor dem Hintergrund der erreichbaren Genauigkeit des Verfahrens ist es überdies sinnvoll, die ermittelten Werte auf Vielfache von 100 € zu runden.

Unter den genannten Vorgaben wurden insgesamt drei Tabellen für die Nutzungsausfallkosten für Baustellenverkehrsführungen auf vier-, sechs- und achtstreifigen Autobahnen erarbeitet, welche für die in Kapitel 5.2 genannten Bezugsrandbedingungen in Tabelle 5-1, Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 dargestellt sind. Dabei wurden alle Mehrkosten unter 5.000 €/d und über 50.000 €/d ausgegraut und Mehrkosten über 1 Mio. €/d innerhalb der Tabellen nicht mit Werten dargestellt.

DTV [Kfz/d]	Verkehrsführung									
	2+0 [€/d]	1+1 [€/d]	3+0 [€/d]	2+1 [€/d]	2n+1 [€/d]	4+0 ¹⁾ [€/d]	4+0 [€/d]	3+1 [€/d]	2+2 [€/d]	2n+2 [€/d]
20.000	4.000	4.000	4.000	4.000	2.000	4.700	4.000	4.000	4.000	2.000
25.000	5.300	5.300	5.100	5.100	2.600	5.900	5.000	5.000	5.000	2.500
30.000	7.600	7.600	6.800	6.800	3.800	7.300	6.000	6.000	6.000	3.000
35.000	23.400	23.400	15.200	15.200	11.700	8.600	7.000	7.000	7.000	3.500
40.000	88.000	88.000	48.000	48.000	44.000	10.100	7.900	7.900	7.900	4.000

¹⁾ Sofern ausnahmsweise die Regelwerte der Mindest-Behelfsfahrestreifenbreiten der RSA nicht eingehalten werden Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Tab. 5-1: Nutzungsausfallkosten (€/d, netto) für vierstreifige Autobahnen unter Bezugsrandbedingungen

DTV [Kfz/d]	Verkehrsführung									
	2+0 [€/d]	1+1 [€/d]	3+0 [€/d]	2+1 [€/d]	2n+1 [€/d]	4+0 ¹⁾ [€/d]	4+0 [€/d]	3+1 [€/d]	2+2 [€/d]	2n+2 [€/d]
45.000	254.300	254.300	131.500	131.600	127.100	11.600	8.800	8.900	8.800	4.400
50.000	583.400	583.400	296.500	296.600	291.700	13.400	9.700	9.900	9.700	4.900
55.000	> 1 Mio.	> 1 Mio.	576.400	576.500	571.100	17.200	10.800	11.900	10.800	5.400
60.000			963.700	964.400	957.600	28.700	13.800	18.200	13.800	6.900
65.000			58.000	21.900	34.800	21.900	11.000			
70.000			114.100	41.600	68.400	41.600	20.800			
75.000			203.800	76.000	123.900	76.000	38.000			
80.000			343.700	127.800	209.900	127.800	63.900			
85.000			541.600	210.200	335.100	210.200	105.100			
90.000			811.200	327.600	509.700	327.600	163.800			

¹⁾ Sofern ausnahmsweise die Regelwerte der Mindest-Behelfsfahrbahnbreiten der RSA nicht eingehalten werden
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Tab. 5-1: Fortsetzung

DTV [Kfz/d]	Verkehrsführung										
	4+0 [€/d]	2+2 [€/d]	5+0 [€/d]	4+1 [€/d]	3+2 [€/d]	3n+2 [€/d]	6+0 ¹⁾ [€/d]	5+1 [€/d]	4+2 [€/d]	3+3 [€/d]	3n+3 [€/d]
20.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	2.000	4.000	4.000	4.000	4.000	2.000
25.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	2.500	5.000	5.000	5.000	5.000	2.500
30.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	3.000	6.000	6.000	6.000	6.000	3.000
35.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	3.500	7.000	7.000	7.000	7.000	3.500
40.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	4.000	8.000	8.000	8.000	8.000	4.000
45.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	4.500	9.000	9.000	9.000	9.000	4.500
50.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	5.000	10.000	10.000	10.000	10.000	5.000
55.000	11.300	11.300	11.200	11.100	11.100	5.600	10.900	10.900	10.900	10.900	5.500
60.000	13.900	13.900	13.600	12.900	12.900	7.000	11.900	11.900	11.900	11.900	6.000
65.000	22.300	22.300	19.900	17.600	17.600	11.200	12.900	12.900	12.900	12.900	6.400
70.000	44.800	44.800	35.400	29.300	29.300	22.400	13.800	13.800	13.800	13.800	6.900
75.000	92.600	92.600	65.700	53.700	53.700	46.300	14.700	14.700	14.700	14.700	7.300
80.000	175.700	175.700	116.500	95.700	95.700	87.800	15.600	15.800	15.600	15.600	7.800
85.000	310.100	310.100	198.600	163.900	163.500	155.000	17.000	17.700	17.000	17.000	8.500
90.000	513.900	513.900	320.000	268.000	266.900	257.000	20.000	21.600	19.600	20.000	10.000
95.000	796.300	796.300	487.400	413.200	410.700	398.200	25.000	28.700	24.200	25.000	12.500
100.000	> 1 Mio.	> 1 Mio.	716.700	612.000	606.800	589.400	34.900	41.800	32.800	34.900	17.400
105.000			873.400	864.700	839.000	51.400	62.700	47.000	51.400	25.700	
110.000			74.600	91.200	66.900	74.600	37.300				
115.000			104.600	128.800	92.700	104.600	52.300				
120.000			145.200	180.400	128.600	145.200	72.600				

¹⁾ Bei provisorischer Verbreiterung der Fahrbahn oder als zweite Stufe eines achtstreifigen Ausbaus
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Tab. 5-2: Nutzungsausfallkosten (€/d, netto) für sechsstreifige Autobahnen unter Bezugsrandbedingungen

DTV [Kfz/d]	Verkehrsführung										
	4+0 [€/d]	2+2 [€/d]	5+0 [€/d]	4+1 [€/d]	3+2 [€/d]	3n+2 [€/d]	6+0 ¹⁾ [€/d]	5+1 [€/d]	4+2 [€/d]	3+3 [€/d]	3n+3 [€/d]
125.000	> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.	204.400	252.200	179.600	204.400	102.200
130.000							280.500	342.200	245.700	280.500	140.300

¹⁾ Bei provisorischer Verbreiterung der Fahrbahn oder als zweite Stufe eines achtstreifigen Ausbaus
Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Tab. 5-2: Fortsetzung

DTV [Kfz/d]	Verkehrsführung										
	6+0 [€/d]	5+1 [€/d]	3+3 [€/d]	6+1 [€/d]	5+2 [€/d]	4+3 [€/d]	4n+3 [€/d]	6+2 [€/d]	5+3 [€/d]	4+4 [€/d]	4n+4 [€/d]
20.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	2.000	4.000	4.000	4.000	2.000
25.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	2.500	5.000	5.000	5.000	2.500
30.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	3.000	6.000	6.000	6.000	3.000
35.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	3.500	7.000	7.000	7.000	3.500
40.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	4.000	8.000	8.000	8.000	4.000
45.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	4.500	9.000	9.000	9.000	4.500
50.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	5.000	10.000	10.000	10.000	5.000
55.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	11.000	5.500	11.000	11.000	11.000	5.500
60.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	6.000	12.000	12.000	12.000	6.000
65.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	6.500	13.000	13.000	13.000	6.500
70.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	7.000	13.900	13.900	13.900	7.000
75.000	15.000	15.100	15.000	15.000	15.000	15.000	7.500	14.900	14.900	14.900	7.500
80.000	16.100	16.300	16.100	16.000	16.000	16.000	8.100	15.900	15.900	15.900	8.000
85.000	17.600	18.400	17.600	17.300	17.300	17.300	8.800	16.900	16.900	16.900	8.500
90.000	20.600	23.100	20.600	19.300	19.300	19.300	10.300	17.900	17.900	17.900	9.000
95.000	27.300	33.000	27.300	23.100	23.100	23.100	13.700	18.900	18.900	18.900	9.400
100.000	40.700	52.600	40.700	30.300	30.300	30.300	20.400	19.900	19.900	19.900	9.900
105.000	66.200	87.200	66.200	43.600	43.600	43.500	33.100	20.900	20.900	20.900	10.400
110.000	108.500	141.900	108.500	65.600	65.600	65.300	54.300	22.200	22.200	22.100	11.000
115.000	172.600	221.300	172.600	99.200	99.200	98.300	86.300	24.400	24.400	24.000	12.000
120.000	261.600	332.300	261.600	146.600	146.600	144.600	130.800	28.300	28.300	27.600	13.800
125.000	383.900	483.700	383.900	212.400	212.400	208.500	192.000	34.400	34.400	33.200	16.600
130.000	547.900	681.300	547.900	301.700	301.700	294.900	274.000	43.900	43.900	41.800	20.900
135.000	758.700	930.600	758.700	418.300	418.300	407.200	379.300	58.800	58.800	55.700	27.800
140.000				563.800	563.800	547.200	509.200	80.100	80.100	76.000	38.000
145.000				741.200	741.200	717.900	666.600	107.600	107.600	102.700	51.300
150.000				957.200	957.200	926.000	858.200	141.700	141.700	135.700	67.900
155.000	> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.					182.800	182.800	174.800	87.400
160.000				> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.	> 1 Mio.	234.700	234.700	223.800	111.900
165.000								300.800	300.800	287.500	143.800
170.000								383.500	383.500	368.000	184.000

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

Tab. 5-3: Nutzungsausfallkosten (€/d, netto) für achtstreifige Autobahnen unter Bezugsrandbedingungen

5.4 Vergleich mit den bisherigen Nutzungsausfallkosten

Die Tabellen in Anhang C zeigen die Änderungen der im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ermittelten Nutzungsausfallkosten im Vergleich zu den bisherigen Nutzungsausfallkosten nach dem HVA B-StB. Hierbei unterscheiden sich die gewählten DTV-Klassen in einigen Fällen. Damit ein Vergleich aller Werte der derzeit gültigen Nutzungsausfallkosten möglich ist, wurden die aktualisierten Kosten für nicht übereinstimmende DTV-Klassen näherungsweise linear interpoliert. Für alle in den bisherigen Tabellen vorhandenen Arbeitsstellenverkehrsführungen werden die prozentuale und die absolute Abweichung der aktualisierten Nutzungsausfallkosten dargestellt.

Die aktualisierten Nutzungsausfallkosten unterscheiden sich in den meisten Fällen erheblich von den bisherigen Werten. Bei niedrigen DTV-Werten sind die aktualisierten Nutzungsausfallkosten um bis zu 9.900 €/d höher, bei mittleren und hohen DTV-Werten steigen die aktualisierten Werte in Abhängigkeit von der jeweiligen Verkehrsführung ab einem bestimmten DTV-Wert immer stärker an (vgl. Bild 5-1). Dies bedeutet, dass insgesamt deutlich höhere Nutzungsausfallkosten als bislang angesetzt werden, die für einzelne DTV-Klassen um bis zu zwölfmal höhere Werte annehmen.

6 Zusammenfassung

Die Beschleunigungsvergütung ist ein wichtiges Instrument zur Bauzeitverkürzung auf Bundesautobahnen. Als Grundlage für die vertragliche Vereinbarung von Bonus-Malus-Regelungen sind im HVA B-StB (BMVI, 2016a) tägliche Nutzungsausfallkosten für zwölf Arbeitsstellenverkehrsführungen in Abhängigkeit vom durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) angegeben. Diese Werte sind veraltet und stellen für die Bauunternehmen häufig keinen ausreichenden Anreiz zur beschleunigten Durchführung von Straßenbaumaßnahmen dar. Ziel des Projekts war daher eine Überarbeitung der Nutzungsausfallkostentabelle, die mit einer Überprüfung der maßgebenden geometrischen und verkehrlichen Randbedingungen sowie einer Analyse der verschiedenen Bewertungsgrößen zur Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten von Arbeitsstellen einherging.

Erfahrungen und Erwartungen zur Anwendung von Bonus-Malus-Regelungen wurden zunächst im Rahmen von Expertengesprächen mit Mitarbeitern von Straßenbauverwaltungen und Bauunternehmen erhoben. Dabei wurde deutlich, dass in der Regel die vertragliche Vereinbarung einer Beschleunigungsvergütung zur Bauzeitverkürzung als sinnvoll erachtet wird, bisher aber nicht überall angewendet wird. Von Bauunternehmen wurde als sinnvoller Wert der täglichen Nutzungsausfallkosten etwa 0,1 % der Auftragssumme genannt, dies entspricht täglichen Kosten zwischen etwa 5.000 und 50.000 €/d.

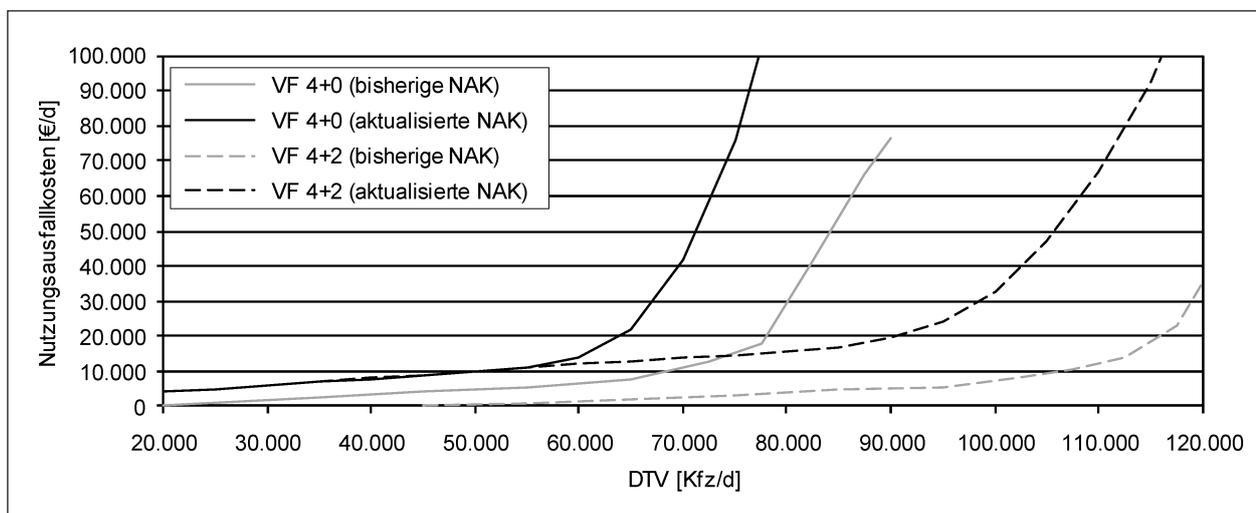


Bild 5-1: Bisherige und aktualisierte Nutzungsausfallkosten für die Verkehrsführungen 4+0 auf vierstreifigen Autobahnen und 4+2 auf sechsstreifigen Autobahnen

Die durch eine Arbeitsstelle hervorgerufenen Nutzungsausfallkosten ergeben sich in Abhängigkeit von den verkehrlichen Randbedingungen sowie den berücksichtigten Bewertungsgrößen als Differenz der volkswirtschaftlichen Kosten im Zustand mit und ohne Arbeitsstelle. Maßgebende Randbedingungen sind die Höhe, zeitliche Verteilung und Zusammensetzung der Verkehrsnachfrage sowie die kapazitätsbeeinflussenden Parameter der freien Strecke und der Arbeitsstelle. Als Bewertungsgrößen wurden die Kosten aus einer Veränderung der Fahrtzeiten im fließenden Verkehr, der überlastungsbedingten Fahrtzeitverluste, der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs, des Unfallgeschehens, des Kraftstoffverbrauchs, sowie der Schadstoffbelastung einbezogen. Auf der Grundlage einer Analyse der Bewertungsmodelle des vorgeschlagenen Konzepts für das Verkehrsanalyzesystem (VAS) des Bundes, des Entwurfs der RWS (BMVI, 2016b) und des BVWP 2030 wurden geeignete Verfahren für die modellbasierte Ermittlung von Nutzungsausfallkosten ausgewählt.

Anhand von einer Beispielmaßnahme wurden der Einfluss verschiedener Randbedingungen auf die volkswirtschaftlichen Bewertungskomponenten ermittelt und die Anteile der Bewertungsgrößen an den Nutzungsausfallkosten in Abhängigkeit vom DTV_R analysiert. Da die Fahrtzeitverluste, der Kraftstoffverbrauch, die Schadstoffbelastung und die Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs jeweils von der Kapazität und somit vom Auslastungsgrad abhängig sind, ist der grundsätzliche Verlauf aller Kurven ähnlich. Ab einem bestimmten DTV_R entstehen erst geringe und dann immer stärker ansteigende Mehrkosten infolge der Arbeitsstelle. Lediglich die Unfallkosten ergeben sich aus einem linearen Modell und erreichen anteilig an den Gesamtmehrkosten eher geringe Werte. Die Kosten aus einer Veränderung der Fahrtzeiten im fließenden Verkehr infolge der Geschwindigkeitsbeschränkung in der Arbeitsstelle sind bei geringen DTV_R -Werten, bei denen noch keine nennenswerten Überlastungen auftreten, maßgebend. Bei hohen Verkehrsbelastungen resultieren die Nutzungsausfallkosten hauptsächlich aus den zusätzlichen Fahrtzeitverlusten und dem Kraftstoffverbrauch sowie in einem Übergangsbereich gleichermaßen aus der Veränderung der Fahrtzeiten und der Fahrtzeitverluste. Für die Aktualisierung der Nutzungsausfallkostentabellen wurden alle Bewertungsgrößen berücksichtigt.

Mit dem erarbeiteten Bewertungsmodell wurden Nutzungsausfallkosten für 32 typische Verkehrs-

fahrungen von Arbeitsstellen auf vier-, sechs- und achtstreifigen Autobahnen ermittelt. Die Berechnungen erfolgten für zwei Varianten hinsichtlich der zeitlichen Verteilung der Verkehrsnachfrage (Ganglinienkombination), mittlere SV-Anteile von 10 und 20 %, Strecken innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen sowie mit und ohne Geschwindigkeitsbeschränkung im Fall ohne Arbeitsstelle. Aus der Variation sämtlicher Einflussgrößen ergeben sich insgesamt 48 Nutzungsausfallkostentabellen. Zur Begrenzung der Anzahl der Tabellen für die Anwendung in der Praxis wurde untersucht, inwieweit sich Abweichungen einer Randbedingung (Ganglinienkombination, SV-Anteil, Lage der Strecke und Geschwindigkeitsbeschränkung im Zustand ohne Arbeitsstelle) auf die Berechnungsergebnisse auswirken. Dabei konnten jedoch keine einfachen Rechenvorschriften zur Berücksichtigung abweichender Randbedingungen abgeleitet werden. Stattdessen wurden repräsentative Randbedingungen festgelegt, mit denen einerseits ein möglichst großer Anteil der Strecken des deutschen Autobahnnetzes abgebildet wird und andererseits besonders kritische Konstellationen im Hinblick auf das Staugeschehen an Arbeitsstellen berücksichtigt werden.

Als maßgebende Bezugsrandbedingungen für die aktualisierten Nutzungsausfallkostentabellen wurden eine Verteilung der Verkehrsnachfrage mit deutlichen Spitzen in Ferien- und Feiertagswochen, ein mittlerer SV-Anteil von 15 % sowie Strecken außerhalb von Ballungsräumen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung im Fall ohne Arbeitsstelle definiert. Für diese Bezugsrandbedingungen wurden die Nutzungsausfallkostentabellen mit auf Vielfache von 100 € gerundeten Werten ermittelt. Es wird vorgeschlagen, den Wertebereich der Nutzungsausfallkosten auf etwa 5.000 bis 50.000 €/d zu begrenzen. Bei geringen Nutzungsausfallkosten ist der Aufwand für eine vertragliche Vereinbarung von Bonus-Malus-Regelungen im Verhältnis zum erreichbaren Nutzen zu gering. Bei sehr hohen Nutzungsausfallkosten wird das Malus-Risiko für das ausführende Bauunternehmen zu groß, sodass die Werte gedeckelt werden sollten.

Mit den Ergebnissen der Untersuchung liegen aktualisierte Nutzungsausfallkostentabellen für Arbeitsstellen auf vier-, sechs- und achtstreifigen Autobahnen vor. Im Vergleich mit den bisherigen Werten des HVA B-StB ergeben sich für alle DTV -Werte insgesamt höhere Nutzungsausfallkosten. Die Ab-

weichungen zu den bisherigen Werten sind dabei je nach Arbeitsstellenverkehrsführung und DTV-Wert unterschiedlich stark ausgeprägt.

Literatur

- ARBZG: Arbeitszeitgesetz. Ausgabe 1994
- BADURA, B.; SCHRÖDER, H.; KLOSE, J.; MACCO, K.: Fehlzeiten-Report 2009 – Arbeit und Psyche: Belastungen reduzieren – Wohlbefinden fördern Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- BASSt: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 233, Bergisch Gladbach, 2013
- BMV: Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA). Ausgabe 1995, Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.), Bonn, 1995
- BMVBS: Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Bonn, 2011a
- BMVBS: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 04/2011 (ARS 04/2011): Arbeitsstellen an Straßen – Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen. Az: StB 11/7123.7/1299927, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.), Bonn, 2011b
- BMVI: Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA B-StB). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Bonn, 2016a
- BMVI: Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RWS), Entwurf vom 10.02.2016. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Bonn, 2016b
- BMVI: Bundesverkehrswegeplan 2030. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.), Bonn, 2016c
- BRH: Bemerkungen 2012 zur Haushalts- und Wirtschaftsführung des Bundes, Teil III Einzelplanbezogene Entwicklung und Prüfungsergebnisse: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bemerkungen Nr. 47: Knappe Terminvorgaben im Straßenbau machen Beschleunigungsvergütung überflüssig, Bundesrechnungshof, 2012
- BRILON, W.; GEISTEFELDT, J.: Modellierung von Dauerlinien und Ganglinien der Verkehrsnachfrage im Autobahnnetz. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben BR 889/10-1 mit Unterstützung der DFG, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 2007
- BRILON, W.; GEISTEFELDT, J.; REGLER, M.: Entwicklung von Zielgrößen für die Verkehrsbeeinflussung auf Bundesfernstraßen in Hessen. Schlussbericht zum Forschungsauftrag des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen – Verkehrszentrale Hessen, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 2006
- Destatis: Qualität der Arbeit. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2012
- DGAUM: Nacht- und Schichtarbeit: Arbeitsmedizinische Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V., 2006
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 1986
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte (RAS-Q). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 1996
- FGSV: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 1997
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 2008
- FGSV: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 2015
- FOLKARD, S.: Work hours of Aircraft Maintenance Personnel. Report to: Civil Aviation Authority, London, 2002

- FÜHRLING, S.: Konsequenzen für die deutsche Bauindustrie. Straßen- und Tiefbau, Ausgabe 4/2015
- GEISTEFELDT, J.; HOHMANN, S.: Verfahren für die Bewertung des Verkehrsablaufs auf Autobahnen als Ganzjahresanalyse für unterschiedliche Randbedingungen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 01.0174/2011/HRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 2014
- GEISTEFELDT, J.; HOHMANN, S.; OESER, M.; VOLKENHOFF, T.: Bewertung von Arbeitsstellen unter Verwendung des Verkehrsanalyse-systems. Teil des Schlussberichts zum Forschungsprojekt FE 01.0174/2011/HRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 2014
- GEISTEFELDT, J.; HOHMANN, S.; WU, N.: Ermittlung des Zusammenhangs von Infrastruktur und Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs für den Verkehrsträger Straße. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 24.0019/2012 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 2014
- GEISTEFELDT, J.; von der HEIDEN, N.; OESER, M.; KEMPER, D.; DINER, E.; BAIER, M.; KLEMP-S-KOHNEN, A.: Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen auf Autobahnen unter unterschiedlichen Randbedingungen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 01.0176/2011/HRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, 2016
- HOHMANN, C.: Schichtarbeit – Belastender Kampf mit dem Tagesrhythmus. Pharmazeutische Zeitung online, Ausgabe 36, 2007
- HILDEBRANDT, G.; MOSER, M.; LEHOFER, M.: Chronobiologie und Chronomedizin. Hippokrat-tes (Hrsg.), Stuttgart, 1998
- KEMPER, D.: Vergleichende Betrachtung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen bei Tag und Nacht. Dissertation am Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen, 2010
- LÜESSE, C.; RICHTER, T.; RADOM, A.; KOCHENDÖRFER, B.; GIEBELHAUSEN, J.-A.: 24-Stunden-Baustellen auf Bundesautobahnen: Verkehrsablauf, Verkehrssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Straßenverkehrstechnik, Heft 11/2014
- OEFNER, G.: Handbuch für die wirtschaftliche Vergleichsrechnung im Management der Straßenerhaltung – Baulastträger- und Nutzerkosten. Informationen Verkehrsplanung und Straßenwesen, Heft 27, Universität der Bundeswehr München, 1988
- PM-Consult; Heusch/Boesefeldt: Fortschreibung des Bonussystems zur Verkürzung der Bau-maßnahmen auf BAB. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FA 03.280 (unveröffentlicht), 1997
- SCHMUCK, A.; BECKER, H.: Untersuchungen über Einflüsse auf baustellenbedingte geschwindigkeitsabhängige Anteile von den Straßennutzerkosten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 421, Bonn, 1984
- Significance; Goudappel Coffeng; NEA: Erfassung des Indikators Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung. Schlussbericht zum Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2012
- STEINAUER, B.; OVERKAMP, K.; MAYER, G.: Schadstoffbelastung des Baustellenpersonals im Bereich von Arbeitsstellen an Autobahnen. Straßenverkehrstechnik, Heft 2/1998
- Straßen.NRW: Leitfaden zur Aufstellung von Bauabläufen und Bauzeiten, sowie deren vertragliche Umsetzung, Gelsenkirchen, 2011
- VOB/A: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen. Ausgabe 2012
- ZURLINDEN, H.: Ganzjahresanalyse des Verkehrsflusses auf Straßen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Heft 26, Bochum, 2003

Bilder

- Bild 2-1: Leistungsabweichung vom Tagesdurchschnitt in Abhängigkeit von der Uhrzeit (nach HILDEBRANDT et al., 1998)
- Bild 3-1: Vergleich der GLK 1/1/3/3/3 (oben) und 2/1/3/3/3 (unten) bei einem DTVR von 40.000 Kfz/d und 10 % SV-Anteil
- Bild 3-2: Kosten aus Fahrtzeitverlusten (nach VAS) in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3
- Bild 3-3: Kosten aus Zuverlässigkeit (nach BVWP) in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3
- Bild 3-4: Kosten aus Unfällen (Beispiel mit unterschiedlichen Verkehrsführungen und vereinfachtes Modell)
- Bild 3-5: Kosten aus Kraftstoffverbrauch (nach VAS) im Stau in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3
- Bild 3-6: Kosten aus Kraftstoffverbrauch (Vergleich zwischen den Verfahren des VAS und der RWS; Beispiel: Streckenlänge 10 km, Kapazität C = 3.800 Kfz/h)
- Bild 3-7: Kosten aus Schadstoffbelastung im Stau (nach VAS) in Abhängigkeit von der Kapazität bei 10 % SV-Anteil für die GLK 1/1/3/3/3
- Bild 3-8: Kosten aus Schadstoffbelastung (Vergleich zwischen den Verfahren des VAS und der RWS; Beispiel: Streckenlänge 10 km, Kapazität C = 3.800 Kfz/h)
- Bild 3-9: Verortung der Bewertungsgrößen
- Bild 4-1: Kosten aus Fahrtzeitverlusten im Vergleich der GLK 1/1/3/3/3 und 2/1/3/3/3 (Beispielmaßnahme VF 4+0)
- Bild 4-2: Zeitlicher Verlauf der Kosten aus Fahrtzeitverlusten über das Jahr (Beispielmaßnahme VF 4+0 mit einem DTV von 35.000 Kfz/d)
- Bild 4-3: Kosten aus Fahrtzeitverlusten im Vergleich mittlerer SV-Anteile von 10 % und 20 % (Beispielmaßnahme VF 4+0)

- Bild 4-4: Kosten aus Fahrtzeitverlusten für Strecken innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen (Beispielmaßnahme VF 4+0)
- Bild 4-5: Mehrkosten aller Bewertungsgrößen (Beispielmaßnahme VF 4+0)
- Bild 4-6: Anteile der Mehrkosten aller Bewertungsgrößen (Beispielmaßnahme VF 4+0)
- Bild 4-7: Auswirkung der Modellvereinfachung für die Unfallkostenberechnung (Beispielmaßnahme VF 4+0)
- Bild 4-8: Zusammenhang der täglichen Fahrtzeitverlustkosten über ein Jahr und über die Monate mit der GLK 1/1/3/3/3 (oben) und 2/1/3/3/3 (unten)
- Bild 4-9: Darstellung der Varianten mit unterschiedlichen Randbedingungen
- Bild 5-1: Bisherige und aktualisierte Nutzungsausfallkosten für die Verkehrsführungen 4+0 auf vierstreifigen Autobahnen und 4+2 auf sechsstreifigen Autobahnen

Tabellen

- Tab. 2-1: Beschleunigungsvergütung für Bauverträge im Straßen- und Brückenbau nach dem HVA B-StB (BMVI, 2016a)
- Tab. 2-2: Generalisierte „vertretbare Mehrkosten“ (PM-Consult und Heusch/Boesefeldt, 1997)
- Tab. 3-1: Ganglinientypen nach den RWS (BMVI, 2016b)
- Tab. 3-2: Häufigkeit von Ganglinienkombinationen: Ergebnisse der Auswertung der Dauerzählstellendaten der BAST aus den Jahren 2005, 2010 und 2015
- Tab. 3-3: Angenommene Fahrstreifenbreiten und daraus abgeleitete Kapazitäten (für Strecken außerhalb von Ballungsräumen mit 10 % SV-Anteil) für alle betrachteten Verkehrsführungen in den Nutzungsausfallkostentabellen

-
- Tab. 3-4: Kostensätze [€/Kfz·h] für Fahrtzeitverluste nach dem Entwurf der RWS (BMVI, 2016b)
- Tab. 3-5: Kostensätze [€/Kfz·h] für die Standardabweichung der Fahrtzeitverluste als Zuverlässigkeitskenngröße (Annahme auf der Grundlage des BVWP 2030)
- Tab. 3-6: Kostensätze [€/l] für Kraftstoffverbrauch nach dem Entwurf der RWS (BMVI, 2016b)
- Tab. 3-7: Kostensätze [€/t] für Vegetationsschäden durch Schadstoffbelastungen nach dem Entwurf der RWS (BMVI, 2016b)
- Tab. 4-1: Tabelle zur Umrechnung der täglichen Fahrtzeitverlustkosten als Durchschnitt über ein Jahr in monatsbezogene Werte zur Berücksichtigung saisonaler Einflüsse auf die Verkehrsnachfrage
- Tab. 5-1: Nutzungsausfallkosten (€/d, netto) für vierstreifige Autobahnen unter Bezugsrandbedingungen
- Tab. 5-2: Nutzungsausfallkosten (€/d, netto) für sechsstreifige Autobahnen unter Bezugsrandbedingungen
- Tab. 5-3: Nutzungsausfallkosten (€/d, netto) für achtstreifige Autobahnen unter Bezugsrandbedingungen

Anhang

- Anhang A Fragebogen für die Expertengespräche
- Anhang B Unfallkostenraten
- Anhang C Vergleich der aktualisierten Nutzungsausfallkosten mit den bisherigen Werten nach dem HVA B-StB

Anhang A Fragebogen für die Expertengespräche

Fragenkatalog für die Expertengespräche mit Vertretern der Bauindustrie

1. Haben Sie schon an Ausschreibungsverfahren teilgenommen, in denen eine Bonus-Malus-Regelung vorgesehen war? Wenn ja, in welchen Bundesländern?
2. Welche Erfahrungen haben Sie bei Straßenbauprojekten mit Bonus-Malus-Regelungen bisher gemacht?
3. Wie häufig wird nur eine Malus-Regelung ohne gleichzeitige Bonus-Regelung vertraglich vereinbart?
4. Wurde die Bonus- bzw. Malus-Regelung für Sie schon einmal wirksam?
5. Mit welchen Maßnahmen versuchen Sie, eine Bauzeitverkürzung zu erreichen bzw. eine Bauzeitverlängerung zu verhindern (z. B. Mehrschichtbetrieb, höherer Personal- und Geräteeinsatz)?
6. Sind die derzeit vereinbarten Bonuszahlungen ein ausreichender Anreiz, um Maßnahmen zur Bauzeitverkürzung umzusetzen?
7. Wie hoch müssten die Bonuszahlungen pro Tag mindestens sein, damit sich eine Verkürzung der Bauzeit (z. B. durch Anwendung des Mehrschichtbetriebs, Einsatz von mehr Personal / Geräten) für Sie lohnt?

Fragenkatalog für die Expertengespräche mit Vertretern der Straßenbauverwaltungen

1. Wann und von wem wird entschieden, ob in einer Ausschreibung eine Bonus-Malus-Regelung vorgesehen wird?
2. Wie häufig sehen Sie Bonus-Malus-Regelungen bei der Ausschreibung von Straßenbauprojekten vor?
3. Nach welchen Kriterien werden Bonus-Malus-Regelungen eingesetzt?
4. Was für Erfahrungen haben Sie mit Bonus-Malus-Regelungen gemacht?
5. Wie häufig wird die Bonus- oder Malus-Regelung bei Bauprojekten, für die eine Bonus-Malus-Regelung vertraglich vereinbart wurde, wirksam?
6. Hat die Anzahl von Bauzeitverlängerungen aufgrund von Malus-Regelungen abgenommen?
7. Zurzeit werden für Bonuszahlungen nur 50 % der Nutzungsausfallkosten angesetzt, während für Maluszahlungen der volle Betrag fällig wird. Finden Sie diese Regelung sinnvoll oder sollten Bonus- und Maluszahlungen in identischer Höhe vereinbart werden?
8. Gibt es Jahreszeiten/Monate, in denen Bauzeitverkürzungen typischerweise auftreten?
9. Wie schätzen Sie den Aufwand zur Ermittlung der Nutzungsausfallkosten mit dem aktuellen Verfahren ein?
10. Würden Sie für eine genauere Ermittlung der Nutzungsausfallkosten einen höheren Aufwand zur Ermittlung der Nutzungsausfallkosten akzeptieren? Wie hoch dürfte der Zeitaufwand höchstens sein?
11. Welche Änderungen/Verbesserungen würden Sie sich für die Ermittlung der Nutzungs-ausfallkosten wünschen?
12. Die HVA B-StB geben eine Obergrenze für die Bonus- und Maluszahlungen in Abhängigkeit von der Auftragssumme vor. Finden Sie diese Obergrenze sinnvoll oder würden Sie sich eine andere Obergrenze wünschen?

Anhang B Unfallkostenraten

Lage		Beschreibung	Unfallkostenrate UKR [€/(1000 Kfz · km)]
außerhalb von Ballungsräumen Strecken-Nr.	innerhalb von Ballungsräumen Strecken-Nr.		
ST1.11.211	ST1.21.211	zweistreifige Richtungsfahrbahn, keine V_{zul}	12,8
ST1.11.311	ST1.21.311	dreistreifige Richtungsfahrbahn, keine V_{zul}	
ST1.11.411	ST1.21.411	vierstreifige Richtungsfahrbahn, keine V_{zul}	
ST1.11.212	ST1.21.212	zweistreifige Richtungsfahrbahn, $V_{zul} = 120$ km/h	10,9
ST1.11.312	ST1.21.312	dreistreifige Richtungsfahrbahn, $V_{zul} = 120$ km/h	
ST1.11.412	ST1.21.412	vierstreifige Richtungsfahrbahn, $V_{zul} = 120$ km/h	
ST1.11.214	ST1.21.214	zweistreifige Richtungsfahrbahn, SBA	
ST1.11.314	ST1.21.314	dreistreifige Richtungsfahrbahn, SBA	
ST1.11.414	ST1.21.414	vierstreifige Richtungsfahrbahn, SBA	8,9
ST1.11.213	ST1.21.213	zweistreifige Richtungsfahrbahn, $V_{zul} \leq 100$ km/h	
ST1.11.313	ST1.21.313	dreistreifige Richtungsfahrbahn, $V_{zul} \leq 100$ km/h	
ST1.11.413	ST1.21.413	vierstreifige Richtungsfahrbahn, $V_{zul} \leq 100$ km/h	
ST1.11.215	ST1.21.215	zweistreifige Richtungsfahrbahn, TSF	
ST1.11.315	ST1.21.315	dreistreifige Richtungsfahrbahn, TSF	

Tab. A-1: Streckentypen (ST) von Autobahnen und zugehörige Unfallkostenraten nach den RWS (BMVI, 2016b), gekürzt um Tunnelstrecken und Strecken ohne Seitenstreifen

Verkehrsführung (beeinflusster Verkehr)			Fahrstreifenanzahl und Führung in betrachteter Richtung im Baustelleninnenbereich	Unfallkostenrate [€/(1000 Kfz · km)]			
				Preisstand 2010			
				Zulauf	Verschwenkung bzw. Überleitung	Baustelleninnenbereich ¹⁾	Rückverschwenkung bzw. Rückleitung
			UKR _{Zu}	UKR _{VÜ}	UKR _{BI,B}	UKR _{RR}	
ohne Überlei- tung	zweistreifige RFB	1+1	1 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr	20	9	3	6
		2+1					
		2+2	2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr	12	16	7	13
	dreistreifige RFB	3+2	2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr	32	16	7	13
		3+3	3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr	21	24	8	14
	vierstreifige RFB	4+3	3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr	32	24	8	14
4+4		4 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr	21	29	8	14	
mit Überlei- tung	zweistreifige RFB	2+0	1 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	20	9	3	6
			1 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, übergeleitet	20	9	3	6
		3+0	2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	12	16	7	13
		3+1	2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, z. T. übergeleitet	14	9	3	9
			2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	12	16	7	13
		4+0	2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, übergeleitet	14	22	7	18
			2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	12	16	7	13
		dreistreifige RFB	4+0	2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	32	16	7
			2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, übergeleitet	32	22	7	18
	4+1		2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, z. T. übergeleitet	32	9	3	9
			3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	21	24	8	14
	4+2		3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, z. T. übergeleitet	25	14	6	24
	5+0		2 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, übergeleitet	32	22	7	19
			3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	21	24	8	14
	5+1		3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, z. T. übergeleitet	25	18	6	24
			3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	21	24	8	14
	6+0		3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, übergeleitet	25	32	8	19
		3 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	21	24	8	14	
	vierstreifige RFB	6+2	4 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, nicht übergeleitet	21	29	8	14
			4 Fahrstreifen, beeinflusster Verkehr, z. T. übergeleitet	25	13	8	16

¹⁾ Basis-Unfallkostenrate für Baustelleninnenbereich (UKR_{BI,B}) gilt für Fahrstreifenbreiten $B_{HFS} \geq 3,25$ m (Hauptfahrstreifen) und $B_{UFS} \geq 2,50$ m bis $< 2,60$ m (Überholfahrstreifen) sowie $V_{zul} = 80$ km/h.

Tab. A-2: Standardisierte mittlere richtungsbezogene Unfallkostenraten für beeinflussten Verkehr in Arbeitsstellen längerer Dauer (GEISTEFELDT et al., 2016)

Fahrstreifenbreite [m]		f_{BFS} [-]
b_{HFS}	b_{UFS}	
$\geq 3,00$ und $< 3,25$	$\geq 2,50$ und $< 2,60$	2,94
	$\geq 2,60$ und $< 2,75$	2,94
	$\geq 2,75$	2,94
$\geq 3,25$	$\geq 2,50$ und $< 2,60$	1,00
	$\geq 2,60$ und $< 2,75$	1,93
	$\geq 2,75$	1,93

Tab. A-3: Faktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreiten im Baustelleninnenbereich bei Arbeitsstellen längerer Dauer bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (GEISTEFELDT et al., 2016)

Fahrstreifenbreite [m]		f_{Vzul} [-]		
b_{HFS}	b_{UFS}	$V_{zul} = 60$ km/h	$V_{zul} = 80$ km/h	$V_{zul} = 100$ km/h
$\geq 3,00$ und $< 3,25$	$\geq 2,50$ und $< 2,60$	0,84	1,00	1,27 *
	$\geq 2,60$ und $< 2,75$	0,84	1,00	1,27 *
	$\geq 2,75$	0,84	1,00	1,27 *
$\geq 3,25$	$\geq 2,50$ und $< 2,60$	0,66	1,00	1,27 *
	$\geq 2,60$ und $< 2,75$	0,66	1,00	1,27 *
	$\geq 2,75$	0,66	1,00	1,27

* Fahrstreifenbreiten für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h eher ungeeignet

Tab. A-4: Faktor zur Berücksichtigung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Baustelleninnenbereich bei Arbeitsstellen längerer Dauer in Abhängigkeit von den Fahrstreifenbreiten (GEISTEFELDT et al., 2016)

Anhang C Vergleich der aktualisierten Nutzungsausfallkosten mit den bisherigen Werten nach dem HVA B-StB

DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung		
	2+0 ¹ [€/d]	1+1 ¹ [€/d]	2n+1 ^{1,2} [€/d]
bis 15.000	-	-	-
20.000	+700 % +3.500 €	+700 % +3.500 €	+669 % +1.740 €
25.000	+152 % +3.200 €	+253 % +3.800 €	+308 % +4.000 €
32.500 ⁴	+278 % +11.400 €	+400 % +12.400 €	+198 % +5.150 €
36.100 ⁴	+388 % +29.912 €	+637 % +32.512 €	+269 % +13.706 €
39.000 ⁴	+319 % +57.180 €	+487 % +62.280 €	+388 % +29.840 €
41.100 ⁴	+306 % +93.886 €	+508 % +104.086 €	+505 % +51.982 €
44.000 ⁴	+293 % +164.740 €	+408 % +177.540 €	+407 % +88.680 €
≥ 45.000	+232 % +177.600 €	+232 % +177.600 €	+231 % +88.700 €

1) Baustellen mit Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen während der Bauarbeiten
2) Werte gelten für einseitige Baustellen, für zweiseitige Baustellen sind die Werte zu verdoppeln
3) Baustellen ohne Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen
4) Vergleichswerte für nicht übereinstimmende DTV-Klassen wurden linear interpoliert

Tab. A-5: Prozentuale und absolute Abweichungen der aktualisierten Nutzungsausfallkosten für vierstreifige Autobahnen von den bisherigen Werten nach dem HVA B-StB (BMVI, 2016a)

DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung				
	4s+0 ³ [€/d]	3s+1 ³ [€/d]	2n+2 ^{2,3} [€/d]	4+1 ¹ [€/d]	3n+2 ^{1,2} [€/d]
bis 20.000	-	-	-	-	-
35.000	+169 % +4.400 €	+169 % +4.400 €	-	-	+67 % +1.400 €
45.000	+115 % +4.700 €	+117 % +4.800 €	+340 % +3.400 €	-	+45 % +1.400 €
55.000	+112 % +5.700 €	+133 % +6.800 €	+157 % +3.300 €	+327 % +8.500 €	+37 % +1.500 €
65.000	+184 % +14.200 €	+352 % +27.100 €	+323 % +8.400 €	+245 % +12.500 €	+45 % +3.500 €
72.500 ⁴	+359 % +46.000 €	+843 % +85.950 €	+848 % +26.300 €	+307 % +31.300 €	+237 % +24.150 €
77.500 ⁴	+469 % +84.000 €	+1.257 % +154.600 €	+1.143 % +46.850 €	+385 % +59.300 €	+335 % +51.650 €
82.500 ⁴	+312 % +128.000 €	+788 % +241.800 €	+1.161 % +77.800 €	+263 % +94.000 €	+374 % +95.800 €
87.500 ⁴	+304 % +202.400 €	+650 % +366.100 €	+773 % +119.050 €	+252 % +154.550 €	+342 % +159.400 €
≥ 90.000	+327 % +250.900 €	+565 % +433.000 €	+434 % +133.100 €	+249 % +191.300 €	+319 % +195.600 €

1) Baustellen mit Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen während der Bauarbeiten
2) Werte gelten für einseitige Baustellen, für zweiseitige Baustellen sind die Werte zu verdoppeln
3) Baustellen ohne Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen
4) Vergleichswerte für nicht übereinstimmende DTV-Klassen wurden linear interpoliert

Tab. A-6: Prozentuale und absolute Abweichungen der aktualisierten Nutzungsausfallkosten für sechsstreifige Autobahnen von den bisherigen Werten nach dem HVA B-StB (BMVI, 2016a)

DTV-Klasse [Kfz/24 h]	Verkehrsführung			
	6+0 ³ [€/d]	5s+1 ² [€/d]	4+2 ³ [€/d]	3n+3 ^{2,3} [€/d]
bis 45.000	-	-	-	-
55.000	+419 % +8.800 €	+627 % +9.400 €	+990 % +9.900 €	-
65.000	+258 % +9.300 €	+396 % +10.300 €	+514 % +10.800 €	-
75.000	+220 % +10.100 €	+308 % +11.100 €	+374 % +11.600 €	+630 % +6.300 €
85.000	+174 % +10.800 €	+247 % +12.600 €	+270 % +12.400 €	+467 % +7.000 €
95.000	+225 % +17.300 €	+363 % +22.500 €	+332 % +18.600 €	+495 % +10.400 €
102.500 ⁴	+323 % +32.950 €	+468 % +43.050 €	+387 % +31.700 €	+729 % +18.950 €
107.500 ⁴	+309 % +47.600 €	+501 % +64.150 €	+458 % +46.750 €	+916 % +28.400 €
112.500 ⁴	+250 % +64.000 €	+515 % +92.100 €	+478 % +66.000 €	+993 % +40.700 €
117.500 ⁴	+205 % +83.900 €	+404 % +123.900 €	+381 % +87.650 €	+1.125 % +57.300 €
≥ 120.000	+118 % +78.700 €	+292 % +134.400 €	+259 % +92.800 €	+843 % +64.900 €

1) Baustellen mit Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen während der Bauarbeiten
2) Werte gelten für einseitige Baustellen, für zweiseitige Baustellen sind die Werte zu verdoppeln
3) Baustellen ohne Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen
4) Vergleichswerte für nicht übereinstimmende DTV-Klassen wurden linear interpoliert

Tab. A-7: Prozentuale und absolute Abweichungen der aktualisierten Nutzungsausfallkosten für achtstreifige Autobahnen von den bisherigen Werten nach dem HVA B-StB (BMVI, 2016a)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2017

V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen

Lippold, Vettors, Steinert € 19,50

V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz

Kamptner, Thümmeler, Ohmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf

Roos, Zimmermann, Köhler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 289: Verkehrsqualität an verkehrsabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

V 291: Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50

V 292: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw

Burg, Schrempf, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 293: Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen

Geistefeldt, Hohmann, Estel
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50

V 294: Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB

Maibach, Tacke, Kießig € 15,50

V 295: Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss

Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50

V 296: Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße

Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 297: Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen

Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 298: Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme

Balck, Schüller, Balmberger, Rossol
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 299: Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen

Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2018

V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten

Werkenthin, Kluge, Wessolek
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 301: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 302: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50

V 304: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015

Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

V 305: Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen

Hartmann, Londong € 16,00

V 306: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest

Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 307: Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung

Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

V 308: Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)

Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 309: Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand

Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50

V 310: Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie

Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 311: Feldversuch mit Lang-Lkw

Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 312: Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2019

V 313: Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen

Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

V 314: Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten

Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50

V 315: Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung

Kappich, Westermann, Holst € 15,50

V 316: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände

Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50

V 317: Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00

V 318: Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen

Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50

V 319: Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen

Lippold, Vettters, Ressel, Alber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 320: Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Rad-schnellverbindungen

Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00

V 322: Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren

Hausmann € 18,00

V 323: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016

Fitschen, Nordmann € 31,50
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

2020

V 321: Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement
Diegmann, Wurstthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

V 324: Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA

Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckließ, Schimpf, Schmotz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 325: Entwurfparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete

D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 326: Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen

Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50

V 327: Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse

Frenken, Mahmoudi € 16,50

V 328: Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen

Meisel, Balzer-Hebborn, Ellmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 329: Streckenbezogene Glättevorhersage

Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50

V 330: Führung des Radverkehrs an Landstraßen

Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 331: Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw

Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00

V 332: Räumliche Linienführung von Autobahnen

Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 333: Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit

Hänisch, Heidebrunn in Vorbereitung

V 334: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen

Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00

V 335: Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen

Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.