

Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungs- maßnahmen auf die Bauwerksbean- spruchungen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 97

bast

Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungs- maßnahmen auf die Bauwerksbean- spruchungen

von

Ursula Freundt
Sebastian Böning

Ingenieurbüro Prof. Dr. U. Freundt
Weimar

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 97

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, 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 Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der BAST zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 89.0267/2011

Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen

Fachbetreuung:

Rolf Kaschner

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
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 0943-9293

ISBN 978-3-95606-058-8

Bergisch Gladbach, Dezember 2013

Kurzfassung – Abstract

Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchung

Im Rahmen von mehreren vorhergehenden Forschungsprojekten wurden vom Forschungsnehmer Untersuchungen zu den Beanspruchungen von Brückenbauwerken infolge des Straßenverkehrs durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führten zu den neuen Verkehrslastannahmen für Straßenbrücken im Eurocode 1, Teil 2 (in Verbindung mit dem deutschen nationalen Anhang) und den Ziellastniveaus in der Nachrechnungsrichtlinie.

Im Ergebnis von Nachrechnungen müssen die Bestandsbrücken ertüchtigt oder neu gebaut werden. Ertüchtigung von Autobahnbrücken heißt Bauen unter Verkehr. Auf den Bestandsbrücken ist eine veränderte Verkehrsführung erforderlich. Mit einer veränderten Verkehrsführung geht aber unter Umständen auch eine Veränderung der Beanspruchungen der Brückenbauwerke infolge dieser „Umnutzung“ einher. Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist es, den Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen zu analysieren.

Unter Anwendung einer in den vorhergehenden Projekten entwickelten Vorgehensweise werden Simulationsrechnungen durchgeführt, in denen verschiedenen Varianten von Spuranordnungen auf Überbauquerschnitten betrachtet werden. Des Weiteren werden differenzierte Verkehrscharakteristiken, also verschiedene Verkehrsstärken und Verkehrszusammensetzungen, betrachtet. Grundsätzlich werden hierbei Beanspruchungen, also zum Beispiel resultierende Biegemomente oder Auflagerkräfte, betrachtet. Aus diesem Grund müssen die Berechnungen für definierte Tragsysteme durchgeführt werden. Im vorliegenden Projekt wurden hierzu zwei reale Brückenbauwerke betrachtet, die sich im Zuge von Autobahnen in Nordrhein-Westfalen befinden. Erweitert werden die Betrachtungen auf ein zusätzliches „virtuelles“ Tragsystem, um ein gewisses Spektrum von Stützweiten und Querschnittsbreiten analysieren zu können.

Grundsätzlich zeigt sich im Ergebnis der Untersuchungen, dass Beanspruchungen aus aktuellem Verkehr bei normaler Verkehrsführung durch das

Lastmodell LM1 des DIN-Fachberichtes 101 abgedeckt werden. Für Beanspruchungen aus zukünftigem Verkehr ist das neue Lastmodell LM1 des Eurocodes erforderlich.

Im Rahmen von Baumaßnahmen wird im Allgemeinen eine 4+0-Verkehrsführung eingerichtet. Hierbei werden bei zweiteiligen Überbauquerschnitten vier Fahrstreifen über einen Querschnitt geleitet. Dies geht einher mit einer Verengung der Fahrspuren. In solchen Fällen ist davon auszugehen, dass es nicht möglich ist, dass Lkw-Überholverkehr stattfinden kann. Dies führt zu einer wesentlichen Verringerung der Beanspruchungen von Brückenbauwerken, da auch in Stausituationen in den zwei Richtungsfahrbahnen keine Lkw-Fahrzeuge nebeneinander stehen können. Für Verkehrszusammensetzungen entsprechend der aus der Nachrechnungsrichtlinie bekannten Verkehrsart „Große Entfernung“ (50 % Sattelzugfahrzeuge) ergibt sich daher eine Abdeckung der Beanspruchungen aus Straßenverkehr durch das Lastmodell BK60 der DIN 1072. Für Verkehrszusammensetzungen analog der Verkehrsart „Mittlere Entfernung“ reicht das Lastmodell BK30/30 zu Abdeckung aus. Weitere Differenzierungen hinsichtlich der Verkehrsstärke führen hier zu keinen wesentlichen Änderungen der getroffenen Aussagen.

Influence of changes in traffic routing on bridges to the effects due to road traffic

In the course of several previous scientific projects, analyses of the action effects of bridges due to road traffic are carried out. The results of these analyses led to the new traffic load model for road bridges in Eurocode 1, part 2 (together with German national annex) and to the target levels of traffic load in the guideline for recalculation of road bridges.

As a result of the recalculation, the existing bridges have to be toughening up or have to be rebuilt. Toughen up of road bridges in the highway network implies work under flowing traffic and a different routing of the traffic on the structure is necessary. A change of the effects of road traffic due to different routing of the traffic is possible. Aim of this scientific project is the evaluation of the influence of

changes in traffic routeing to the effects due to road traffic.

By using a system which was developed in the previous projects, such analyses are carried out. Different variants of alignment of traffic lanes on a cross section are considered. Furthermore different characteristics of road traffic (traffic composition and traffic intensity) are subjects of the analyses. Basically, effects of the road traffic (stress resultants like bending moment or shear forces) for defined structural systems are calculated. In this project two real bridges were analysed, which are situated in the courses of highways in North Rhine-Westphalia. Additionally the examination is extended by a virtual bridge, to consider a spectrum of lengths of spans and widths of cross sections.

Generally the results of the analyses point out, that effects of actual road traffic in a normal traffic routeing are covered by the load model LM1 of the DIN-Fachbericht 101. Effects of future road traffic are covered by the load model LM1 of the Eurocode.

In connection with building measures normally "4+0" traffic routeings are established. In this case four traffic lanes (two per direction) are led over one cross section of a bridge (for a two-part overall cross section system). This comes along with a reduction of the widths of lanes. In such cases it can be assumed, that overtaking processes of heavy load traffic vehicles are impossible. This situation leads to a significant reduction of the effects of road traffic. In cases of traffic jams no heavy load vehicles can stand side by side in two lanes of one direction.

For traffic compositions according to the traffic characteristic "Große Entfernung" of the guideline for recalculation of bridges ("Nachrechnungsrichtlinie") with 50% articulated lorry, the effects of road traffic are covered with the load model BK60 of DIN 1072. For traffic compositions according to the traffic characteristic "Mittlere Entfernung" the load model BK30/30 covers the effects sufficiently. Further differentiations concerning the traffic intensities don't lead to significant changes of these conclusions.

Inhalt

1	Einleitung	7	4	Ergebniszusammenstellung	17
1.1	Stand der Forschung und Problem- beschreibung	7	4.1	Stützmomente Mittelaufleger	17
1.2	Prinzipielle Vorgehensweise	7	4.2	Feldmomente	27
2	Zusammenstellung von Eingangs- daten für die Untersuchungen	8	4.3	Querkräfte an Mittelauflagern	28
2.1	Betrachtete Verkehrs- charakteristiken	8	4.4	Auflagerkräfte	28
2.2	Verkehrsspuren	8	4.5	Ergebniszusammenfassungen	31
2.3	Spurbreite und Spurlage	8	5	Weiterführende Analyse der ermittelten Abstände zwischen den charakteristischen Werten aus Simulation und Last- modellen	34
2.4	Verkehrszusammensetzung und Überholverkehr	9	6	Zusammenfassung	39
2.5	Gesamtgewichte, Achslasten und Geometrie der Fahrzeugtypen	10	7	Literatur	40
2.6	Betrachtete Verkehrsstärken	11	Anhang	41	
2.7	Abbildung von Stauverkehr	11	A	Ergänzende Darstellungen von Einzelergebnissen	42
2.8	Simulationsumfang	12	A.1	Ergänzung zu Auflagerkräften	42
2.9	Berechnung von Beanspruchungs- Zeit-Verläufen	12	B	Ergänzende Darstellungen von Ergebniszusammenfassungen	44
2.10	Statistische Auswertung und Extrapolation	12	B.1	Ergebniszusammenfassung Smanforde – Modell „GE“	44
2.11	Einordnung der ermittelten Ergebnisse	12	B.2	Ergebniszusammenfassung Smanforde – Modell „ME“	45
3	Betrachtete Tragsysteme	12	B.3	Ergebniszusammenfassung Rahmede – Modell „GE“	47
3.1	Grundlagen	12	B.4	Ergebniszusammenfassung Rahmede – Modell „ME“	47
3.2	Brücke Smanforde	13	B.5	Ergebniszusammenfassung Rahmede schmal – Modell „GE“	49
3.2.1	Modellierung des Tragwerkes	14	B.6	Ergebniszusammenfassung Rahmede schmal – Modell „ME“	49
3.2.2	Betrachtete Kennwerte	14			
3.3	Talbrücke Rahmede	14			
3.3.1	Modellierung des Tragwerkes	14			
3.3.2	Betrachtete Kennwerte	16			
3.4	Modifizierte Talbrücke Rahmede	16			
3.5	Ermittlung von Einflussflächen	16			
3.6	Ansatz von Lastmodellen	17			

1 Einleitung

1.1 Stand der Forschung und Problembeschreibung

Im Rahmen von drei vorhergehenden Forschungsprojekten wurden vom Forschungsnehmer Untersuchungen zu den Beanspruchungen von Brückenbauwerken infolge des Straßenverkehrs durchgeführt. Im Forschungsprojekt FE 15.451/2007/FRB (vgl. [2]) wurde hierzu eine Untersuchungsmethode entwickelt und für die Analyse von Beanspruchungen von Brückenbauwerken aus aktuellem und zukünftigem prognostiziertem Verkehrsaufkommen angewendet. Die Ergebnisse dieser Analyse finden in den neuen Verkehrslastannahmen für Straßenbrücken im Eurocode 1, Teil 2 ([8] in Verbindung mit NA [9]) Anwendung. Für den Neubau von Straßenbrücken liegen damit Verkehrslastannahmen vor, die als zukunftssicher angesehen werden können. Dem gegenüber steht aber eine Infrastruktur mit Brückenbauwerken, die zu großen Teilen in den 60er, 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts errichtet wurden. Die zu diesen Errichtungszeitpunkten gültigen Normen und Regelungen enthalten Verkehrslastannahmen, die die Beanspruchungen aus aktuellem starkem und zukünftigem Straßenverkehr nicht abdecken. Nicht alle bestehenden Brückenbauwerke unterliegen aber dem für die aktuellen Lastannahmen berücksichtigten starken Verkehrsaufkommen in der Gegenwart und den daraus abgeleiteten prognostizierten Verkehrsentwicklungen. Im zweiten Forschungsprojekt FE 84.107/2009 (vgl. [3]) wurde daher untersucht, welche Beanspruchungen sich infolge breit differenzierten Verkehrs (hinsichtlich Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung) ergeben und inwieweit diese Beanspruchungen durch aktuelle und historische Verkehrslastmodelle abgedeckt werden können. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führten zu den Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie (vgl. [10]), die in Abhängigkeit der objektspezifischen Verkehrscharakteristik (Stärke und Zusammensetzung) und der Querschnittsbelegung Lastmodelle zur Abdeckung der Beanspruchung aus diesem objektspezifischen Verkehr definieren. Diese liegen zum Teil deutlich unter den Beanspruchungsniveaus, die sich aus den aktuellen Verkehrslastannahmen für den Brückenneubau ergeben würden. Im Rahmen des Forschungsprojektes FE 15.0499/2010/FRB (vgl. [4]) wurden aufbauend auf den Ergebnissen der vorgenannten Forschungsprojekte Grundlagen für zuverlässigkeits-

theoretische Analysen geschaffen, in denen ebenfalls die objektspezifische Charakteristik des Verkehrsaufkommens Berücksichtigung findet.

Somit liegen Regelwerke für den Neubau und die Nachrechnung von Brückenbauwerken vor. Im Ergebnis der Nachrechnung müssen die Bestandsbrücken ertüchtigt oder neu gebaut werden. Ertüchtigung von Autobahnbrücken heißt Bauen unter Verkehr. Auf den Bestandsbrücken ist eine veränderte Verkehrsführung erforderlich. Mit einer veränderten Verkehrsführung geht aber unter Umständen auch eine Veränderung der Beanspruchungen der Brückenbauwerke infolge dieser „Umnutzung“ einher. Analysen zum Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen wurden bisher nicht durchgeführt und sind daher Gegenstand des aktuellen Forschungsprojektes, zu dem hier der Schlussbericht vorgelegt wird.

1.2 Prinzipielle Vorgehensweise

Grundlage der durchzuführenden Untersuchungen sind Simulationsrechnungen des Verkehrs mit anschließender Berechnung von daraus resultierenden Beanspruchungs-Zeit-Verläufen. Diese werden statistisch ausgewertet und durch Extrapolation Werte der Beanspruchungen mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren ermittelt. Diese stellen definitionsgemäß den charakteristischen Wert der Beanspruchung dar. Im Rahmen der Untersuchungen werden verschiedene Verkehrscharakteristiken und veränderte Spurgeometrien, die im Rahmen einer veränderten Verkehrsführung wegen Baumaßnahmen notwendig werden, betrachtet. Details zu der technischen Umsetzung der Untersuchungen können [2] und [3] entnommen werden.

In Kapitel 2 werden die verwendeten Eingangsdaten des Verkehrs zusammengestellt und jeweils auf die herangezogenen Quellen und Annahmen verwiesen. Die Untersuchungen werden für drei ausgewählte Tragwerke durchgeführt. Hierbei handelt es sich um zwei reale Tragsysteme und ein abgeleitetes modifiziertes Tragsystem. In Kapitel 3 werden diese beschrieben. Anschließend erfolgt in Kapitel 4 eine Zusammenstellung der ermittelten Ergebnisse durch eine Gegenüberstellung der durch Simulation ermittelten charakteristischen Werte und der entsprechenden auf Lastmodellbasis ermittelten charakteristischen Werte.

2 Zusammenstellung von Eingangsdaten für die Untersuchungen

2.1 Betrachtete Verkehrscharakteristiken

Im Rahmen der Untersuchungen zu Beanspruchungen von bestehenden Brückenbauwerken in [3] wurden drei verschiedene Verkehrsarten betrachtet, die sich im Wesentlichen hinsichtlich ihrer Verkehrszusammensetzung (Lkw-Verkehr) unterscheiden. Aufgrund eingeschränkter Datengrundlage wurden hierzu die Zahlenwerte des Ermüdungslastmodelles 4 des Eurocodes 1, Teil 2 herangezogen (vgl. [8]). Für die drei Verkehrsarten „Große Entfernung“, „Mittlere Entfernung“ und „Ortverkehr“ werden hierin Zahlenwerte für den Anteil von 5 ausgewiesenen Lkw-Typen am Schwerverkehr angegeben. In den hier vorliegenden Untersuchungen wird daraus die Verkehrsart „Große Entfernung“ (mit „GE“ abgekürzt) und „Mittlere Entfernung“ (mit „ME“ abgekürzt) betrachtet. Ergänzend wird aus den Untersuchungen für das zukünftige Verkehrsaufkommen in [2] ein ausgewähltes Szenario für den prognostizierten zukünftigen Verkehr betrachtet, in dem von einem erhöhten zulässigen Gesamtgewicht des Sattelzuges (TLS Code 98 – vgl. [11]) ausgegangen wurde (mit „P 98m“ abgekürzt).

2.2 Verkehrsspuren

Gegenstand der laufenden Untersuchungen ist die sogenannte 4+0-Verkehrsführung. Hierbei werden auf einem Streckenabschnitt vier Fahrspuren auf eine Richtungsfahrbahn gelegt. Diese Verkehrsführung geht im Allgemeinen mit einer Verengung der Spurbreite einher. Für Brückenbauwerke mit getrennten Überbauten für die Richtungsfahrbahnen bedeutet dies eine Spuranordnung entsprechend der in Bild 1 dargestellten Prinzipskizze. Die in der Darstellung enthaltenen Bezeichnungen der

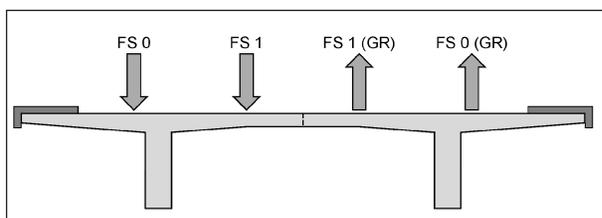


Bild 1: Prinzipskizze Spuranordnung

Spuren verdeutlichen die hier verwendeten Abkürzungen der Spuren. Da für beide Fahrtrichtungen jeweils die identischen Verkehrscharakteristiken angenommen und untersucht werden, unterscheiden sich die im Folgenden zusammengestellten Eingangsdaten für die beiden in Fahrtrichtung rechts liegenden Spuren („FS 0“ und „FS 0 (GR)“) und die jeweiligen Überholspuren („FS 1“ und „FS 1 (GR)“) nicht voneinander und werden daher auch nicht getrennt aufgeführt.

2.3 Spurbreite und Spurlage

In den Untersuchungen werden drei verschiedene Varianten von Breite und Lage der vier betrachteten Spuren behandelt. Die erste Variante ist in Bild 2 dargestellt. Für die vier Spuren wird dabei eine einheitliche Breite von 3,0 m angenommen. Auch wenn sich diese Geometrie von realen Spurabmessungen unterscheidet, wird diese Variante als „Standardspurlage“ bezeichnet, da in den vorhergehenden Untersuchungen in [2] und [3] ebenfalls diese Spurabmessungen als „Normalsituation“ angenommen wurden. Hierfür wird die Abkürzung „SSL“ verwendet.

Dargestellt ist in diesem und in den Bildern 3 und 4 ein Querschnitt mit einer Breite zwischen den Schrammborden von 12,0 m. Diese Fahrbahnbreite ist einerseits analog zu dem in Kapitel 3 betrachteten Tragsystem (Überbauquerschnitt einer Richtungsfahrbahn) und andererseits analog zu den in [2] und [3] untersuchten Querschnitten mit vier Fahrstreifen. Vereinfachend wird ebenfalls angenommen, dass sich zwischen den beiden Richtungen keine baulichen Fahrstreifentrennungen befinden.

Bei der in Bild 3 dargestellten Variante wird von einer reduzierten Breite der Überholfahrstreifen ausgegangen. Angenommen wird hier aus rechen-technischen Gründen eine Breite von 2,4 m, obwohl hier bei einer 4+0-Verkehrsführung üblicherweise eine Fahrstreifenbreite von 2,5 m verwendet wird. Aufgrund der Verengung der Spuren wird diese Variante als „Enge Spurlage“ bezeichnet und mit „ESL“ abgekürzt. In der dritten Variante wird davon ausgegangen, dass durch bauliche Maßnahmen ein Teilbereich der ursprünglichen Kappe als Fahrbahnbereich genutzt wird. Wie in Bild 4 dargestellt, wird hierbei angenommen, dass die Spurgeometrie der Variante „ESL“ um 50 cm zum Querschnittsrand hin verschoben wird. Diese Variante wird hier

als „Kappenspurlage“ bezeichnet und mit „KSL“ abgekürzt.

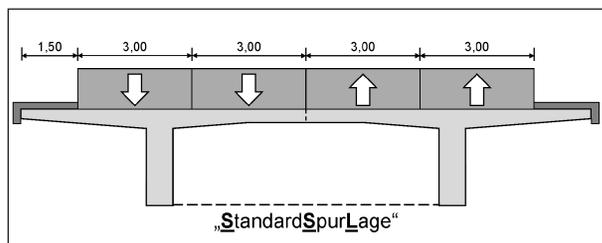


Bild 2: Spurbreite und -lage Variante „SSL“

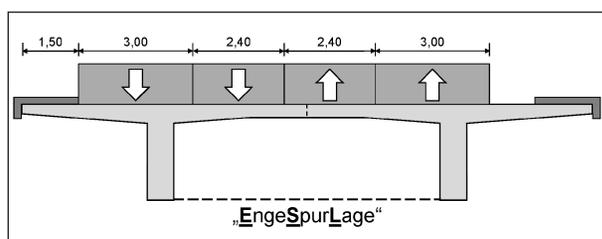


Bild 3: Spurbreite und -lage Variante „ESL“

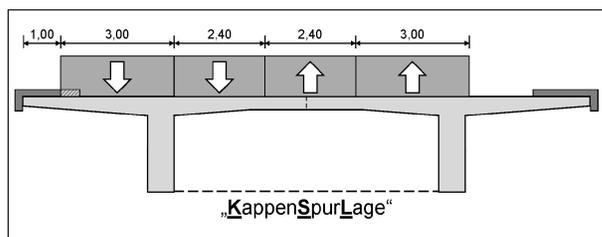


Bild 4: Spurbreite und -lage Variante „KSL“

2.4 Verkehrszusammensetzung und Überholverkehr

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, werden für die Untersuchungen die drei Modelle „GE“, „ME“ und „P 98m“ zur Abbildung von verschiedenen Verkehrscharakteristiken betrachtet. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Verkehrszusammensetzung und der verwendeten Gesamtgewichtsverteilungen für die enthaltenen Fahrzeugtypen. In Tabelle 1 sind hierzu die Zahlenwerte der Fahrzeugtypenhäufigkeit (Verkehrszusammensetzung) zusammengestellt.

Für die in Fahrtrichtung rechts liegenden Fahrstreifen (FS 0) wird generell von reinem Lkw-Verkehr ausgegangen. Die aus dem Ermüdungslastmodell 4 des Eurocodes (vgl. [8]) übernommenen Werte sind darin fett gekennzeichnet. Für die zweiten Fahrstreifen (FS 1) werden zwei verschiedene Varianten der Verkehrszusammensetzung betrachtet. In der ersten Variante wird angenommen, dass sich in den Modellen „GE“ und „ME“ der Verkehr zu 20 % aus Lkw-Fahrzeugen und zu 80 % aus Pkw zusammensetzt und wird demnach Lkw-Überholverkehr abgebildet (mit „mit Ü.-Verkehr“ abgekürzt). In der zweiten Variante wird angenommen, dass kein Überholverkehr durch Lkw stattfindet und damit auf FS 1 nur Pkw verkehren (mit „ohne Ü.-Verkehr“ abgekürzt). Die Zahlenwerte für das Modell „P 98 m“ wurden aus [2] übernommen (dort mit „Schwerver-

Modell	Fahrstreifen	Fahrzeugtypenhäufigkeit								Pkw
		Typ 8	Typ 9	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Typ 98m	72t Kran	
„GE“	FS 0	20,0 %	5,0 %	---	10,0 %	15,0 %	50,0 %	---	---	0,0 %
	FS 1 (mit Ü.-Verkehr)	4,0 %	1,0 %	---	2,0 %	3,0 %	10,0 %	---	---	80,0 %
	FS 1 (ohne Ü.-Verkehr)	0,0 %	0,0 %	---	0,0 %	0,0 %	0,0 %	---	---	100,0 %
„ME“	FS 0	40,0 %	10,0 %	---	5,0 %	15,0 %	30,0 %	---	---	0,0 %
	FS 1 (mit Ü.-Verkehr)	8,0 %	2,0 %	---	1,0 %	3,0 %	6,0 %	---	---	80,0 %
	FS 1 (ohne Ü.-Verkehr)	0,0 %	0,0 %	---	0,0 %	0,0 %	0,0 %	---	---	100,0 %
„P 98m“	FS 0	12,61 %	---	5,67 %	19,56 %	9,14 %	---	52,44 %	0,58 %	0,0 %
	FS 1 (mit Ü.-Verkehr)	4,42 %	---	1,99 %	6,86 %	3,20 %	---	18,39 %	0,20 %	64,94 %
	FS 1 (ohne Ü.-Verkehr)	0,0 %	---	0,0 %	0,0 %	0,0 %	---	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Tab. 1: Fahrzeugtypenhäufigkeit für die verschiedenen Modelle

kehrsvariante D“ bezeichnet) und ergeben sich aus der dort verwendeten Modellierung dieses Prognoseszenarios.

Es ist nachvollziehbar, dass für die in Kapitel 2.3 beschriebenen Varianten der Spurbreite und Spurlage „ESL“ und „KSL“ auf FS 1 aufgrund der Spurbmessungen praktisch kein Lkw-Überholverkehr stattfinden kann.

Zur Ergebnisverifikation werden diese Fälle aber dennoch rechnerisch betrachtet und in den Ergebnisdarstellungen entsprechend gekennzeichnet.

2.5 Gesamtgewichte, Achslasten und Geometrie der Fahrzeugtypen

Für die Durchführung der Untersuchungen ist es erforderlich, die in Tabelle 1 aufgeführten Fahrzeugtypen weiter zu definieren. Hierbei ist es zunächst erforderlich, die Gesamtgewichtsverteilungen pro Fahrzeugtyp festzulegen. In Tabelle 2 sind hierzu die Parameter der verwendeten zwei- bzw. dreimodalen Normalverteilungen aufgeführt.

Für die Modelle „GE“ und „P 98m“ basieren die Werte auf WIM-Daten von der A 61 bzw. Annahmen

	Gesamtgewichtsverteilung [kN]								
	Typ 8	Typ 9	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Typ 98m	72t Kran	Pkw
Modell „GE“									
μ_1	59,60	150,10	---	276,80	156,70	259,60	---	---	10,00
σ_1	14,60	30,10	---	59,50	18,80	92,00	---	---	0,00
ξ_1	0,490	0,468	---	0,690	0,340	0,620	---	---	1,000
μ_2	91,70	193,60	---	414,50	211,40	405,30	---	---	---
σ_2	44,00	22,30	---	32,50	52,80	24,80	---	---	---
ξ_2	0,510	0,182	---	0,310	0,660	0,380	---	---	---
μ_3	---	246,10	---	---	---	---	---	---	---
σ_3	---	31,80	---	---	---	---	---	---	---
ξ_3	---	0,350	---	---	---	---	---	---	---
Modell „ME“									
μ_1	57,00	150,10	---	142,20	183,50	201,50	---	---	10,00
σ_1	12,90	30,10	---	55,80	19,10	70,80	---	---	0,00
ξ_1	0,220	0,468	---	0,070	0,090	0,470	---	---	1,000
μ_2	75,40	193,60	---	247,10	206,10	336,10	---	---	---
σ_2	37,90	22,30	---	35,60	53,40	50,10	---	---	---
ξ_2	0,640	0,182	---	0,580	0,810	0,400	---	---	---
μ_3	159,90	246,10	---	350,90	344,30	374,80	---	---	---
σ_3	28,50	31,80	---	46,80	51,10	18,80	---	---	---
ξ_3	0,140	0,350	---	0,350	0,100	0,130	---	---	---
Modell „P98 m“									
μ_1	59,60	---	190,30	276,80	156,70	---	259,60	720,00	10,00
σ_1	14,60	---	23,20	59,50	18,80	---	92,00	63,30	0,00
ξ_1	0,490	---	0,200	0,690	0,340	---	0,620	1,000	1,000
μ_2	91,70	---	208,40	414,50	211,40	---	526,90	---	---
σ_2	44,00	---	73,90	32,50	52,80	---	24,80	---	---
ξ_2	0,510	---	0,800	0,310	0,660	---	0,380	---	---
μ_3	---	---	---	---	---	---	---	---	---
σ_3	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ξ_3	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tab. 2: Parameter der Fahrzeuggesamtgewichtsverteilungen

Achse	Verteilung des Gesamtgewichtes auf die Achsen [%]								
	Typ 8	Typ 9	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Typ 98m	72t Kran	Pkw
1	44,9 %	34,2 %	25,8 %	20,9 %	30,6 %	20,8 %	20,8 %	16,6 %	50,0 %
2	55,1 %	38,1 %	37,2 %	25,8 %	30,9 %	28,1 %	28,1 %	16,6 %	50,0 %
3		27,7 %	18,9 %	16,1 %	19,1 %	17,0 %	17,0 %	16,6 %	
4			18,1 %	19,5 %	19,4 %	17,0 %	17,0 %	16,6 %	
5				17,7 %		17,1 %	17,1 %	16,8 %	
6								16,8 %	

Tab. 3: Verteilung der Gesamtgewichte auf die einzelnen Fahrzeugachsen

Achsa- abstand	Achsabstände [m] auf volle 10 cm gerundet								
	Typ 8	Typ 9	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Typ 98m	72t Kran	Pkw
1-2	4,5	4,3	4,9	4,6	3,7	3,7	3,7	1,9	2,5
2-3		1,3	6,5	1,3	6,6	5,6	5,6	2,9	
3-4			5,0	5,2	1,3	1,3	1,3	1,7	
4-5				4,6		1,3	1,3	2,6	
5-6								1,7	

Tab. 4: Achsabstände der Fahrzeugtypen

für den Fahrzeugtyp „98m“ (vgl. [2] und [6]). Für das Modell „ME“ basieren die Werte im Wesentlichen auf Messungen an der A 8 (Talbrücke Denkendorf im Rahmen des in [5] zusammengefassten Forschungsprojektes).

Aus den im Rahmen der Simulationsrechnungen zufällig mit Hilfe der Verteilungsparameter ermittelten Gesamtgewichten werden durch deterministische Werte für die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die Achsen Achslasten berechnet. Die hierfür verwendeten Zahlenwerte sind für jeden in den drei Modellen vorkommenden Fahrzeugtyp in Tabelle 3 zusammengestellt. Des Weiteren werden Werte für die Achsabstände benötigt, die analog Tabelle 4 zusammengefasst sind.

2.6 Betrachtete Verkehrsstärken

Analog zu den Untersuchungen in [3] werden auch in den Analysen hier vier verschiedene Schwerverkehrsstärken (DTV-SV) betrachtet. Analysiert werden dabei in den Modellen „GE“ und „ME“ die DTV-SV-Werte (pro Fahrtrichtung) 10.000, 5.000, 1.000 und 500. Im Modell „P 98m“ wird, da es sich um ein Szenario für zukünftigen extremen Verkehr handelt, eine deutlich größere Schwerverkehrsstärke angenommen. Die damit beschriebene Lkw-Anzahl pro Fahrtrichtung wird entsprechend den betrachteten Varianten des Überholverkehrs im Verhältnis 80 zu

20 auf FS 0 und FS 1 aufgeteilt („mit Ü.-Verkehr“) bzw. nur auf FS 0 angesetzt („ohne Ü.-Verkehr“). In beiden Varianten werden auf FS 1 zusätzlich Pkw berücksichtigt. Die entsprechenden Zahlenwerte der zu simulierenden Fahrzeuganzahl pro Tag sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die fett gekennzeichneten Werte stellen die effektive Simulationsanzahl dar.

Aus der Fahrzeuganzahl pro Tag, der aus der Verkehrszusammensetzung resultierenden mittleren Fahrzeuglänge und einer angenommenen konstanten Fahrzeuggeschwindigkeit im fließenden Verkehr von 80 km/h ergeben sich aus einem in [1] vorgestellten Ansatz Parameter von logarithmischen Verteilungsfunktionen zur zufälligen Generierung von Fahrzeugabständen im fließenden Verkehr. Diese Parameter werden an dieser Stelle nicht weiter aufgeführt.

2.7 Abbildung von Stauverkehr

Neben der Abbildung von fließendem Verkehr über die Generierung zufälliger Fahrzeugabstände wird Verkehr mit zufällig eingemischten Stauabschnitten berücksichtigt. Diese Staugenerierung beruht zunächst auf der Verwendung von zwei Zufallszahlen, über die „entschieden“ wird, ob sich ein neu generiertes Fahrzeug im fließenden Verkehr oder im Stauverkehr befindet. Dieses Vorgehen ist in [2]

Variante Verkehrsstärke	DTV-SV pro Richtung	DTV-SV pro Spur				Pkw in FS 1	DTV pro Spur				
		FS 0		FS 1			FS 0		FS 1		
		mit Ü.-Verkehr	ohne Ü.-Verkehr	mit Ü.-Verkehr	ohne Ü.-Verkehr		mit Ü.-Verkehr	ohne Ü.-Verkehr	mit Ü.-Verkehr	ohne Ü.-Verkehr	
V1		10.000	8.000	10.000	2.000	0	8.000	8.000	10.000	10.000	8.000
V2		5.000	4.000	5.000	1.000	0	4.000	4.000	5.000	5.000	4.000
V3		1.000	800	1.000	200	0	800	800	1.000	1.000	800
V4		500	400	500	100	0	400	400	500	500	400
„P 98m“		21.602	17.282	21.602	4.320	0	8.000	17.282	21.602	12.320	8.000

Tab. 5: Betrachtete Verkehrsstärken (Fahrzeuganzahl)

detailliert beschrieben. Eine darin zu treffende Grundannahme ist der Abstand zwischen den Fahrzeugen (Achse zu Achse) im Stauverkehr. Hierzu werden analog zu [3] drei verschiedene Varianten betrachtet. In der ersten Variante wird ein konstanter Stauabstand von 5 m angenommen. Diese Variante wird in den Ergebnisdarstellungen in diesem Schlussbericht mit „Stau (5 m)“ bezeichnet. In der zweiten und dritten Variante wird ein zwischen einer definierten unteren und oberen Grenze gleichverteilter zufälliger Stauabstand generiert. Als untere Grenze wird hierbei ein Wert von 5 m angenommen und als obere Grenze ein Werte von 15 m bzw. 25 m. Entsprechend ergeben sich die verwendeten Bezeichnungen zu „Stau (5-15 m)“ bzw. „Stau (5-25 m)“.

2.8 Simulationsumfang

Die Länge der simulierten Verkehrsbänder wurde für die verschiedenen betrachteten Verkehrsstärken unterschiedlich gewählt. Für die Verkehrsstärke V1 (DTV-SV pro Richtung 10.000) und für das Modell „P 98m“ wurden Fahrzeugfolgen entsprechend dem Verkehrsablauf eines Tages simuliert. Für die Verkehrsstärke V2 (5.000) wurden zwei Tage, die Verkehrsstärke V3 (1.000) 10 Tage und die Verkehrsstärke V4 (500) 20 Tage Verkehr simuliert.

2.9 Berechnung von Beanspruchungs-Zeit-Verläufen

Analog zu den bisherigen Untersuchungen werden für die Berechnung von Beanspruchungen infolge der „Überfahrt“ der simulierten Fahrzeugfolgen Einflussflächen ausgewiesener Kennwerte (Momente, Querkräfte, Auflagerkräfte) für ausgewählte Trag-

systeme verwendet. Auf die betrachteten Tragsysteme und die analysierten Kennwerte wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

2.10 Statistische Auswertung und Extrapolation

Analog zu den bisherigen Untersuchungen wird auch hier für die statistische Auswertung der berechneten Kennwert-Zeit-Verläufe und die anschließende Extrapolation eine Klassengrenzendurchgangszählung realisiert und das Auszählergebnis durch eine Rice-Funktion angenähert (vgl. umfangreiche Beschreibungen in [2]).

Die Extrapolation erfolgt hin zu Werten der betrachteten Beanspruchungen mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren (charakteristischer Wert).

2.11 Einordnung der ermittelten Ergebnisse

Zur Einordnung der ermittelten charakteristischen Werte der betrachteten Beanspruchungen werden diese den entsprechenden Werten aus der Anwendung der Lastmodelle LMM (EC 1), LM1 (DIN FB), BK60/30, BK60, BK30/30 und BK45 (DIN 1072) gegenübergestellt.

3 Betrachtete Tragsysteme

3.1 Grundlagen

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden dem Forschungsnehmer vom Auftraggeber einige reale Brückenbauwerke in Nordrhein-Westfalen für die

Untersuchungen vorgeschlagen und vorhandene Bestandsunterlagen übergeben. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden daraus die Brücke Smanforde im Zuge der BAB 1 und die Talbrücke Rahmede im Zuge der BAB 45 für die Untersuchungen ausgewählt. Durch eine Modifikation der Querschnittsbreite der Talbrücke Rahmede wurde ein drittes Tragsystem für die Untersuchungen gebildet. Nachfolgend werden die drei Tragsysteme näher beschrieben.

3.2 Brücke Smanforde

Bei der Brücke Smanforde im Zuge der BAB 1 handelt es sich um ein Dreifeldsystem (Stützweiten 30 m – 40 m – 30 m). Für beide Fahrtrichtungen existieren getrennte Überbauten mit einer Gesamtbreite je Überbau von ca. 15 m. Betrachtet wurde in den Untersuchungen ein Überbau, da zu überprüfen ist, wie sich eine 4+0-Verkehrsführung, also die Überführung des gesamten Verkehrs beider Fahrtrichtungen auf einem Überbau, auf die resultierenden Bauwerksbeanspruchungen infolge Straßenverkehrs auswirkt. In den Bildern 5 bis 7 sind Auszüge aus den übergebenen Unterlagen zum Brückenbauwerk aufgeführt.

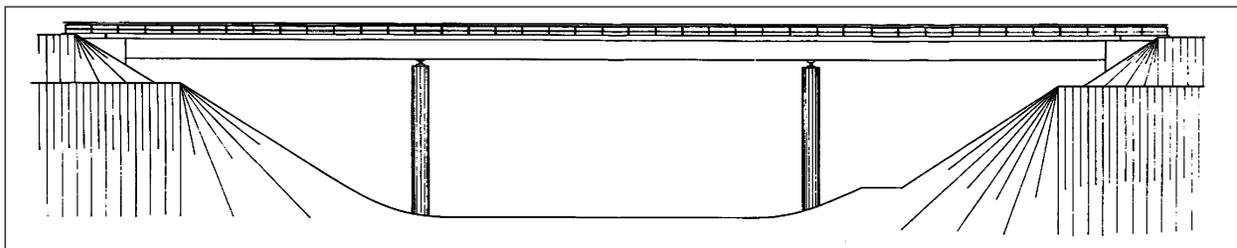


Bild 5: Brücke Smanforde im Zuge der BAB 1 – Ansicht

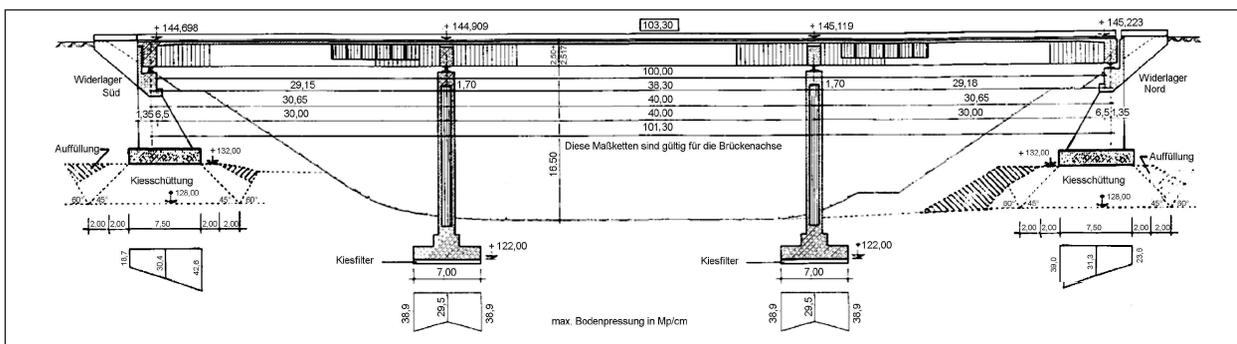


Bild 6: Brücke Smanforde im Zuge der BAB 1 – Längsschnitt

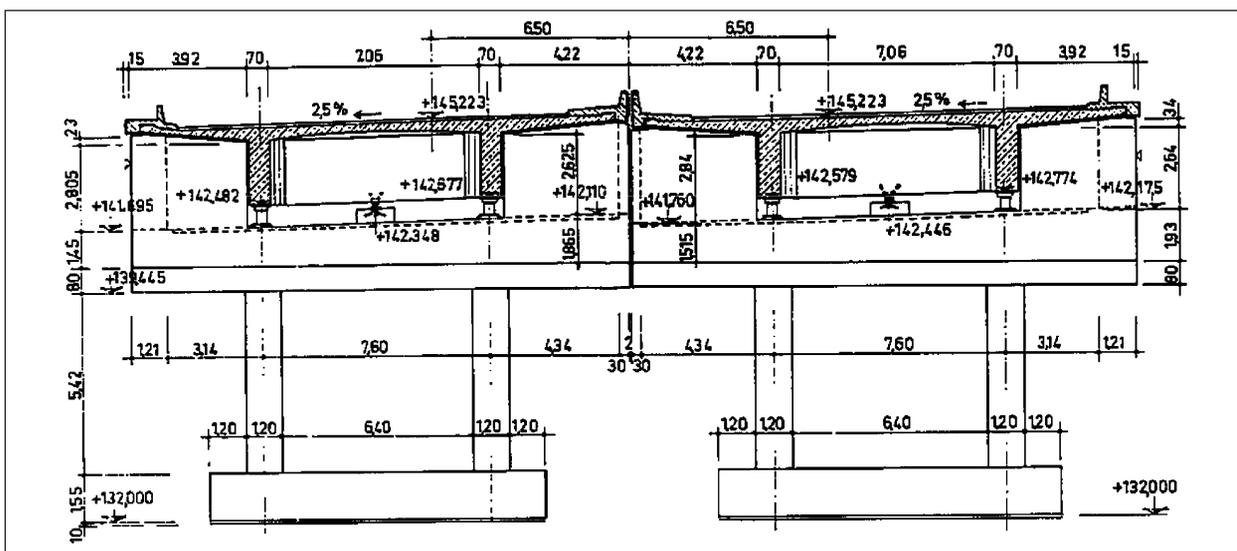


Bild 7: Brücke Smanforde im Zuge der BAB 1 – Querschnittsdarstellung

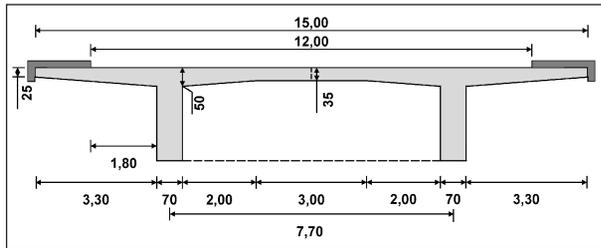


Bild 8: Idealisierte Querschnittsgeometrie im verwendeten Rechenmodell

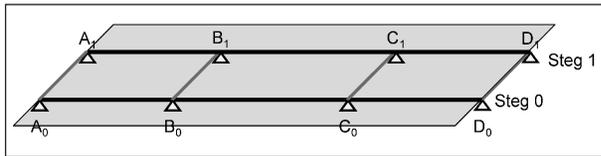


Bild 9: Verwendete Bezeichnungen von Stegen und Auflagerepunkten

3.2.1 Modellierung des Tragwerkes

Für die Berechnung von Einflussflächen für ausgewählte Kennwerte ist zunächst die Bildung eines Tragwerksmodells erforderlich. Hierzu wird der Querschnitt aus Bild 7 hinsichtlich der Abmessungen und der Querneigung vereinfacht. In Bild 8 ist der modellierte Querschnitt mit der idealisierten Geometrie dargestellt. Im Berechnungsmodell werden die Hauptträger als 3D-Balken mit ihrer mitwirkenden Plattenbreite berücksichtigt. Die Quertragwirkung wird durch Plattenelemente abgebildet, welche in Längsrichtung nur eine geringe Steifigkeit besitzen und die Querverteilung der Verkehrslasten über einen torsionssteifen Anschluss an Hauptträger gewährleisten. Die Querträger über den Auflagern des realen Brückenbauwerkes werden ebenfalls als Balken modelliert. Mit dem so im Programmsystem ANSYS erzeugten Modell können Einflussflächen beliebiger Kennwerte ermittelt werden. Die Auswahl der betrachteten Kennwerte ist in Kapitel 3.2.2 beschrieben.

3.2.2 Betrachtete Kennwerte

Als zu betrachtende Kennwerte wurden Stützmomente im Bereich eines Mittelaufagers, Feldmomente im Rand- und Mittelfeld, Querkräfte im Bereich eines Mittelaufagers und Auflagerkräfte an zwei Randauflagern und zwei Mittelauflagern ausgewählt. Für die detailliertere Angabe der betrachteten Kennwerte sind in Bild 9 die verwendeten Bezeichnungen für Auflager und Stege aufgeführt. Die betrachteten Momente sind in Bild 10 eingetragen. Für das Stützmoment wurden zwei Kennwerte

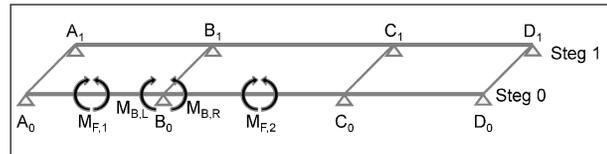


Bild 10: Verwendete Bezeichnungen untersuchter Biegemomente

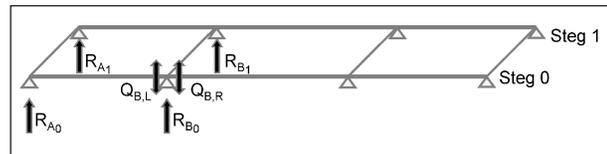


Bild 11: Verwendete Bezeichnungen untersuchter Querkräfte und Auflagerkräfte

($M_{B,L}$ und $M_{B,R}$) betrachtet, da sich hier aufgrund der Torsionswirkung der Auflagerquerträger unterschiedliche Einflussflächen ergeben. Die untersuchten Querkräfte und Auflagerkräfte sind in Bild 11 dargestellt.

3.3 Talbrücke Rahmede

Bei der Talbrücke Rahmede im Zuge der BAB 45 handelt es sich um eine Verbundbrücke ausgeführt als 6-Feld-System mit einer Gesamtlänge von 453 m bei Einzelstützweiten von 53 m – 64 m – 84 m – 104 m – 84 m – 64 m (vgl. Bild 12). Der Querschnitt hat eine Gesamtbreite von rund 32 m und überführt beide Richtungsfahrbahnen mit einer Breite von 11,50 m bzw. 12,75 m (vgl. Bild 13). Die beiden Hauptträger sind ca. alle 2,5 m durch Querträger verbunden, diese sind als Fachwerkkonstruktion ausgeführt. In der Draufsicht ist die Brücke gekrümmt (vgl. Bild 14). Für die Untersuchungen wird angenommen, dass in den drei betrachteten Varianten der Verkehrsführung „SSL“, „ESL“ und „KSL“ (vgl. Kapitel 2.3) die Fahrstreifen auf einer Seite des Gesamtquerschnittes entlanggeführt werden. Für die Modellierung des Tragwerkes wurden einige Vereinfachungen hinsichtlich der Geometrie des Tragwerkes getroffen. Diese werden im Kapitel 3.3.1 beschrieben.

3.3.1 Modellierung des Tragwerkes

Für die Modellierung des Tragwerkes wurde zunächst ein vereinfachtes Längssystem verwendet. Dieses ist in Bild 15 dargestellt. Gegenüber dem tatsächlichen System wurden lediglich fünf Felder angenommen (kurzes Feld mit 53 m Stützweite wird nicht betrachtet) und der Abstand der Querträ-

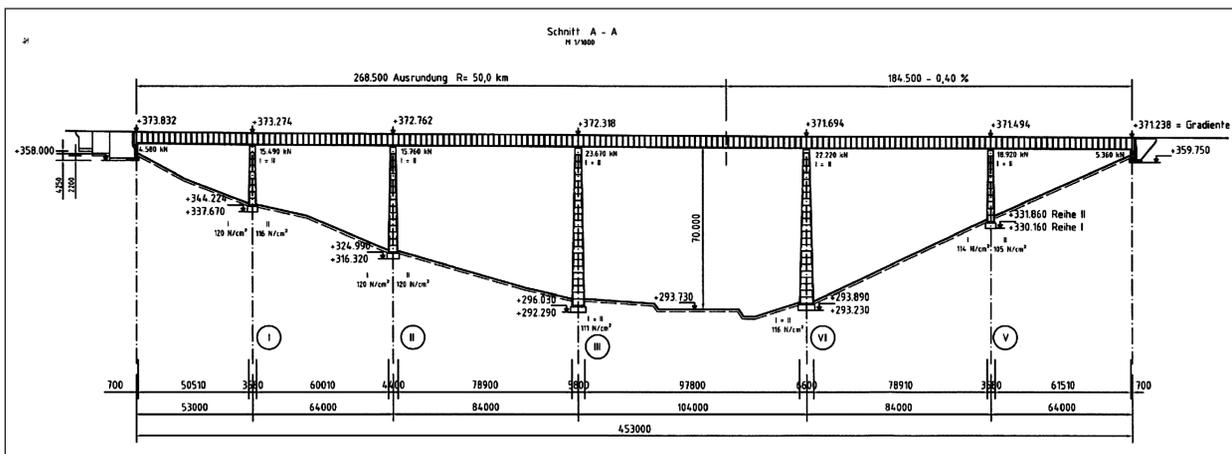


Bild 12: Talbrücke Rahmede im Zuge der BAB 45 – Längsschnitt

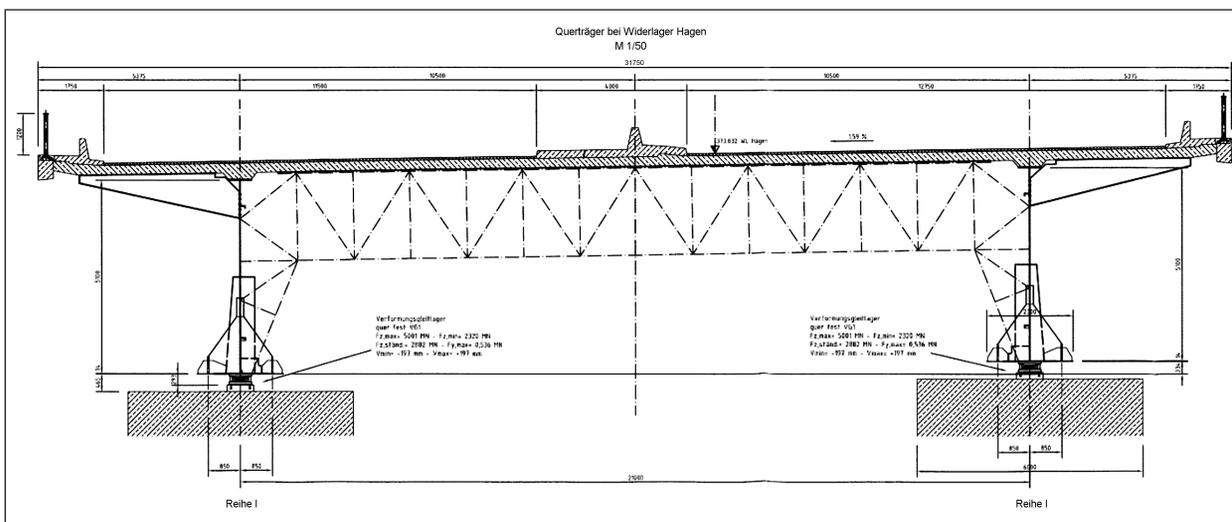


Bild 13: Talbrücke Rahmede im Zuge der BAB 45 – Querschnitt

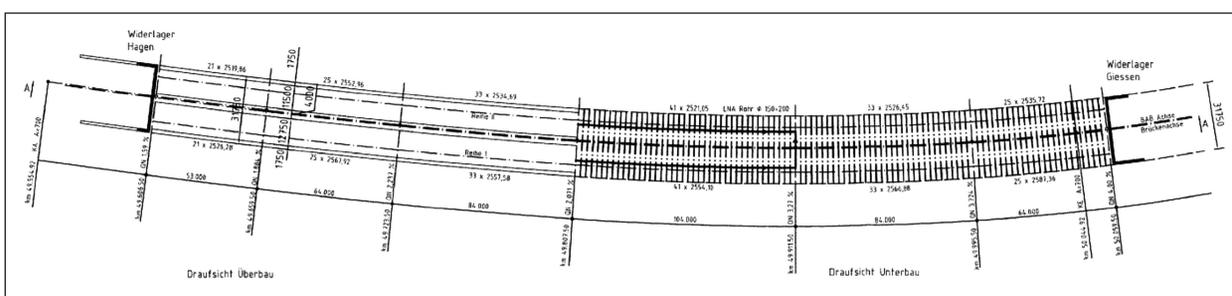


Bild 14: Talbrücke Rahmede im Zuge der BAB 45 – Draufsicht

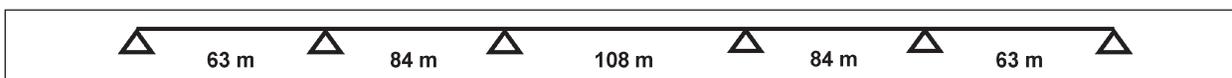


Bild 15: Vereinfachtes Längssystem

ger vereinfacht mit 3,0 m angesetzt. Für einen überschaubaren Modellierungsaufwand mit Nutzung von Symmetrien wurden die Einzelstützweiten auf ganzzahlig durch 3 teilbare Abmessungen gesetzt. Des Weiteren wurde die Krümmung des realen Tragwerkes nicht mit abgebildet.

Die Berechnung der Einflussflächen erfolgte zur Begrenzung des Berechnungsumfanges in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurde ein Schalenmodell des halben Tragwerkes in Längsrichtung erstellt. An diesem Modell wurden zunächst an ausgezeichneten Schnitten Quereinflusslinien der Durch-

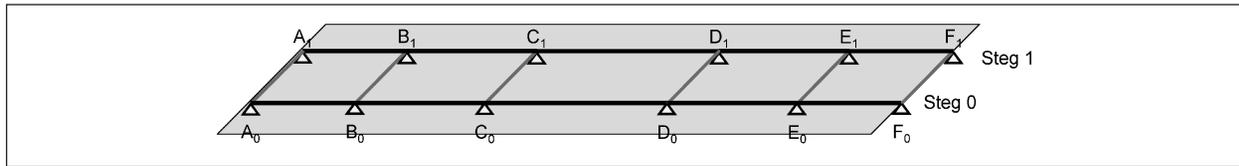


Bild 16: Verwendete Bezeichnungen von Stegen und Auflagerpunkten

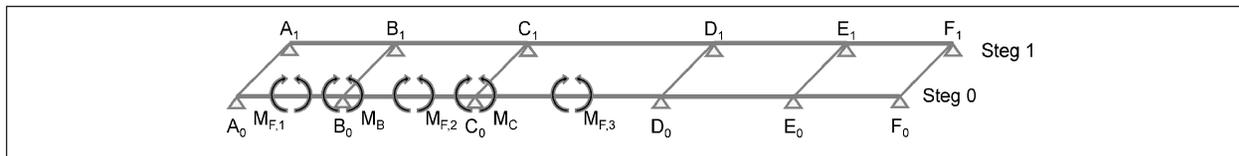


Bild 17: Verwendete Bezeichnungen untersuchter Biegemomente

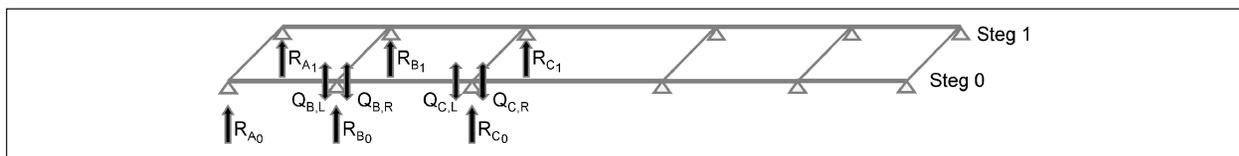


Bild 18: Verwendete Bezeichnungen untersuchter Querkräfte und Auflagerkräfte

biegung und Auflagerkräfte bestimmt und Durchbiegungsverläufe unter definierten Lasten ermittelt. Im zweiten Schritt wurde ein Trägerrostmodell des gesamten Tragwerks erstellt. Die Steifigkeiten der Längs- und Querträger wurden auf der Basis der Durchbiegungen des Schalenmodells derart festgelegt, dass die Abweichungen zwischen beiden Modellen minimiert wurden. An diesem Trägerrostmodell wurden die Längseinflusslinien für beide Hauptträger ermittelt. Die Einflussflächen für die gesuchten Kennwerte wurden anschließend aus den Längs- und Quereinflusslinien bestimmt.

3.3.2 Betrachtete Kennwerte

Die Auswahl der betrachteten Kennwerte ist prinzipiell analog zur Brücke Smanforde. Betrachtete werden Stütz- und Feldmomente sowie Querkräfte an zwei Mittelauflagern und Auflagerkräfte. Analog zu den Bildern 9 bis 11 sind in den Bildern 16 bis 18 die hier verwendeten Bezeichnungen und Lokalisierungen der betrachteten Kennwerte aufgeführt.

3.4 Modifizierte Talbrücke Rahmede

Mit den beiden oben beschriebenen Tragsystemen liegen für die Untersuchungen ein Tragwerk mit moderaten Einzelstützweiten (30 m bzw. 40 m) und einer geringen Querschnittsbreite (aufgrund des zweiteiligen Überbauquerschnittes) und ein Tragwerk mit großen Einzelstützweiten (bis 108 m) und

großer Querschnittsbreite (einteiliger Überbauquerschnitt) vor. Vorhergehende Untersuchungen in [2] und [3] zeigen, dass bei den aufzustellenden Vergleichen zwischen charakteristischen Werten aus Simulationsrechnungen und Werten aus der Anwendung verschiedener Lastmodelle ungünstigere Verhältnisse mit zunehmender Stützweite und günstigere Verhältnisse mit zunehmender Querschnittsbreite auftreten. Zur Abrundung der Untersuchungen wird daher ein weiteres Tragsystem betrachtet, das große Einzelstützweiten bei geringer Querschnittsbreite aufweist. Vereinfachend wurde hierzu die Talbrücke Rahmede modifiziert, indem eine Querschnittsbreite analog zur Brücke Smanforde (15 m) angenommen wurde. Die Abmessungen in Längsrichtung sind dabei analog zur Talbrücke Rahmede. In der Modellierung des Tragwerkes wurde diese Modifikation umgesetzt, indem die Steifigkeitsverhältnisse zwischen Feld- und Stützbereichen wie bei der Talbrücke Rahmede beibehalten wurden. Die Absolutwerte der Steifigkeiten wurden im Verhältnis der Fahrbahnbreiten abgemindert. Das weitere Vorgehen zur Ermittlung der Einflussflächen ist analog zu Kapitel 3.3.1.

3.5 Ermittlung von Einflussflächen

Exemplarisch für die berechneten Einflussflächen ist in Bild 19 die Einflussfläche des Stützmomentes links vom Auflager B_0 für die Brücke Smanforde dargestellt. Die zusätzlich vorhandene Darstellung

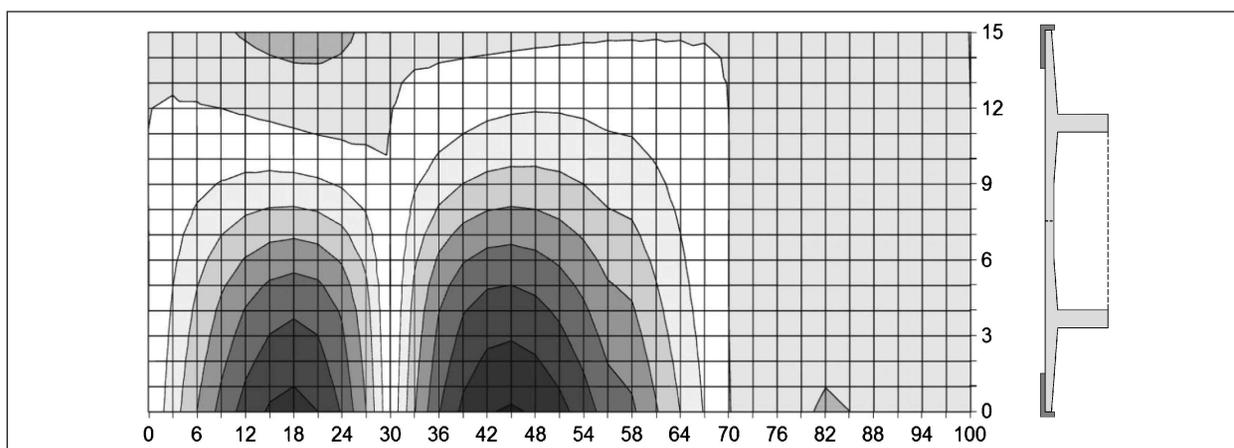


Bild 19: Einflussfläche Stützmoment Mittelaufleger (links) – Brücke Smanforde

des Querschnittes verdeutlicht, dass hierin für jeden Punkt des Querschnittes ein Einflussflächenwert vorhanden ist. In den bisherigen Untersuchungen in [2] und [3] wurden die Einflussflächen lediglich für den Bereich zwischen den Schrammborden berechnet. Die simulierten Fahrzeugfolgen wurden entsprechend den in Kapitel 2.3 dargestellten Varianten in vier Spuren auf die Einflussflächen aufgebracht.

3.6 Ansatz von Lastmodellen

Zur Einordnung der ermittelten charakteristischen Werte der betrachteten Beanspruchungen wurden die in Kapitel 2.11 aufgeführten Lastmodelle auf die Einflussflächen der betrachteten Kennwerte aufgesetzt. Die Anordnung der Lastmodelle erfolgte dabei zunächst prinzipiell entsprechend Bild 20, sofern die einzelnen Modelle die aufgeführten Komponenten enthalten (z. B. keine Einzellasten im zweiten und dritten Fahrstreifen in den Modellen BK60 und BK45). Die Einzellasten wurden soweit exzentrisch im Fahrstreifen angeordnet, dass die in den Lastmodellen definierten Radaufstandsflächen direkt am Schrammbord (im Fahrstreifen 1) liegen. Dies weicht von der üblichen Empfehlung in den Normen (DIN-Fachbericht 101, DIN 1072) ab, die für Einwirkungen „in Längsrichtung“ eine zentrische Stellung der Einzellastmodelle im Fahrstreifen als Vereinfachung angeben. Für das Tragsystem „Smanforde“ wurden exemplarisch sowohl die Laststellung nach Norm als auch die exzentrische Laststellung angesetzt. Die zu erwartende Erhöhung der resultierenden Beanspruchung aus dem Ansatz des gesamten Lastmodells liegt hier im Bereich von ca. 1 %. Die Kappenbereiche wurden nicht mit Flächenlasten beaufschlagt. Dieser Ansatz entspricht

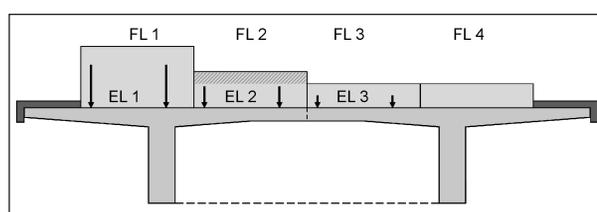


Bild 20: Prinzipielle Anordnung der betrachteten Lastmodelle

den in [2] und [3] durchgeführten Vergleichsrechnung und bietet damit gewisse „Reserven“ im Vergleich zum technisch üblichen Ansatz der Lastmodelle.

4 Ergebniszusammenstellung

In den nachfolgenden Kapiteln werden ausgewählte Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zusammengestellt und erläutert. Hierbei werden die Ergebnisse der drei betrachteten Tragsysteme jeweils für vergleichbare Kennwerte (z. B. Stützmoment) in einem Absatz zusammengefasst. Anschließend erfolgt dann eine getrennte Ergebniszusammenfassung für die drei Tragsysteme separat.

4.1 Stützmomente Mittelaufleger

Für die Stützmomente an den Mittelauflagern der betrachteten Tragsysteme sind in den Bildern 21 bis 26 zunächst die Ergebnisse aus Simulationsrechnungen mit reinem fließendem Verkehr für das Modell „GE“ dargestellt. Der Aufbau dieser und der folgenden Ergebnisgrafiken erläutert sich wie folgt:

Die Balken im Diagramm stellen die durch Simulation, Berechnung und statistische Auswertung er-

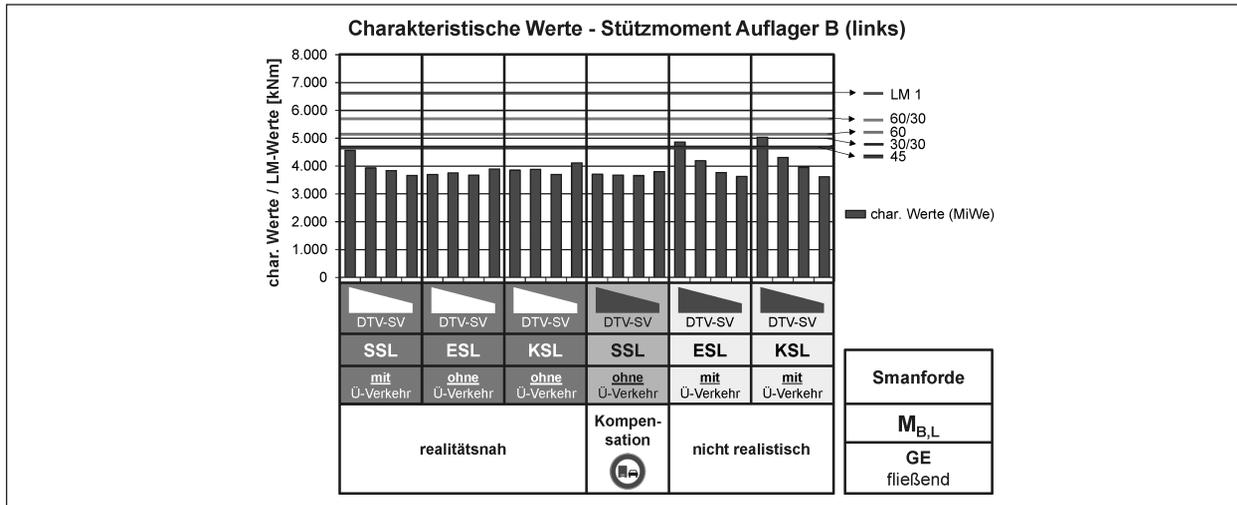


Bild 21: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment links von Auflager B, Modell „GE“) – fließender Verkehr

mittelten charakteristischen Werte der Beanspruchung dar. Entsprechend dem in [2] und [3] entwickelten Vorgehen werden hierzu pro Verkehrsvariante (Modell, Verkehrsstärke, Spurlage) jeweils 10 Simulationsrechnungen durchgeführt und ausgewertet. Es ergeben sich somit 10 mehr oder weniger voneinander verschiedene charakteristische Werte (mittlere Wiederkehrperiode 1.000 Jahre). Von diesen 10 Werten wird der Größt- und Kleinstwert gestrichen und aus den verbleibenden 8 Werten der Mittelwert gebildet. Dieser ist in den Balkendiagrammen dargestellt. Die vier im Modell „GE“ enthaltenen Varianten der Verkehrsstärke werden in den Ergebnisdiagrammen grafisch beschrieben. Die vier Balken in den jeweiligen Umrahmungen stellen von links nach rechts die Ergebnisse der Varianten V1 bis V4 (DTV-SV 10.000 bis 500 pro Richtung) dar. Des Weiteren sind die Ergebnisse der drei betrachteten Varianten von Spurbreite und Spurlage durch die eingeführten Abkürzungen „SSL“, „ESL“ und „KSL“ kenntlich gemacht. Die ersten drei Ergebnisblöcke enthalten die Resultate für die Variante „SSL“ mit Überholverkehr (Lkw), „ESL“ ohne Überholverkehr und „KSL“ ohne Überholverkehr. Die Kombination von „SSL“ ohne Überholverkehr wird als mögliche Kompensationsmaßnahme angesehen (Einrichtung eines Lkw-Überholverbotes) und in den Ergebnisdarstellungen entsprechend gekennzeichnet. Wie oben erläutert, kann davon ausgegangen werden, dass unter einer Verkehrsführung mit verengtem 2. Fahrstreifen ein Überholen durch Lkw praktisch nicht möglich ist. Die Kombinationen aus „ESL“ bzw. „KSL“ mit Überholverkehr sind daher nicht realistisch, jedoch zur Ergebnisverifikation mit aufgeführt.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen auf, dass die Niveaus der betrachteten Lastmodelle in den realitätsnahen Varianten bei reinem fließendem Verkehr nicht überschritten werden. Die Abstände zu diesen Lastmodellniveaus sind dabei aber für die Brücke Smanforde (Bild 21 und Bild 22) deutlich kleiner als bei den beiden anderen betrachteten Tragsystemen. Als weiteren Unterschied zwischen den qualitativen Ergebnisverläufen bei den drei betrachteten Tragwerken kann festgestellt werden, dass der Einfluss der Verkehrsstärke auf die resultierenden charakteristischen Werte bei der Brücke Smanforde lediglich für die betrachteten Verkehrsvarianten mit Überholverkehr deutlich vorhanden ist. Für die beiden anderen Brücken mit deutlich größeren Einzelstützweiten ist dies hingegen generell der Fall. Dieses Verhalten ist analog zu den in [3] gewonnenen Erkenntnissen, wenngleich dort andere Spurbelegungen (zwei Spuren auf einem Querschnitt) betrachtet wurden.

Überschreitungen der betrachteten Lastmodellniveaus treten für den fließenden Verkehr lediglich für das betrachtete Tragsystem der Brücke Smanforde bei den veränderten Spurlagen („ESL“ und „KSL“) in Verbindung mit Berücksichtigung von Lkw-Überholverkehr auf (bei sehr hoher Verkehrsstärke). Diese Verkehrsvariante ist aber, wie oben erläutert, als nicht realistisch anzusehen. Deutlich wird hierdurch in der Gesamtbetrachtung der Werte über die verschiedenen Varianten hinweg die starke Auswirkung des Überholverkehrs (bzw. eines als Kompensationsmaßnahme eingerichteten Überholverbots für Lkw) auf die resultierenden charakteristischen Werte bereits im fließenden Verkehr.

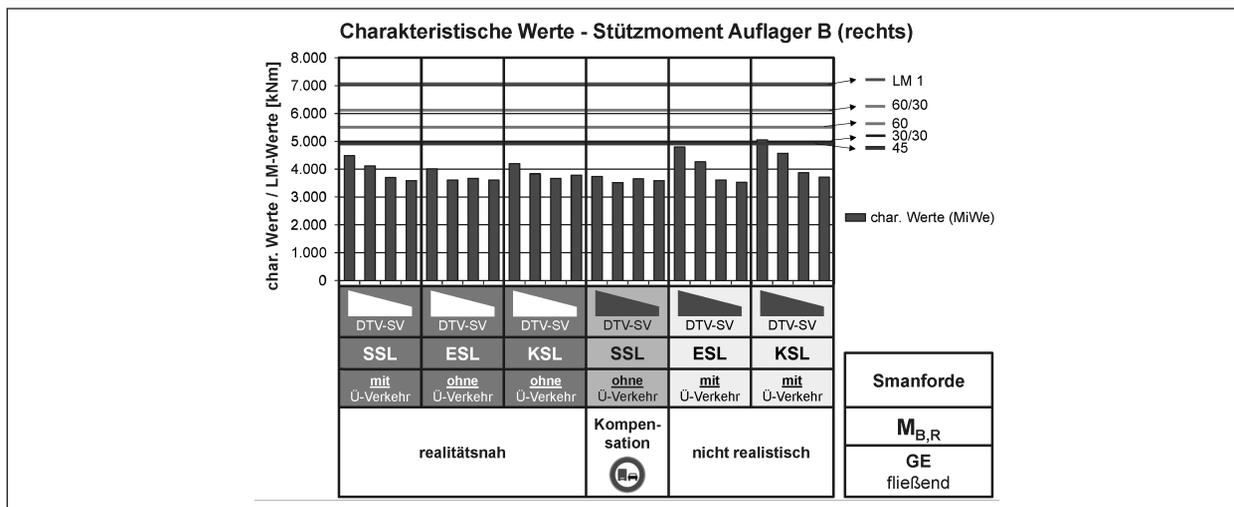


Bild 22: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment rechts von Auflager B, Modell „GE“) – fließender Verkehr

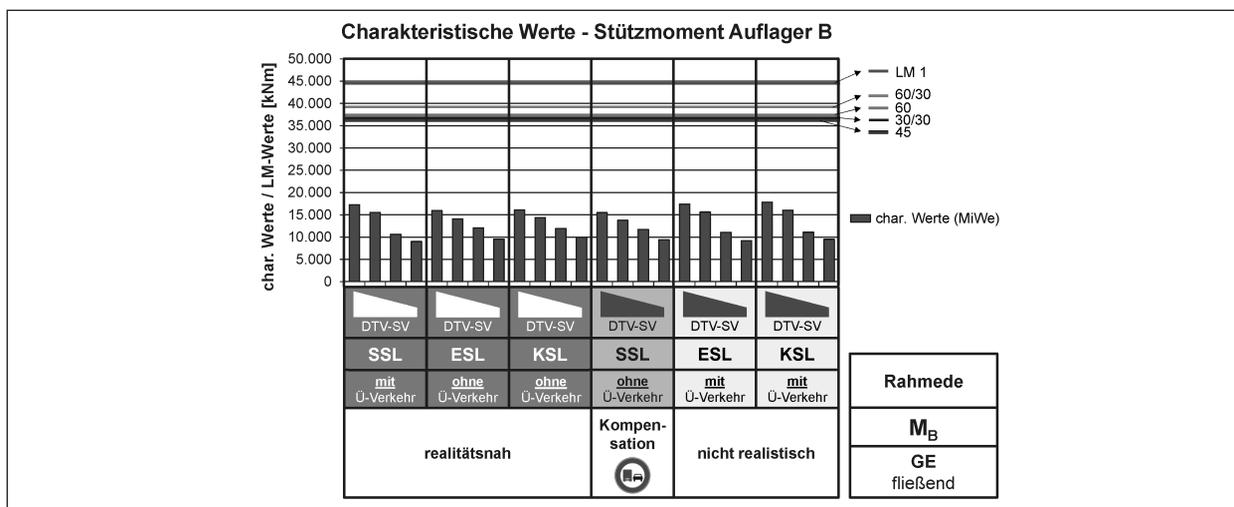


Bild 23: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Moment Auflager B, Modell „GE“) – fließender Verkehr

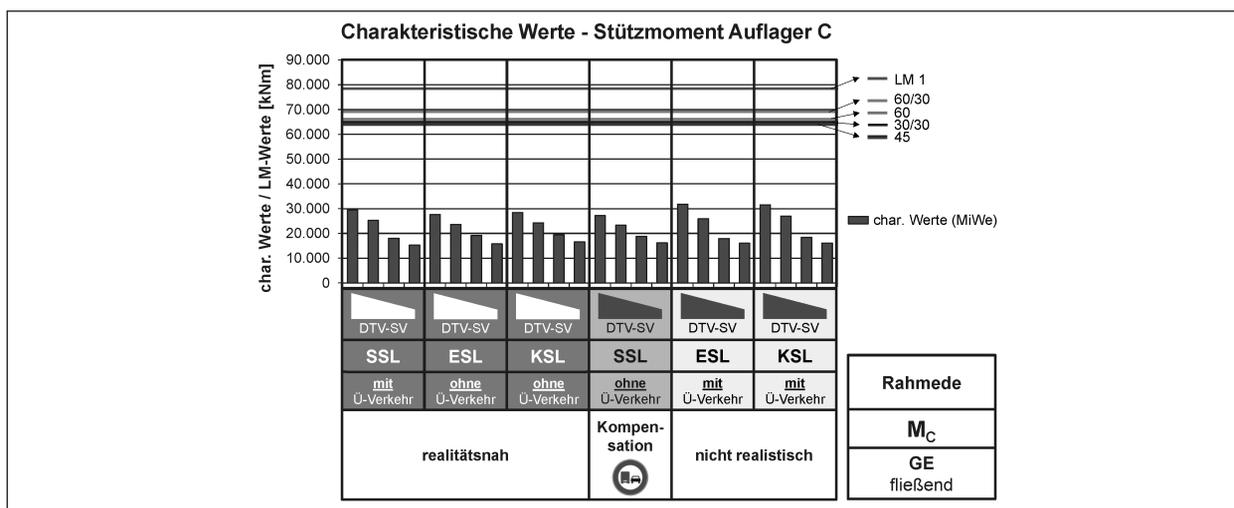


Bild 24: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Moment Auflager C, Modell „GE“) – fließender Verkehr

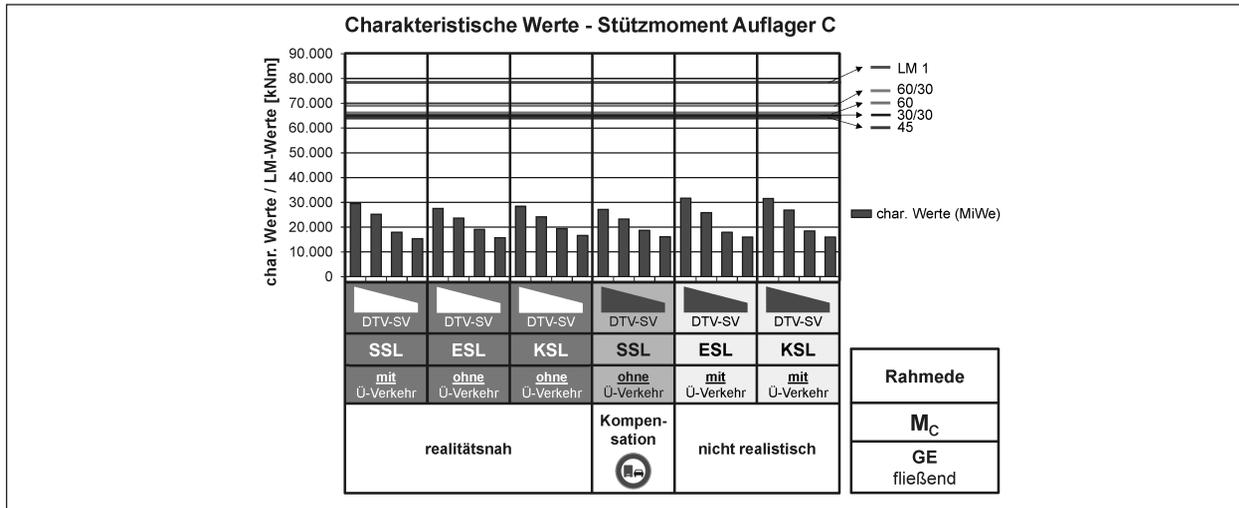


Bild 25: Charakteristische Werte Stützmente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager B, Modell „GE“) – fließender Verkehr

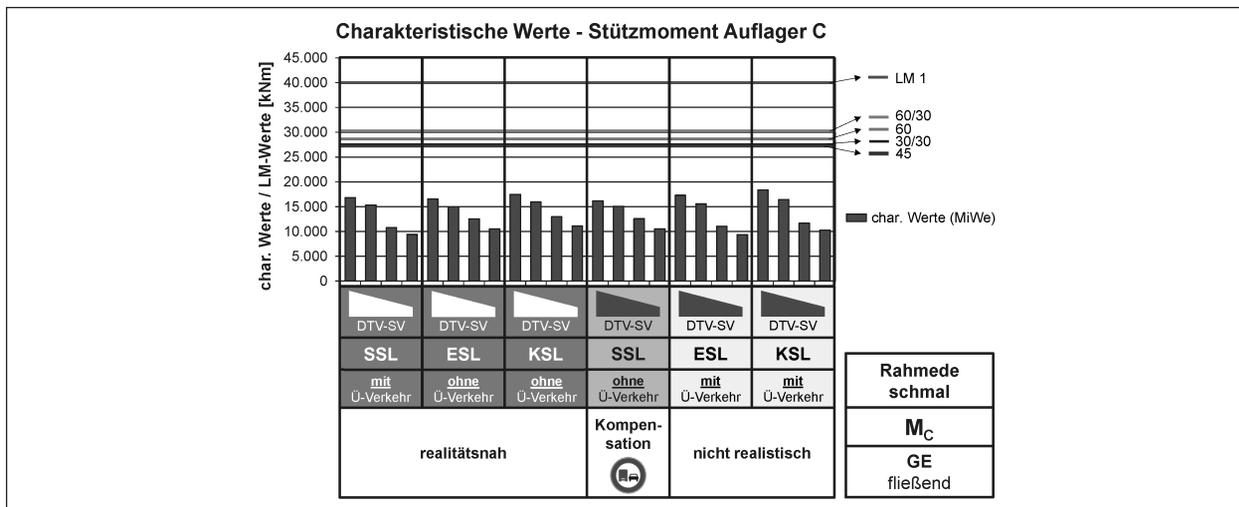


Bild 26: Charakteristische Werte Stützmente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager C, Modell „GE“) – fließender Verkehr

Die Berücksichtigung von Stauverkehr (zufällig eingemischte Stauabschnitte in den simulierten Fahrzeugfolgen) führt erwartungsgemäß zu einer deutlichen Veränderung der resultierenden charakteristischen Werte. In den Bildern 27 bis 32 sind die Ergebnisse für die Stützmente der drei betrachteten Tragsysteme unter Berücksichtigung von Stauverkehr mit konstanten Fahrzeugabständen von 5 m (Achse zu Achse) aufgeführt. Im Vergleich zum fließenden Verkehr (Bild 21 bis Bild 26) zeigt sich in allen Fällen eine Vergrößerung der Werte, wobei diese für die Varianten mit Überholverkehr deutlicher ausgeprägt sind.

Die Berücksichtigung von Stauverkehr führt zu einer Überschreitung des Niveaus BK60/30 und für die beiden geringeren Verkehrsstärke eine Überschreitung des Niveaus BK60. Für die Talbrücke Rahmede wird im Vergleich dazu („SSL“ mit Überholverkehr) das Niveau BK60/30 lediglich bei der größten Verkehrsstärke überschritten (vgl. Bild 30), während für die geringeren Verkehrsstärken die ermittelten charakteristischen Werte noch immer deutlich unter den Niveaus aller betrachteten Lastmodelle liegen. Für die modifizierte Variante der Talbrücke Rahmede („Rahmede schmal“) sind die Ergebnisse für „SSL“ mit Ü.-Verkehr qualitativ analog zu denen der Brücke Smanforde.

Für die Brücke Smanforde ergibt sich bei „SSL“ mit Überholverkehr für die beiden höheren Verkehrsstärken (DTV-SV 10.000 und 5.000) eine Über-

Die Veränderung der Spurbreite („ESL“) und Spur-lage („KSL“) führt, da diese Verkehrsvarianten realistisch zwangsläufig ohne Überholverkehr an-gese-

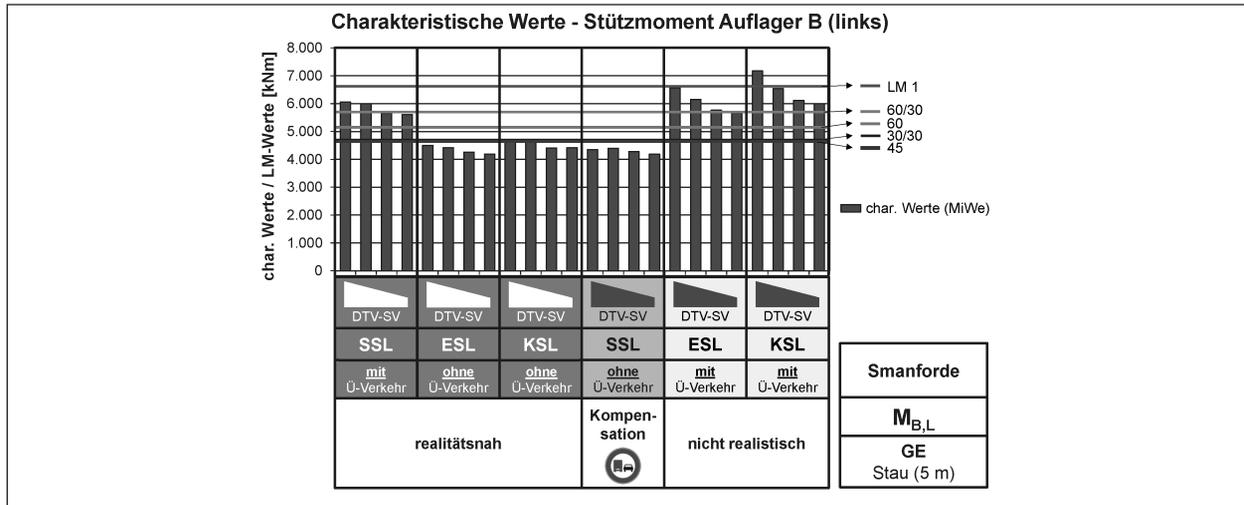


Bild 27: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment links von Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

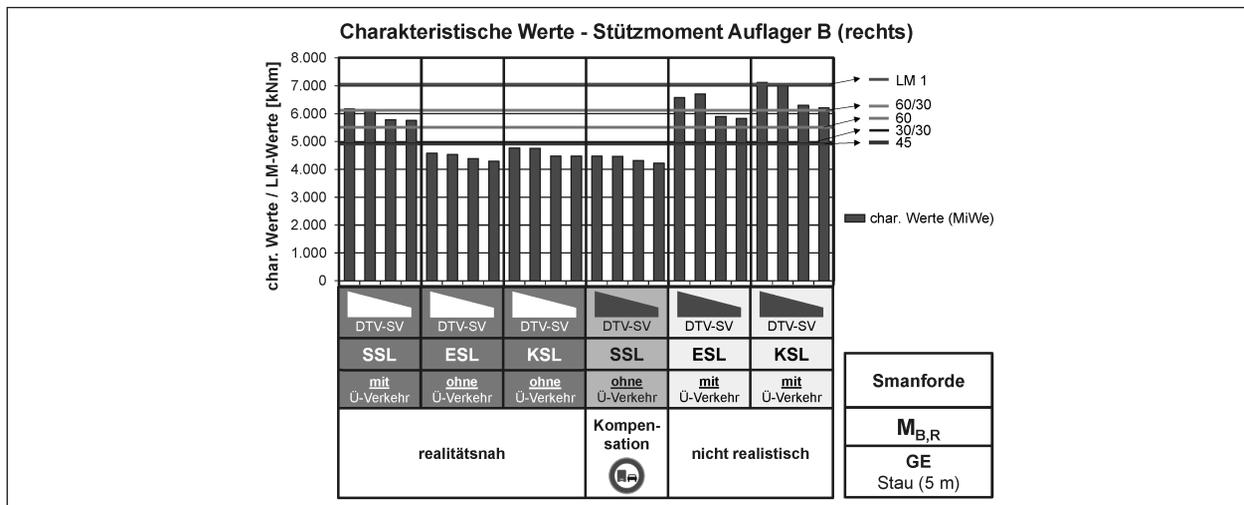


Bild 28: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment rechts von Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

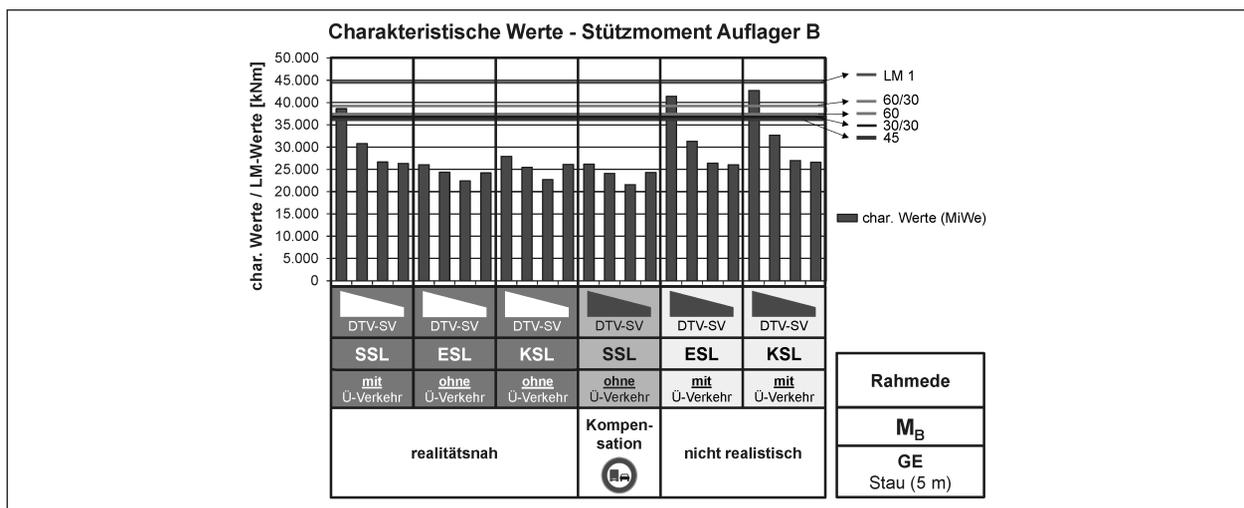


Bild 29: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Moment Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

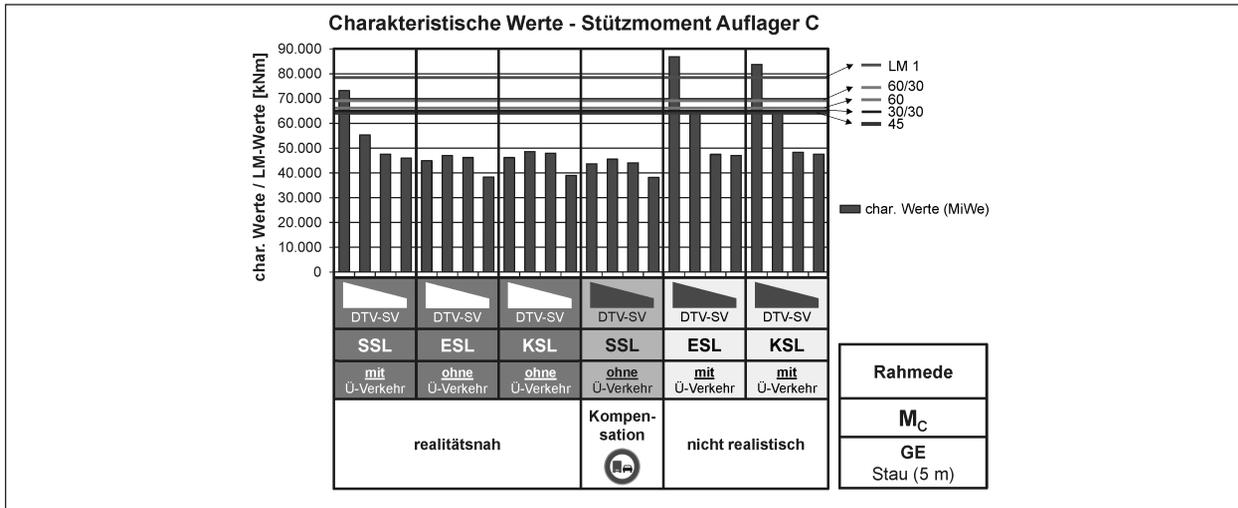


Bild 30: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Moment Auflager C, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

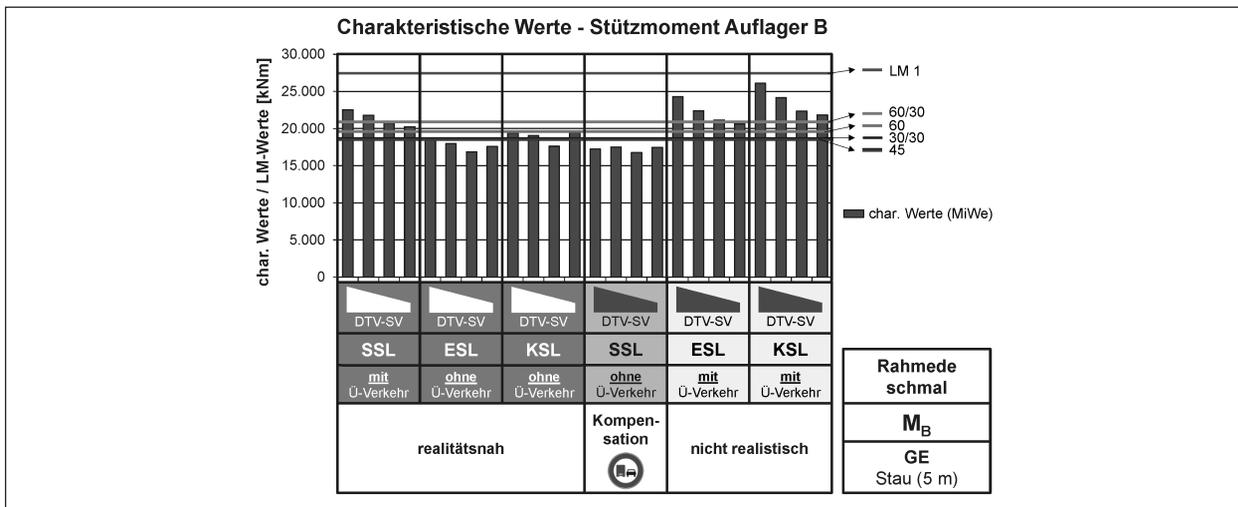


Bild 31: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

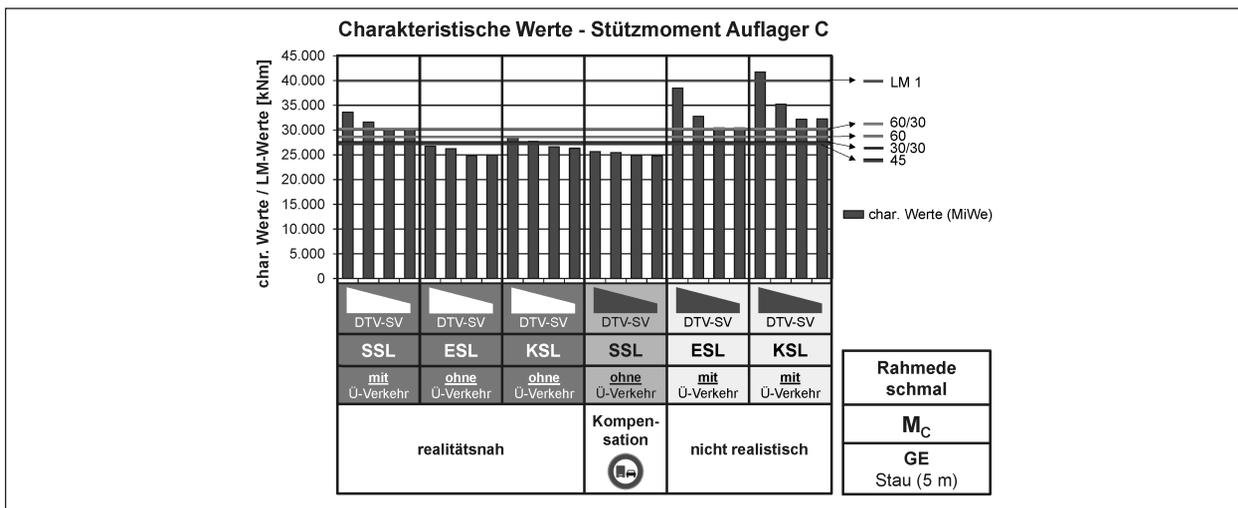


Bild 32: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager C, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

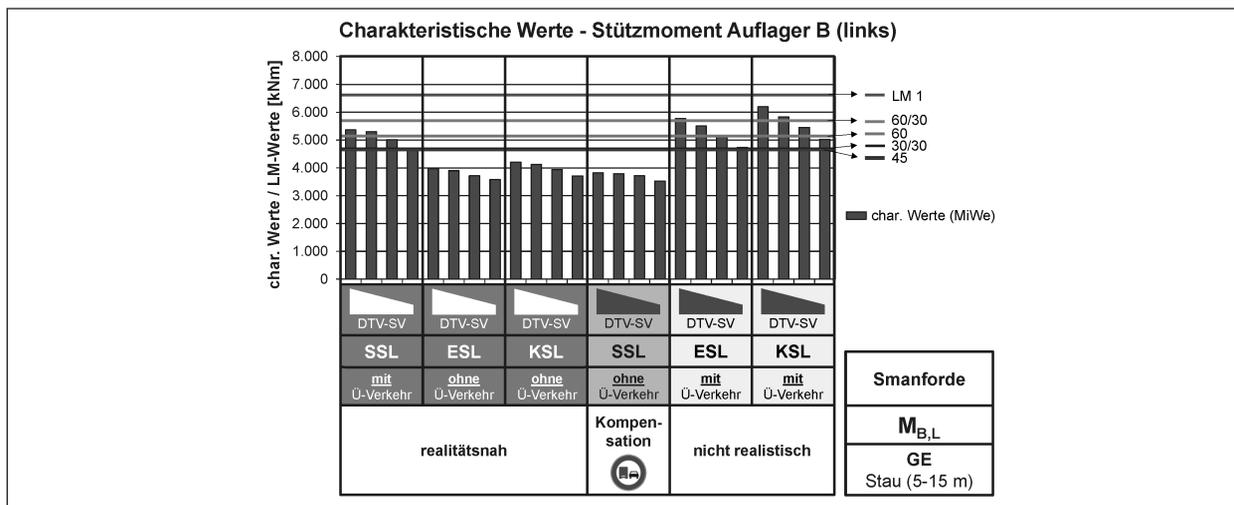


Bild 33: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment links von Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5-15 m)

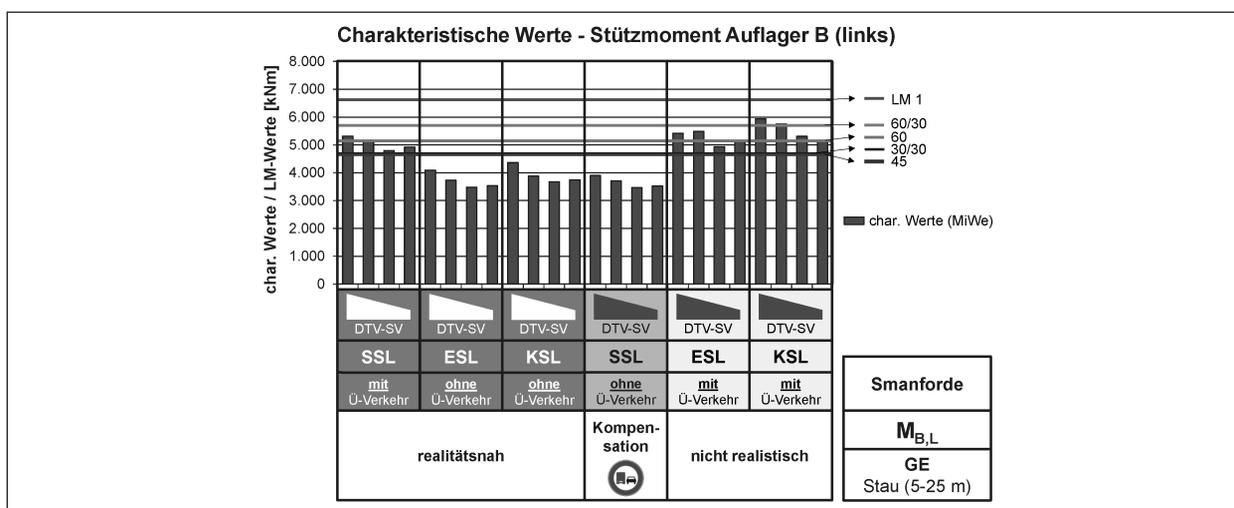


Bild 34: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment links von Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5-25 m)

hen werden müssen, zu reduzierten charakteristischen Werten gegenüber der Variante „SSL“ mit Überholverkehr. Die Niveaus der Lastmodelle BK30/30 bzw. BK45, die bezüglich der daraus resultierenden Werte des Stützmomentes nahezu deckungsgleich sind, werden hier nur für das Tragsystem der modifizierten Talbrücke Rahmede (schmal) überschritten (vgl. Bild 31 und Bild 32). Die Verbindung der Spurlage „SSL“ mit einem als Kompensationsmaßnahme anzusehenden Überholverbot führt hier in allen Fällen zu einer Unterschreitung der betrachteten Lastmodellniveaus. Würde man abweichend von der Realität annehmen, dass trotz verengter Spurlage („ESL“, „KSL“) Überholverkehr durch Lkw vorhanden ist, so liegen die charakteristischen Werte für die Tragsysteme „Smanforde“ und „Rahmede schmal“ im Wesent-

lichen über dem Niveau des Lastmodells BK60/30 (vgl. Bild 27 und Bild 28 bzw. Bild 31 und Bild 32) und in einzelnen Fällen (hohe Verkehrsstärke) auch über dem Niveau des Lastmodells LM1 (DIN-Fachbericht 101). Für das Tragsystem „Rahmede“ trifft dies nur bei der höchsten betrachteten Verkehrsstärke zu, wobei BK60/30 bzw. LM1 überschritten werden.

Unter Annahme eines etwas weniger „extremen Staus“ im Sinne einer Vergrößerung der Fahrzeugabstände im Stauverkehr (gleichverteilter Stauabstand zwischen 5 und 15 m bzw. zwischen 5 und 25 m) ergeben sich geringere charakteristische Werte. Nachfolgend wird sich bei den Ergebnisdarstellungen auf die Tragsysteme „Smanforde“ und „Rahmede schmal“ beschränkt und auch nur je-

weils ein Stützmoment dargestellt. Vergleicht man Bild 27 (5 m Stauabstand) mit Bild 33 (5-15 m Stauabstand) und Bild 34 (5-25 m Stauabstand), so zeigt sich, dass für das Tragsystem „Smanforde“ bei „SSL“ mit Überholverkehr durch die Verringerung der charakteristischen Werte bei hohen Verkehrsstärken die Überschreitung des Niveaus BK60/30 durch eine Überschreitung des Niveaus BK60 und bei geringen Verkehrsstärken die Überschreitung des Niveaus BK60 durch eine Überschreitung des Niveaus BK30/30 begrenzt werden. Für das Tragsystem „Rahmede schmal“ ergeben sich analoge Zusammenhänge (vgl. Bild 35 und Bild 36).

momente stark zusammengefasst, indem lediglich ein Ergebnisdiagramm pro betrachtetem Tragsystem dargestellt wird. Hierbei wird sich auf die Resultate der Rechnungen mit Ansatz von Stauverkehr bei sehr geringen Stauabständen beschränkt. In Bild 37 bis Bild 39 wird dabei ersichtlich, dass in den realitätsnahen Verkehrsvarianten die Niveaus der betrachteten Lastmodelle im Wesentlichen nicht überschritten werden. Für das Tragsystem „Smanforde“ werden bei „SSL“ mit Überholverkehr das Niveau BK60 bei hohen und das Niveau BK30/30 bei geringen Verkehrsstärken überschritten.

Die Ergebnisse für die zweite betrachtete Variante aktueller Verkehrszusammensetzung (Modell „ME“, vgl. Kapitel 2.4) werden nachfolgend für die Stütz-

Die Ergebnisse aus der Betrachtung des Prognoseszenarios sind für die drei betrachteten Tragsysteme in Bild 40 bis Bild 42 zusammengefasst. Da hier nur eine Verkehrsstärke zu untersuchen

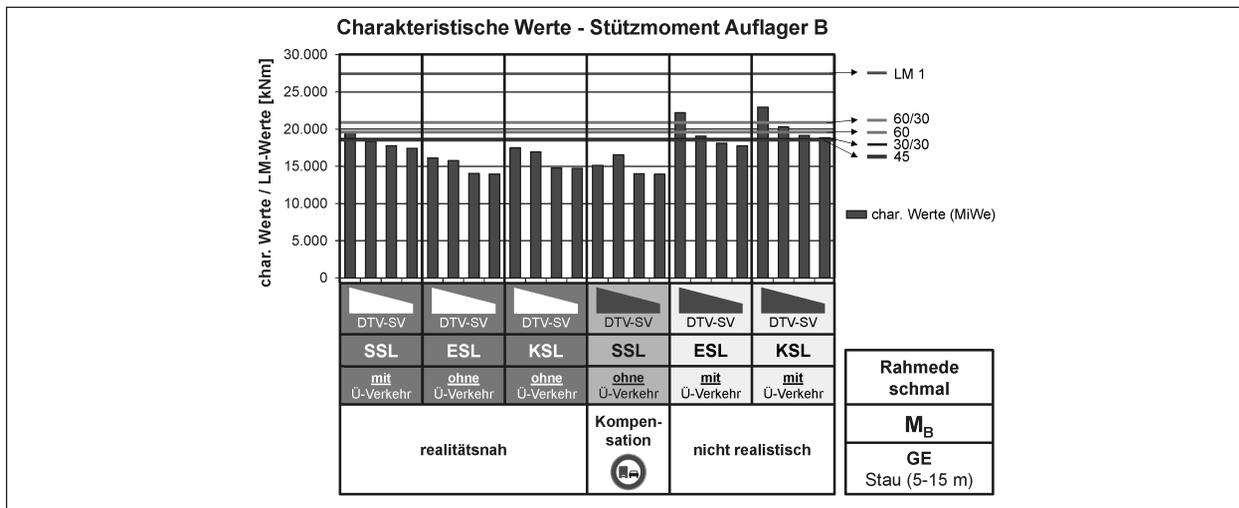


Bild 35: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5-15 m)

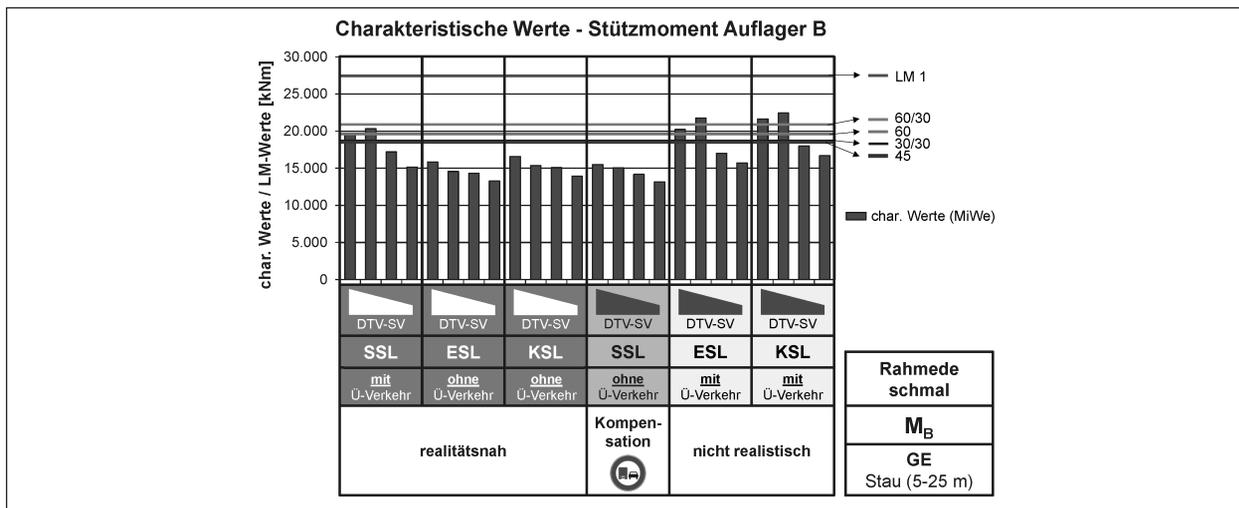


Bild 36: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager B, Modell „GE“) – Stauverkehr (5-25 m)

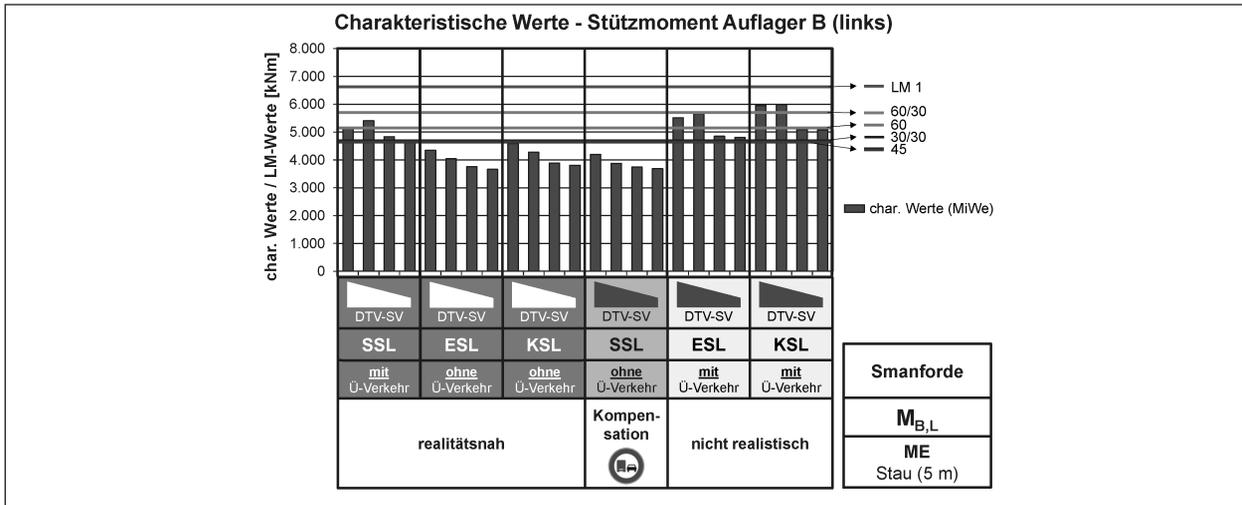


Bild 37: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment links von Auflager B, Modell „ME“) – Stauverkehr (5 m)

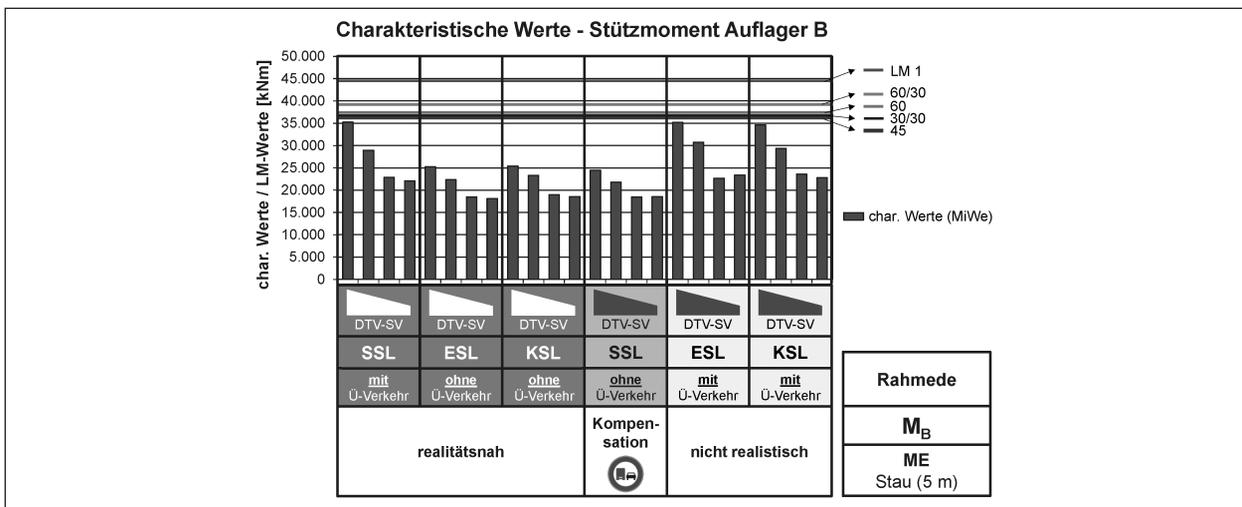


Bild 38: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Moment Auflager B, Modell „ME“) – Stauverkehr (5 m)

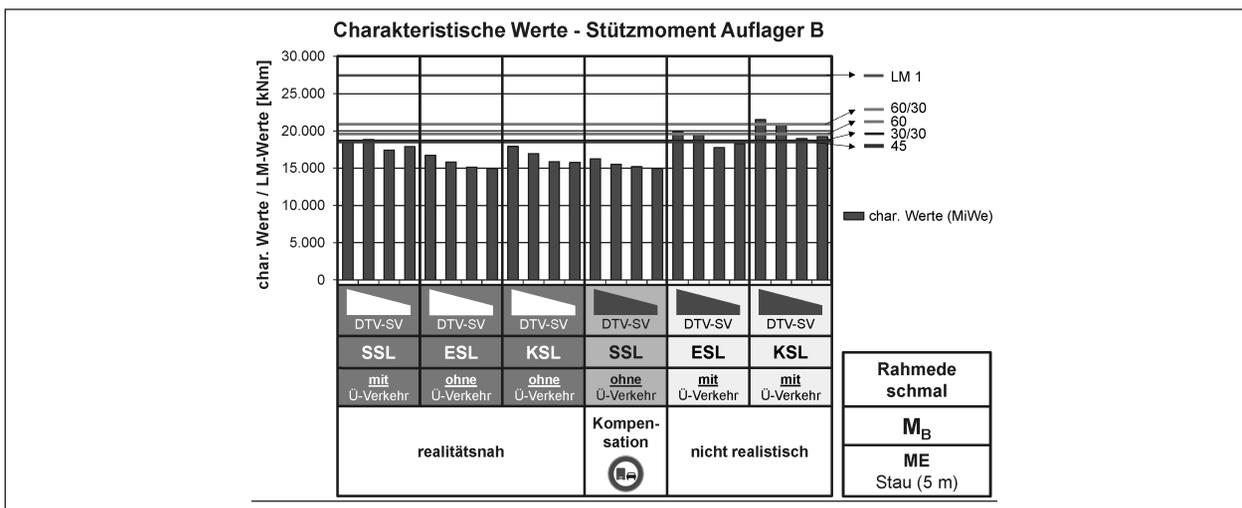


Bild 39: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaufleger im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager B, Modell „ME“) – Stauverkehr (5 m)

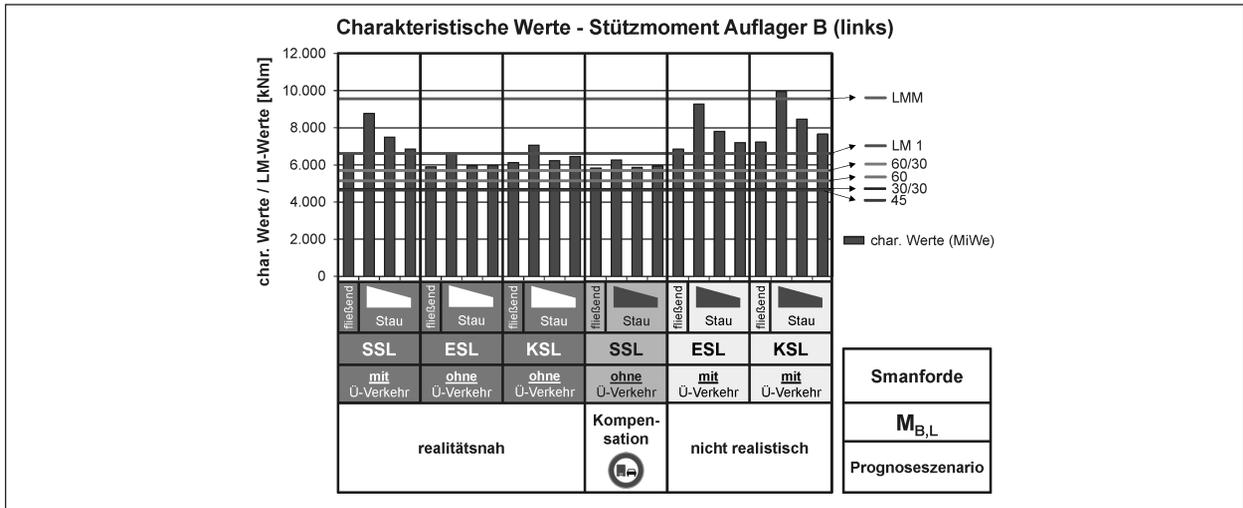


Bild 40: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Moment links von Auflager B, Prognoseszenario)

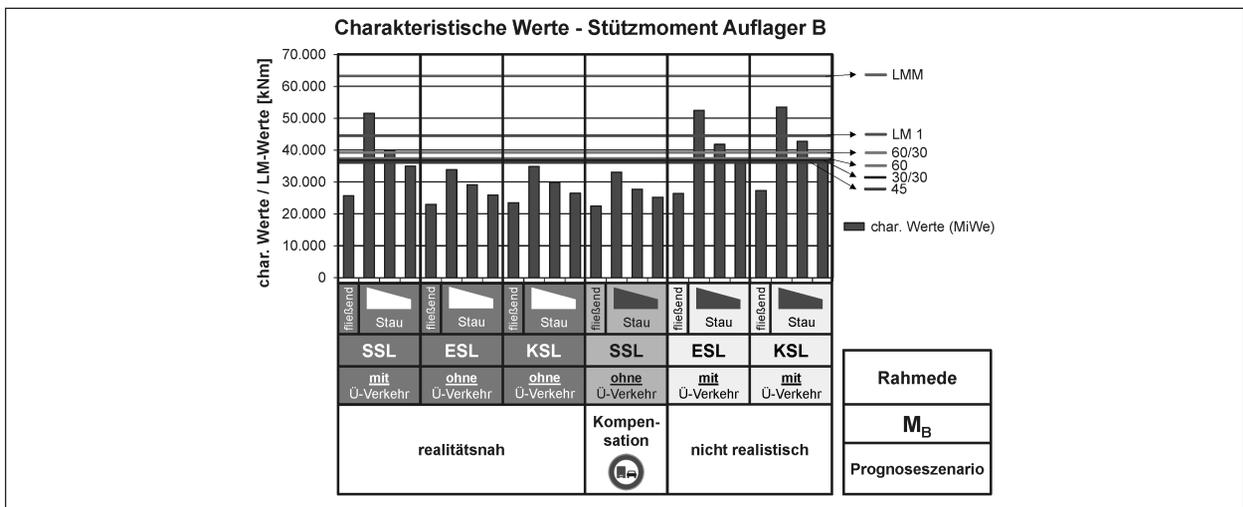


Bild 41: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Moment Auflager B, Prognoseszenario)

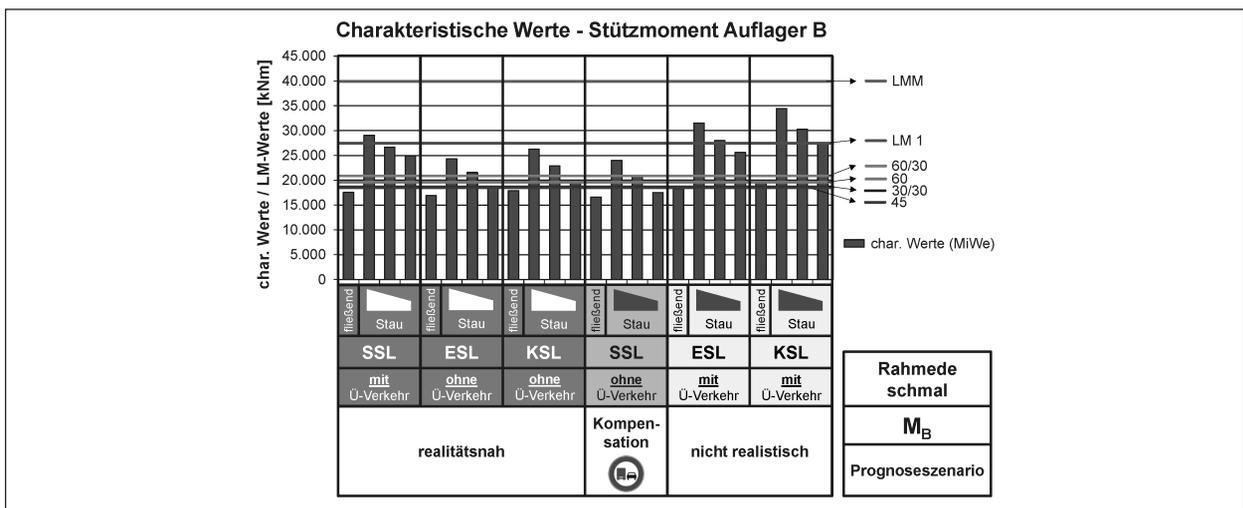


Bild 42: Charakteristische Werte Stützmomente Mittelaullager im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Moment Auflager B, Prognoseszenario)

war, sind die Ergebnisse aus fließendem Verkehr und den betrachteten Varianten von Stauverkehr gemeinsam dargestellt. Es wird ersichtlich, dass in der Variante „SSL“ mit Überholverkehr das Niveau des Lastmodells LM1 überschritten wird (bei Stauverkehr mit geringen Fahrzeugabständen). Dies entspricht den in [2] ermittelten Ergebnissen und begründet (nicht alleinig) das Lastmodell LMM. Bei reduzierten Spurbreiten („ESL“, „KSL“) ergeben sich für die Tragsysteme „Smanforde“ und „Rahmede schmal“ Überschreitungen des Niveaus des Lastmodells BK60/30 (bei „Smanforde“ generell, bei „Rahmede schmal“ für Stauverkehr). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit entsprechender Ertüchtigungen des Bauwerksbestandes für die Zukunft, da die Beanspruchungen der Brückenbauwerke mit der hier in Form eines denkbaren Szenarios der

Verkehrsentwicklung deutlich ansteigen und dies auch in Fällen veränderter Verkehrsführungen Auswirkungen aufweisen wird.

4.2 Feldmomente

Für die ermittelten Ergebnisse der Feldmomente der betrachteten Tragsysteme werden exemplarisch die Resultate für die Verkehrszusammensetzung nach Modell „GE“ unter Berücksichtigung von Stauverkehr (5 m Staubstand) in den Bildern 43 bis 45 dargestellt. Für die Tragsysteme „Smanforde“ und „Rahmede schmal“ ergeben sich in den realistischen Verkehrsvarianten („SSL“ mit und ohne Überholverkehr, „ESL“ und „KSL“ ohne Überholverkehr) lediglich bei „SSL“ mit Überholverkehr Über-

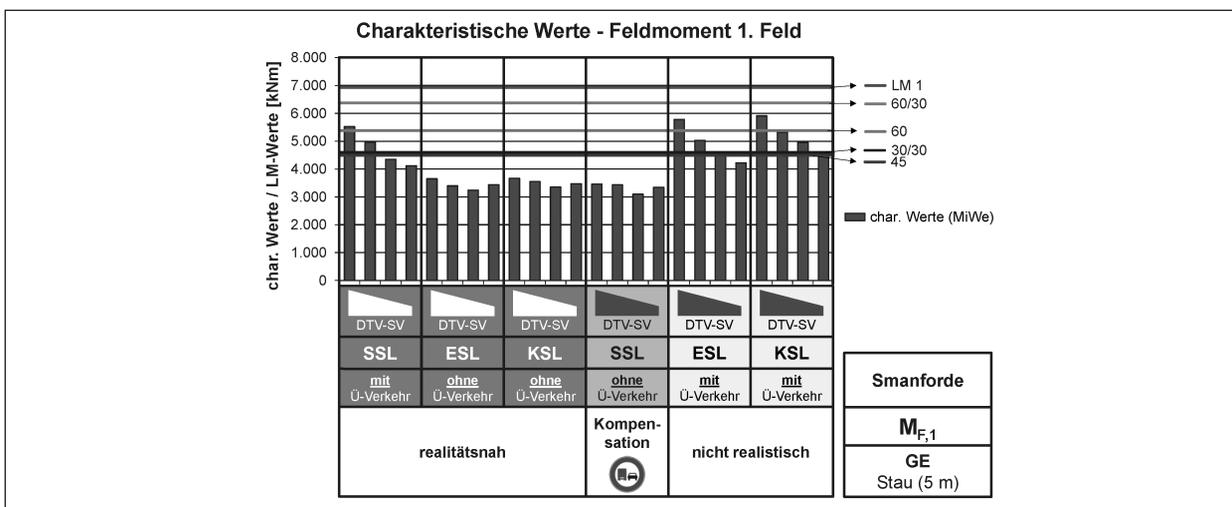


Bild 43: Charakteristische Werte Feldmoment 1. Feld im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

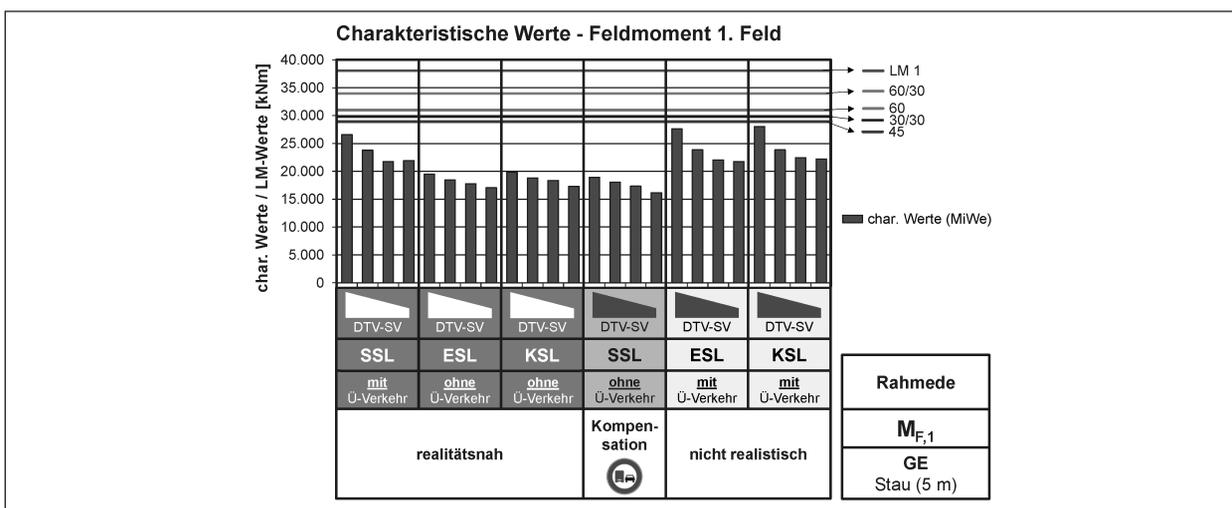


Bild 44: Charakteristische Werte Feldmoment 1. Feld im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

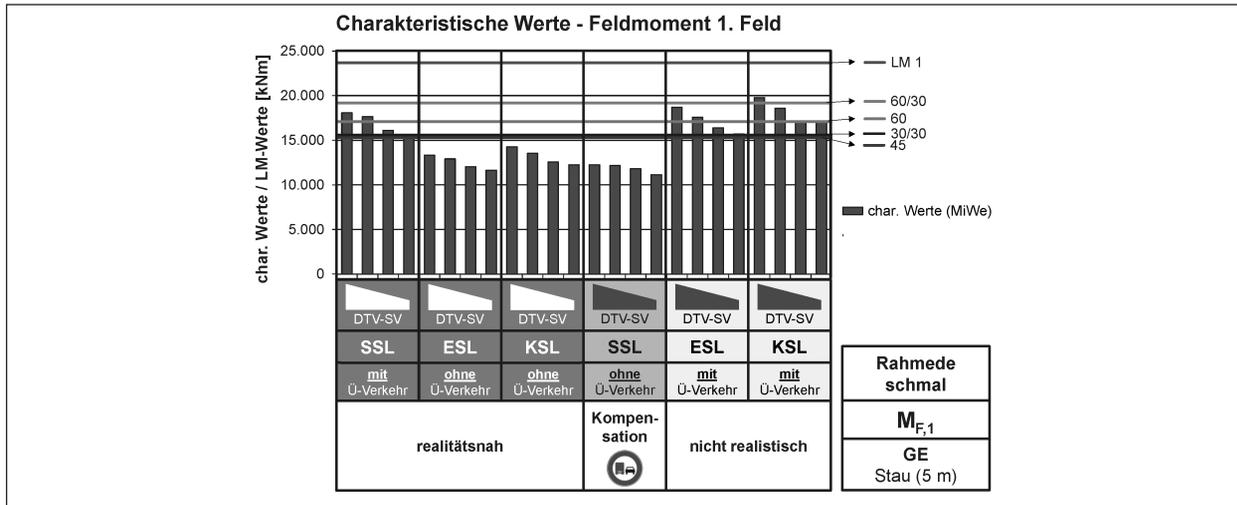


Bild 45: Charakteristische Werte Feldmoment 1. Feld im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

schreitungen der betrachteten Lastmodellniveaus. Überschritten werden dabei das Niveau des Lastmodelle BK60 bei hoher Verkehrsstärke und das Niveau des Lastmodells BK30/30 bei geringer Verkehrsstärke („Rahmede schmal“). Für das Tragsystem „Rahmede“ liegen die ermittelten charakteristischen Werte des Feldmomentes generell unterhalb der betrachteten Lastmodellniveaus.

Diese Unterschiede zu den Ergebnissen der Stütz-momente sind aufgrund konstanter Lastmodelle und der Formänderung der Einflussflächen erwartungsgerecht und entsprechen prinzipiell den bereits in [2] und [3] ermittelten Ergebnissen.

4.3 Querkräfte an Mittelauflagern

Analog zum Feldmoment werden in Bild 46 bis Bild 48 Ergebnisse für die betrachteten Querkräfte zusammengefasst. Aus den bisherigen Untersuchungen in [2] und [3] zeigt sich, dass die Querkräfte neben den Stützmomenten zu den relevanteren Kennwerten bei Vergleichen zwischen Simulationsergebnissen und Lastmodellniveaus zählen. Dies wird erwartungsgemäß auch hier deutlich.

Für das Tragsystem „Rahmede schmal“ (vgl. Bild 48) sind die Endergebnisse (Überschreitungen von Lastmodellniveaus) analog zu den Stützmomenten. Für „SSL“ mit Überholverkehr werden bei hoher Verkehrsstärke BK60/30 und bei geringer Verkehrsstärke BK60 überschritten. Für das Tragsystem „Smanforde“ (vgl. Bild 46) sind die Resultate im Vergleich zum Stützmoment hier etwas günstiger und für das Tragsystem „Rahmede“ analog.

4.4 Auflagerkräfte

Zum Abschluss der Darstellung der Einzelergebnisse (Kennwerte getrennt voneinander) werden die Resultate für die Auflagerkräfte zusammengefasst. Es wird sich hierbei auf die Kräfte an den mit „B“ bezeichneten Lagern am „Steg 0“ der betrachteten Tragsysteme beschränkt (vgl. Bild 11 und Bild 18). Ergebnisse für die betrachteten abhebenden Auflagerkräfte sind im Anhang A.1 aufgeführt und beschrieben.

Der qualitative Verlauf der in den Bildern 49 bis 51 dargestellten Ergebnisse entspricht erwartungsgemäß, aufgrund der ähnlichen Formen der Einflussflächen, den Ergebnissen der Stütz-momente. Die Überschreitungen der Lastmodellniveaus sind dabei analog zu denen für die Stütz-momente, lediglich für das Tragsystem „Rahmede schmal“ ergibt sich hier bei „SSL“ mit Überholverkehr unabhängig von der Verkehrsstärke eine Überschreitung des Niveaus BK60/30, während hier beim Stütz-moment für geringere Verkehrsstärken das Niveau BK60/30 noch nicht überschritten wurde.

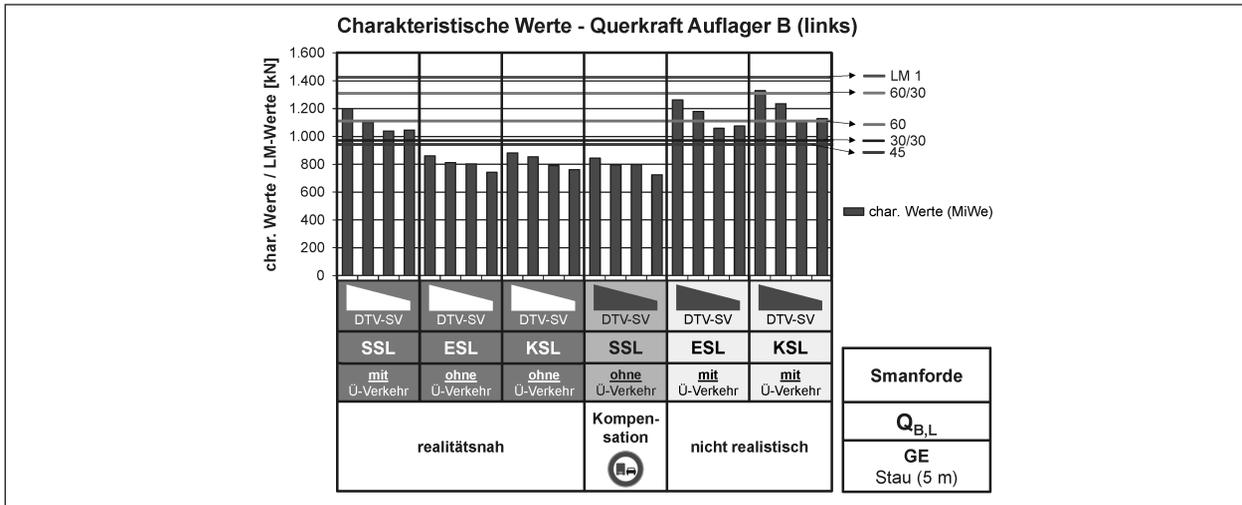


Bild 46: Charakteristische Werte Querkraft Mittelaullager B (links) im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

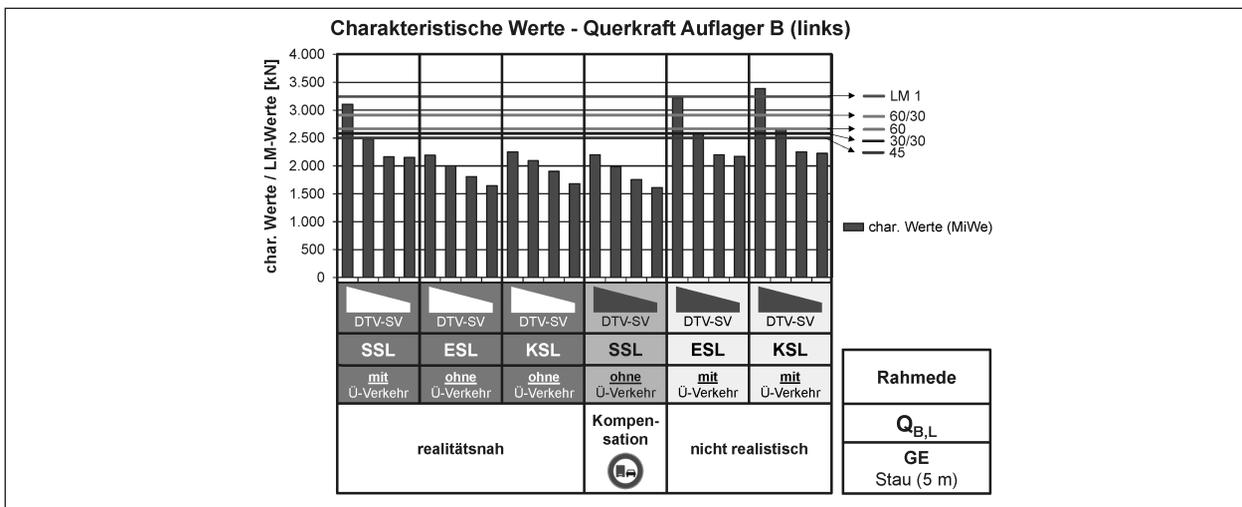


Bild 47: Charakteristische Werte Querkraft Mittelaullager B (links) im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

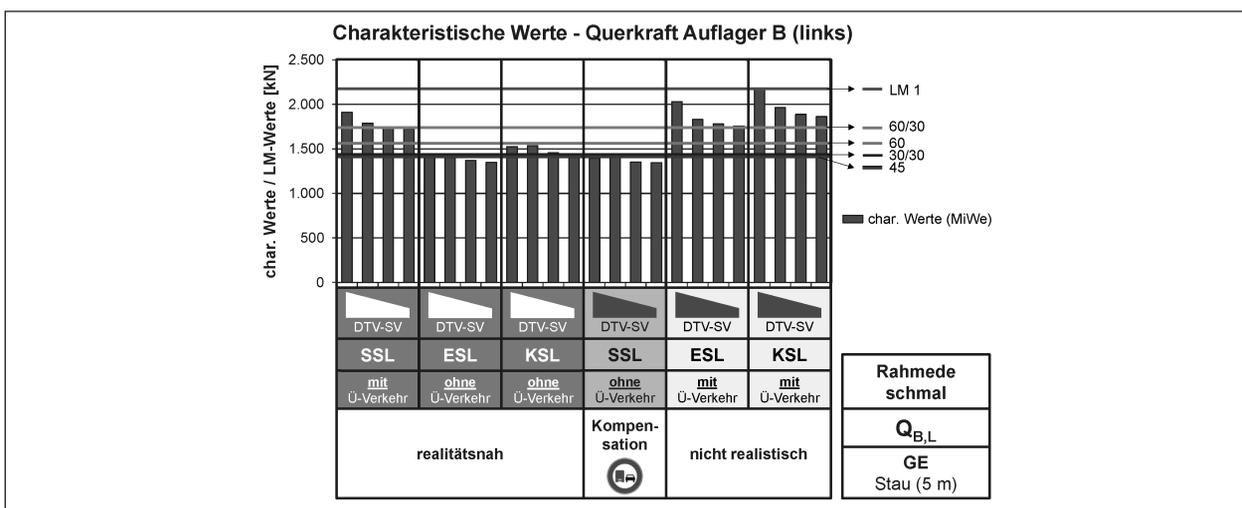


Bild 48: Charakteristische Werte Querkraft Mittelaullager B (links) im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

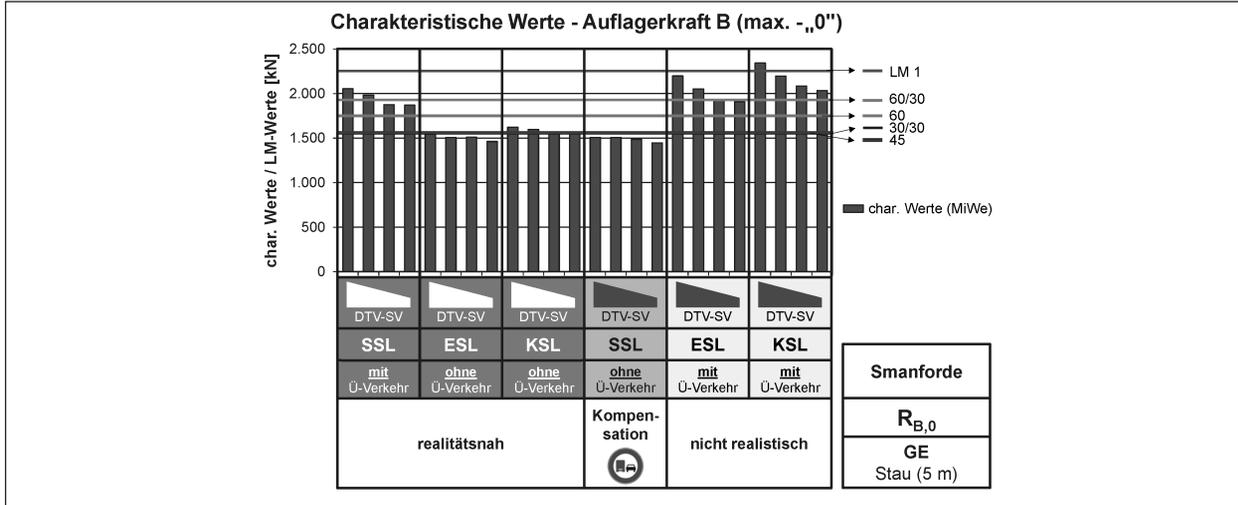


Bild 49: Charakteristische Werte Auflagerkraft Mittelauger B im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

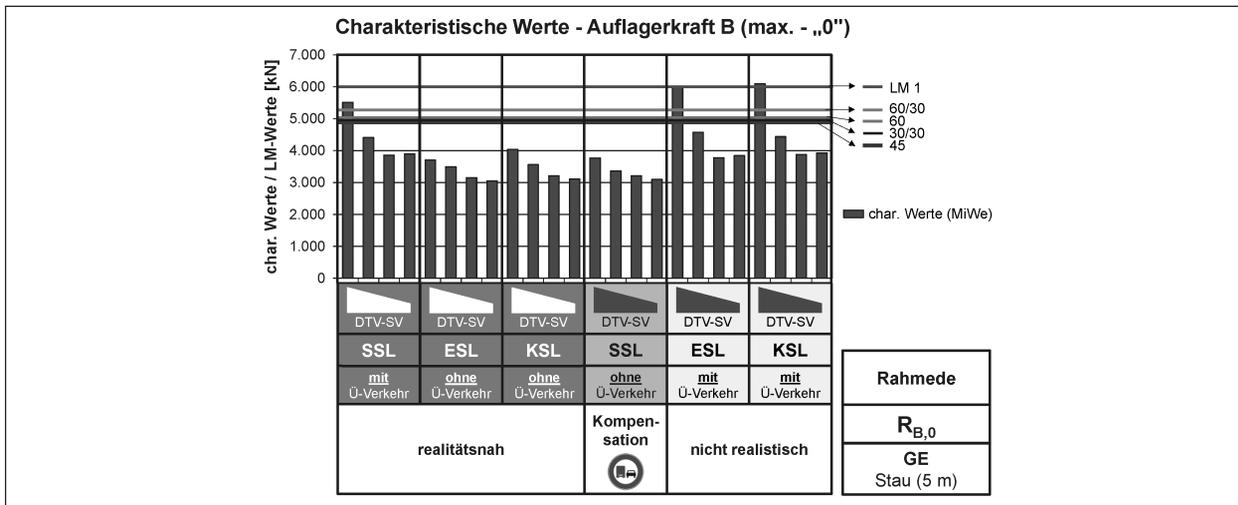


Bild 50: Charakteristische Werte Auflagerkraft Mittelauger B im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

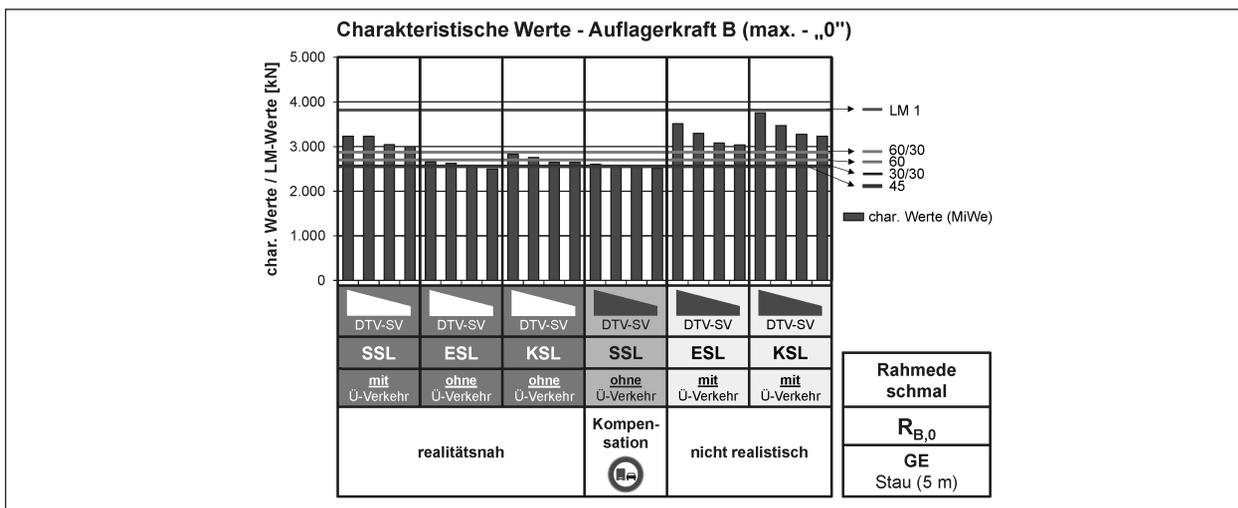


Bild 51: Charakteristische Werte Auflagerkraft Mittelauger B im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

4.5 Ergebniszusammenfassungen

Durch die in den durchgeführten Untersuchungen betrachteten umfangreichen Varianten von Verkehrscharakteristiken in Form von Verkehrszusammensetzungen und Verkehrsstärken sowie unterschiedlichen Spurbreiten und Spurlagen ist in der bisher gewählten Darstellungsform eine leicht zu überblickende Ergebniszusammenstellung nur schwer möglich. Nachfolgend werden daher die erzielten Ergebnisse für die drei betrachteten Tragsysteme in einer tabellenähnlichen Aufbereitung dargestellt. In Bild 52 erfolgt die Zusammenfassung für die Brücke Smanforde, die wie folgt erläutert werden kann: Enthalten sind alle Ergebnisse der realitätsnahen Verkehrsvarianten „SSL“ mit Überholverkehr, „ESL“ und „KSL“ ohne Überholverkehr sowie „SSL“ ohne Überholverkehr zur Abbildung der Kompensationsmaßnahme Überholverbot. Diese sind auf der linken Seite des Bildes eingetragen. Des Weiteren sind alle betrachteten Varianten von fließendem Verkehr und Stauverkehr verzeichnet. Diese sind von oben nach unten sortiert eingetragen, beginnen mit fließendem Verkehr („f“) weiter zu Stauverkehr mit größeren Stauabständen („s 5-25“ und „s 5-15“) bis zu Stauverkehr mit sehr geringen Fahrzeugabständen („s 5“). Die vier be-

trachteten Verkehrsstärken sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in der Darstellung nicht einzeln benannt, sondern ersatzweise durch ein Dreieck dargestellt, welches die Zunahme der angenommenen Verkehrsstärke von oben nach unten verdeutlicht. Oben im Bild sind die betrachteten Kennwerte verzeichnet (Stütz- und Feldmomente, Auflagerquerkräfte und Auflagerkräfte). Darunter erfolgt jeweils die Auflistung der als Vergleichsbasis verwendeten Lastmodelle. Die Hinterlegungen der einzelnen Bereiche in der Tabellarstellung verdeutlichen das Verhältnis zwischen den jeweils ermittelten charakteristischen Werten aus Simulationsrechnungen zu den Werten aus der Anwendung der Lastmodelle. Um hierbei die Bereiche in der Nähe der Lastmodellniveaus kenntlich zu machen, wurden für die Verhältniszahlen zwischen 0,95 und 1,00 ein schwarzer und für die Verhältniszahlen zwischen 1,00 und 1,05 ein weißer Hintergrund verwendet. Die verkleinerte Darstellung in Bild 52 ist im Anhang B.1 in Bild B.1 nochmals vergrößert aufgeführt.

Diese zusammenfassende Darstellung verdeutlicht nochmals (analog zu den vorhergehenden Absätzen mit Darstellungen von Einzelergebnissen), dass für das Tragsystem „Smanforde“ die wesentlichen Überschreitungen der Niveaus der betrach-

GE	Stützmoment				Feldmoment				Querkraft				Auflagerkräfte (Max)			
	Auflager B links		Auflager B rechts		Feld 1		Feld 2		Auflager B links		Auflager B rechts		Auflager A		Auflager B	
	LMM LM 1 BK 60/30 BK 60 BK 30/30 BK 45															
SSL m. ÜV	f DTV-SV ▲															
	s 5-25 DTV-SV ▲															
	s 5-15 DTV-SV ▲															
	s 5 DTV-SV ▲															
ESL o. ÜV	f DTV-SV ▲															
	s 5-25 DTV-SV ▲															
	s 5-15 DTV-SV ▲															
	s 5 DTV-SV ▲															
KSL o. ÜV	f DTV-SV ▲															
	s 5-25 DTV-SV ▲															
	s 5-15 DTV-SV ▲															
	s 5 DTV-SV ▲															
SSL o. ÜV	f DTV-SV ▲															
	s 5-25 DTV-SV ▲															
	s 5-15 DTV-SV ▲															
	s 5 DTV-SV ▲															

Legende

$\frac{ CW_{simulation} }{ CW_{lastmodell} }$	≤ 0,95		0,95 - 1,00		1,00 - 1,05		≥ 1,05	
---	--------	--	-------------	--	-------------	--	--------	--

Bild 52: Ergebniszusammenstellung Smanforde – Modell „GE“

teten Lastmodelle für die Spurvariante „SSL“ in Verbindung mit Überholverkehr auftreten. Für die weiteren realistischen Varianten „ESL“ und „KSL“ ohne Überholverkehr sowie „SSL“ ohne Überholverkehr werden kaum Lastmodellniveaus überschritten.

Zur weiteren Zusammenfassung der Ergebnisse sind in Bild 53 die Einzelergebnisse aus Bild 52 nochmals zusammengefasst. Im ersten Bereich der Darstellung erfolgt dabei zunächst die Zusammenfassung über die betrachteten Kennwerte hinweg, indem das Maximum der ermittelten Verhältniswerte der Einzelergebnisse gebildet und analog zur Darstellung in Bild 52 hinterlegt wurde. Deutlich wird hierbei die Zunahme von Niveauüberschreitungen mit zunehmender Verkehrsstärke und mit Übergang vom fließenden Verkehr hin zu den drei verschiedenen Varianten von Stauverkehr. Im zweiten Bereich dieser Ergebnisdarstellung wurde das Maximum der Verhältniswerte über die vier Varianten von fließendem Verkehr und Stauverkehr gebildet, sodass sich eine verkehrsstärkenbezogene Ergebniszusammenfassung je Variante der Spurlage ergibt. Zur Verdeutlichung sind daher hier zusätzlich die zugehörigen DTV-SV-Werte der Verkehrsstärke eingetragen.

Hieraus können für das Tragsystem „Smanforde“ folgende Zusammenfassungen abgeleitet werden: Das Lastmodell LM1 nach DIN-Fachbericht 101 deckt in allen Fällen die Beanspruchungen aus aktuellem Verkehr in den betrachteten Varianten ab.

Bei einer baubedingten Veränderung der Spurbreite und Lage (Varianten „ESL“ oder „KSL“) und der damit verbundenen Grundannahme, dass Lkw-Überholverkehr geometriebedingt nicht stattfinden kann, deckt das Lastmodell BK60 in allen Fällen die Beanspruchungen aus Verkehr ab. Für die Variante „ESL“ reicht auch das Lastmodell BK30/30 zur Abdeckung aus. Eine weitere Differenzierung dieser Aussagen hinsichtlich der Verkehrsstärke liefert im vorliegenden Fall keine wesentlichen Änderungen.

Für die zweite betrachtete Variante der Zusammensetzung des aktuellen Verkehrs (Modell „ME“) sind die Ergebniszusammenfassungen analog zu Bild 52 und Bild 53 im Anhang B.2 (Bild B.2 und Bild B.3) dargestellt. Aufgrund der Verkehrszusammensetzung, die durch einen geringeren Anteil schwerer Fahrzeugtypen gekennzeichnet ist, ergeben sich hier etwas günstiger Ergebnisse hinsichtlich der Abdeckung von Beanspruchungen aus Verkehr durch die betrachteten Lastmodelle. Für „SSL“ mit Überholverkehr reicht demnach BK60/30 aus und für die Varianten „ESL“ und „KSL“ (ohne Überholverkehr) reicht mit geringer Einschränkung BK30/30 aus (Verhältniswert liegt hier bei maximal 1,03).

Für das Tragsystem „Rahmede“ ist die Ergebniszusammenfassung für das Modell „GE“ der Verkehrszusammensetzung in Bild 54 dargestellt, die zugehörigen Einzelergebnisse sind Inhalt von Bild 55 (vergrößert nochmals im Anhang B.3 in Bild B.4). In

GE	Maximum über Kennwerte				Maximum über fließend/Stau				Maximum über Verkehrsstärke							
	LMM LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	DTV-SV	LMM LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LMM LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45
SSL m. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															
ESL o. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															
KSL o. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															
SSL o. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															

Bild 53: Ergebniszusammenstellung Smanforde – Modell „GE“ (Zusammenfassung)

GE	Maximum über Kennwerte				Maximum über fließend/Stau				Maximum über Varianten							
	LMM LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	DTV-SV	LMM LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LMM LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45
SSL m. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															
ESL o. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															
KSL o. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															
SSL o. ÜV	f DTV-SV															
	§ 5-25 DTV-SV															
	§ 5-15 DTV-SV															
	§ 5 DTV-SV															

Bild 54: Ergebniszusammenstellung Rahmede – Modell „GE“ (Zusammenfassung)

allen Varianten ohne Überholverkehr reichen hier die betrachteten Lastmodelle zur Abdeckung der Beanspruchungen aus Verkehr aus.

Für die Variante „SSL“ mit Überholverkehr ergibt sich bei einer Ergebniszusammenfassung über alle betrachteten Varianten keine Abdeckung der Beanspruchungen durch Lastmodell LM1 nach DIN-Fachbericht (Verhältniswert maximal 1,08). Innerhalb von Bild 54 wird bereits ersichtlich, dass dies ab der größten betrachteten Verkehrsstärke und Stauverkehr der Variante „s 5“ der Fall ist.

Die Einzelergebnisse in Bild 55 zeigen weiter, dass diese Niveauüberschreitung von LM1 nur bei der Querkraft rechts vom Auflager C auftritt und in allen anderen Fällen der Verhältniswert unter 0,95 liegt (hellgraue Einfärbung). Einzelne Überschreitungen der Niveaus von ansonsten als zur Abdeckung von Beanspruchungen aus Verkehr als geeignet identifizierten Lastmodellen traten auch in den Untersuchungen in [2] auf. Für die Ermittlung der charakteristischen Werte wurden bei allen betrachteten Kennwerten die gleichen Simulationsrechnungen verwendet. Offenbar ergibt sich aus der Form der Einflussfläche für die Querkraft rechts vom Auflager C in Verbindung mit der zwangsweise erforderlichen statistischen Auswertung und Extrapolation in diesem Fall ein im Vergleich zum Lastmodell LM1 deutlich höherer charakteristischer Wert aus Simulation als bei den übrigen betrachteten Kennwerten. Insgesamt sollte man daher auch hier von einer Abdeckung der Beanspruchung aus Verkehr durch das Lastmodell LM1 ausgehen können.

Für das Modell „ME“ der Verkehrszusammensetzung sind die Ergebnisdarstellungen für das Tragsystem „Rahmede“ im Anhang B.4 (Bild B.5 und Bild B.6) aufgeführt. Im Vergleich zu den Ergebnissen für das Modell „GE“ ergeben sich dort geringfügigere Überschreitungen der Niveaus der betrachteten Lastmodelle bei allen betrachteten Varianten („SSL“, „ESL“, „KSL“).

Die Ergebniszusammenfassungen für das Tragsystem „Rahmede schmal“ sind nachfolgend aufgeführt. Auch hier erfolgen zunächst in Bild 56 die

GE	Maximum über Kennwerte					Maximum über fließend/Stau					Maximum über Varianten									
	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	DTV-SV	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	
f DTV-SV ▲							0,61	0,60	0,95	0,95										
s 5-25 DTV-SV ▲							0,89	0,88	0,82	0,81	1,14	1,13	1,10	1,07	0,61	0,88	1,14	1,14	1,22	1,33
s 5-15 DTV-SV ▲							1,22	1,20	1,18	1,15	1,22	1,20	1,21	1,20	0,61	0,88	1,14	1,14	1,22	1,33
s 5 DTV-SV ▲							1,04	1,03	1,01	0,98	1,04	1,03	1,01	0,98	0,61	0,88	1,14	1,14	1,22	1,33
f DTV-SV ▲							0,45	0,47	0,47	0,45	0,45	0,47	0,47	0,45	0,48	0,70	0,93	0,93	1,04	1,04
s 5-25 DTV-SV ▲							0,70	0,69	0,69	0,69	0,71	0,70	0,69	0,69	0,48	0,70	0,93	0,93	1,04	1,04
s 5-15 DTV-SV ▲							0,94	0,94	0,93	0,91	0,93	0,93	0,93	0,91	0,48	0,70	0,93	0,93	1,04	1,04
s 5 DTV-SV ▲							0,89	0,89	0,88	0,86	0,89	0,88	0,88	0,86	0,48	0,70	0,93	0,93	1,04	1,04
f DTV-SV ▲							0,51	0,50	0,49	0,45	0,51	0,50	0,49	0,45	0,51	0,74	1,00	1,00	1,10	1,11
s 5-25 DTV-SV ▲							0,74	0,73	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,51	0,74	1,00	1,00	1,10	1,11
s 5-15 DTV-SV ▲							0,98	0,98	0,95	0,93	0,98	0,98	0,95	0,93	0,51	0,74	1,00	1,00	1,10	1,11
s 5 DTV-SV ▲							1,05	1,04	1,01	0,99	1,05	1,04	1,01	0,99	0,51	0,74	1,00	1,00	1,10	1,11
f DTV-SV ▲							0,46	0,46	0,47	0,45	0,46	0,46	0,47	0,45	0,48	0,70	0,93	0,93	1,03	1,04
s 5-25 DTV-SV ▲							0,70	0,69	0,69	0,69	0,70	0,69	0,69	0,69	0,48	0,70	0,93	0,93	1,03	1,04
s 5-15 DTV-SV ▲							0,94	0,94	0,92	0,88	0,94	0,94	0,92	0,88	0,48	0,70	0,93	0,93	1,03	1,04
s 5 DTV-SV ▲							0,89	0,89	0,87	0,83	0,89	0,89	0,87	0,83	0,48	0,70	0,93	0,93	1,03	1,04

Bild 56: Ergebniszusammenstellung Rahmede schmal – Modell „GE“ (Zusammenfassung)

	Stützmoment				Feldmoment			Querkraft				Auflagerkräfte (Max)		
	Auflager B	Auflager C	Feld 1	Feld 2	Feld 3	Auflager B links	Auflager B rechts	Auflager C links	Auflager C rechts	Auflager A	Auflager B	Auflager C		
f DTV-SV ▲														
s 5-25 DTV-SV ▲														
s 5-15 DTV-SV ▲														
s 5 DTV-SV ▲														
f DTV-SV ▲														
s 5-25 DTV-SV ▲														
s 5-15 DTV-SV ▲														
s 5 DTV-SV ▲														
f DTV-SV ▲														
s 5-25 DTV-SV ▲														
s 5-15 DTV-SV ▲														
s 5 DTV-SV ▲														

Legende

$$\frac{|CW_{Simulation}|}{|CW_{Lastmodell}|} \leq 0,95$$

$$0,95 - 1,00$$

$$1,00 - 1,05$$

$$\geq 1,05$$

Bild 55: Ergebniszusammenstellung Rahmede – Modell „GE“

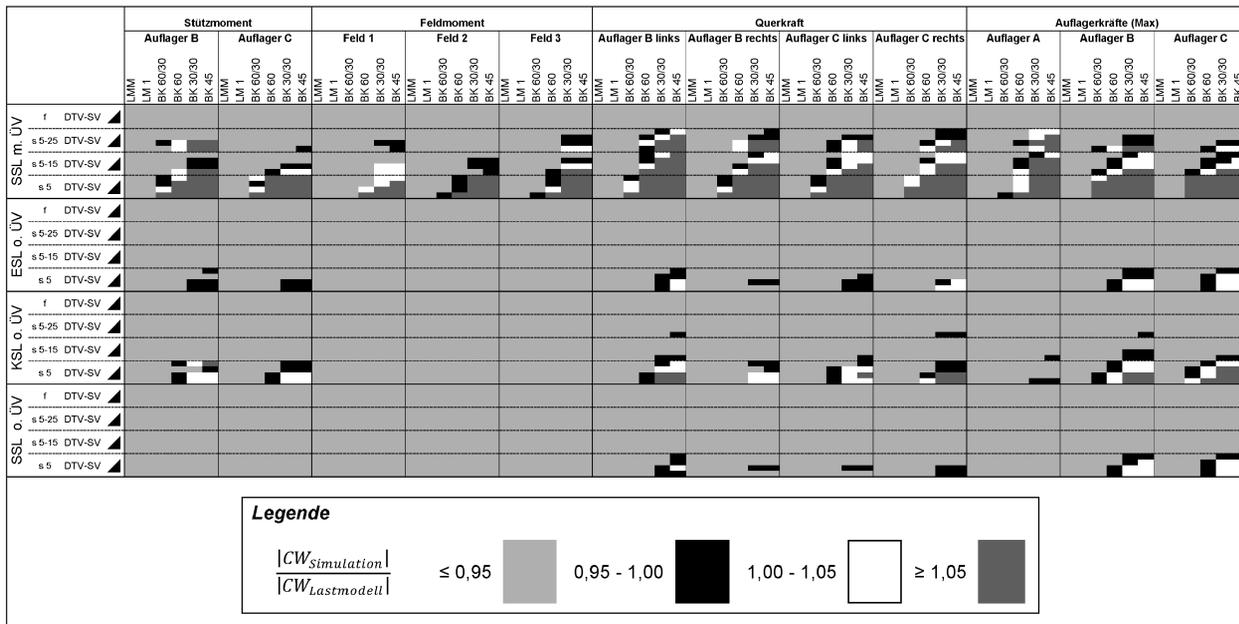


Bild 57: Ergebniszusammenstellung Rahmede schmal – Modell „GE“

Darstellung der zusammengefassten Ergebnisse und in Bild 57 die der dabei zugrunde liegenden Einzelergebnisse für die betrachteten Kennwerte (vergrößert nochmals im Anhang B.5 in Bild B.7).

Die Darstellung der ausgewählten Einzelergebnisse in den vorhergehenden Absätzen zeigte bereits auf, dass die Resultate für das Tragsystem „Rahmede schmal“ qualitativ im Wesentlichen analog zu denen des Tragsystems „Smanforde“ sind. Die Gegenüberstellung von Bild 56 zu Bild 53 verdeutlicht dies ebenfalls.

Erkennbar wird hier jedoch, dass sich für die Varianten der Spurbreite und Spurlage „ESL“ und „KSL“ für das Tragsystem „Rahmede schmal“ etwas ungünstigere Verhältnisse zu den Werten aus der Anwendung der betrachteten Lastmodelle ergeben. Während für „Smanforde“ in diesen Varianten das Lastmodell BK60 die Beanspruchungen aus Verkehr über alle Verkehrsstärken und Varianten von fließendem Verkehr und Stauverkehr abdeckte, ist dies hier rechnerisch nicht der Fall (Verhältnswert 1,05 bei „KSL“).

Der Grund hierfür ist in Bild 57 ersichtlich. Die Überschreitung des Niveaus BK60 (Verhältnswert größer 1,0) tritt in der Variante „KSL“ bei den Kennwerten Auflagerquerkraft rechts von Auflager C, Auflagerkraft B und Auflagerkraft C für „extremen Stauverkehr“ (Fahrzeugabstand im Stau 5 m) auf und eine Überschreitung größer 5 % (Verhältnswerte größer 1,05) des Weiteren nur bei der größten Ver-

kehrsstärke. Analog zu den Ausführungen zum Tragsystem „Rahmede“ könnte man damit auch hier von einer generellen Abdeckung der Beanspruchungen aus Verkehr durch das Lastmodell BK60 ausgehen.

Für das Modell „ME“ der Verkehrszusammensetzung sind die Ergebniszusammenfassungen für das Tragsystem „Rahmede schmal“ im Anhang B.6 (Bild B.8 und Bild B.9) dargestellt. Die Ergebnisse sind hier analog zu denen des Tragsystems „Smanforde“. Bei „SSL“ mit Überholverkehr reichen BK60/30 und bei den übrigen Varianten BK30/30 zu Abdeckung aus.

5 Weiterführende Analyse der ermittelten Abstände zwischen den charakteristischen Werten aus Simulation und Lastmodellen

In den bisherigen Beschreibungen wurde verdeutlicht, dass die charakteristischen Werte aus Simulation und Extrapolation Streuungen aufweisen, die durch eine Mittelwertbildung geglättet wurden. Des Weiteren resultieren aus der Betrachtung verschiedener Verkehrscharakteristiken unterschiedliche Ergebnisse. Die charakteristischen Werte aus den Lastmodellen sind deterministische Berechnungsergebnisse und führen somit zu einem definierten Wert pro Kennwert. Das deterministische Lastmo-

dell erreicht aber bei den unterschiedlichen Kennwerten nie das gleiche Niveau.

Die Normen, die der Berechnung der Bestandsbrücken zugrunde lagen, haben eine stete Entwicklung erfahren und dieser Prozess setzt sich fort. Entsprechend basieren die Bestandsbrücken aus den Jahren bis 1978 und den Verkehrslastmodellen der BK60 und BK45 auf Normen, die Zwänge nur bedingt berücksichtigten. Eine wesentliche Einwirkung, die zu Zwängen führt, ist der Temperaturunterschied über die Konstruktionshöhe bei statisch unbestimmten Systemen.

Durch eine Analyse der Abstände zwischen den charakteristischen Werten aus Simulation (als „gesicherte“ Werte) und den charakteristischen Werten aus den Lastmodellen BK60 und BK45 wird eine Beurteilungsbasis der Auslastung der Bestandsbrücken aus den entsprechenden Baujahren aufgezeigt.

Zu diesem Zweck werden in Tabelle 6 für die drei Tragsysteme diese Abstände aufgezeigt. Die Abstände werden dabei als Prozente des charakteristischen Wertes aus den Lastmodellen BK60 und BK45 dargestellt:

$$Abstand = 1 - \frac{|CW_{Simulation}|}{|CW_{Lastmodell}|}$$

Analog zu den Darstellungen in Kapitel 4.5 werden dabei die Ergebnisse für die einzelnen Kennwerte zusammengefasst. In Tabelle 6 werden hierzu in den Spaltenüberschriften folgende Abkürzungen verwendet:

- A: Minimum der berechneten Abstände zu den Lastmodellen über alle Kennwerte,
- B: Minimum aus A über die betrachteten Varianten von fließendem Verkehr und Verkehr mit eingemischten Stauabschnitten,
- C: Minimum aus B über die betrachteten Verkehrsstärken.

Da im Brückenbau die Zwangsbeanspruchungen vordergründig Biegebeanspruchungen sind, wird in Tabelle 7 die Darstellung der definierten Abstände wiederholt, jedoch werden als Kennwerte hier nur die Biegemomente ausgewertet und dargestellt (Stütz- und Feldmomente).

Zur expliziten Beurteilung der Abstände werden in Tabelle 8 für die untersuchten Tragsysteme die ab-

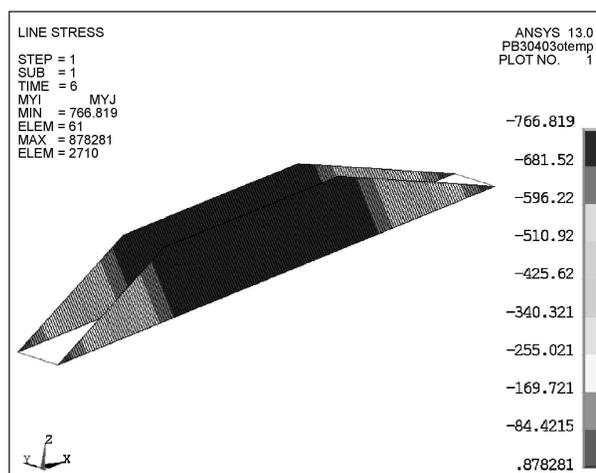


Bild 58: Momentenverlauf infolge eines Temperaturgradienten von 1 K/m für die Brücke Smanforde

standsgleichen Verhältnisse der Biegemomente infolge Temperaturunterschieds nach DIN-Fachbericht zu den charakteristischen Werten aus BK60 und BK45 **fett** dargestellt.

Zur Ermittlung dieser Zahlenwerte aus Temperatur wurden die vorliegenden Rechenmodelle der Tragsysteme, mit denen bereits die Einflussflächen der in den vorliegenden Untersuchungen betrachteten Kennwerte ermittelt wurden, durch einen Temperaturgradienten von 1 K/m Querschnittshöhe beaufschlagt. Bild 58 zeigt hierzu exemplarisch den resultierenden Momentenverlauf für die Brücke Smanforde.

Aus den berechneten Ergebnissen für 1 K/m können nunmehr für beliebige Temperaturunterschiede Kennwerte berechnet werden. Für die Werte in Tabelle 8 wurden die Festlegungen aus dem DIN-Fachbericht 101 [7] verwendet (vgl. Tabelle 9). Für das Tragsystem „Smanforde“ wurden die Werte aus „Gruppe 3“ und für die Tragsysteme „Rahmede“ und „Rahmede schmal“ die Werte aus „Gruppe 2“ herangezogen. Des Weiteren wurde der Wert für K_{sur} zu 1,0 gesetzt.

Werden nun einerseits die hellgrau markierten „Abstände“ in Tabelle 7 mit den abstandsgleichen Verhältnissen zwischen den charakteristischen Biegemomenten infolge Temperaturunterschieds und den charakteristischen Biegemomenten infolge BK60 bzw. BK45 verglichen, dann sind Einordnungen der Brücken in den heutigen Stand der Technik möglich.

Bei den breiten Tragwerken führen die Gleichflächenlasten der Verkehrslastmodelle zu Abständen gegenüber dem realen Verkehr. Zum Beispiel weist

„GE“		Smanforde						Rahmede						Rahmede schmal													
		A		B		C		A		B		C		A		B		C									
		BK60	BK45	DTV-SV	BK60	BK45	BK60	BK45	BK60	BK45	DTV-SV	BK60	BK45	BK60	BK45	DTV-SV	BK60	BK45	BK60	BK45							
„SSL“ m. ÜV	f DTV-SV ▲	0,21	0,05	500	-0,09	-0,21	-0,18	-0,31	0,54	0,50	500	0,19	0,13	-0,29	-0,36	0,37	0,29	500	-0,13	-0,22	-0,22	-0,35					
		0,14	-0,05						0,31	0,22																	
		-0,02	-0,22						0,21	0,10																	
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,04	-0,07	1.000	-0,10	-0,22			0,30	0,25	1.000	0,19	0,14			0,08	-0,03	1.000	-0,16	-0,24			0,05	-0,06	1.000	-0,20	-0,30
		0,07	-0,04						0,28	0,23						0,05	-0,11										
		0,00	-0,18						0,07	0,00						-0,04	-0,13										
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,09	-0,02	5.000	-0,17	-0,29			0,22	0,17	5.000	0,00	-0,03			0,05	-0,05	5.000	-0,20	-0,30			0,01	-0,11	5.000	-0,20	-0,30
		0,01	-0,11						0,23	0,17						-0,02	-0,12										
		-0,04	-0,24						0,05	-0,02						-0,05	-0,16										
	s 5 DTV-SV ▲	-0,09	-0,21	10.000	-0,18	-0,31			0,19	0,13	10.000	-0,29	-0,36			-0,13	-0,22	10.000	-0,22	-0,35			-0,16	-0,24	10.000	-0,22	-0,35
		-0,10	-0,22						0,19	0,14						-0,20	-0,30										
		-0,17	-0,29						0,00	-0,03						-0,22	-0,35										
„ESL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,24	0,14	500	0,16	0,03	0,12	0,01	0,58	0,54	500	0,35	0,33	0,17	0,12	0,39	0,31	500	0,07	0,02	0,02	-0,04					
		0,20	0,07						0,27	0,18																	
		0,20	0,03						0,28	0,19						0,16	0,09										
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,25	0,10	1.000	0,14	0,03			0,45	0,40	1.000	0,25	0,21			0,27	0,20	1.000	0,04	-0,01			0,22	0,16	1.000	0,02	-0,03
		0,23	0,07						0,43	0,38						0,20	0,12										
		0,18	0,01						0,32	0,28						0,16	0,09										
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,26	0,10	5.000	0,14	0,01			0,45	0,40	5.000	0,18	0,14			0,23	0,17	5.000	0,02	-0,03			0,21	0,16	5.000	0,02	-0,03
		0,27	0,11						0,44	0,40						0,15	0,09										
		0,20	0,05						0,27	0,23						0,14	0,08										
	s 5 DTV-SV ▲	0,16	0,03	10.000	0,12	0,01			0,35	0,33	10.000	0,17	0,12			0,07	0,02	10.000	0,02	-0,04			0,04	-0,01	10.000	0,02	-0,04
		0,14	0,03						0,25	0,21						0,02	-0,03										
		0,14	0,04						0,18	0,14						0,02	-0,04										
„KSL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,20	0,09	500	0,11	0,00	0,07	-0,05	0,57	0,54	500	0,30	0,28	0,11	0,06	0,33	0,24	500	0,01	-0,05	-0,05	-0,11					
		0,13	0,02						0,49	0,45						0,19	0,08										
		0,16	-0,02						0,44	0,40						0,24	0,14										
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,21	0,05	1.000	0,10	0,00			0,44	0,39	1.000	0,27	0,24			0,19	0,09	1.000	-0,01	-0,06			0,22	0,16	1.000	-0,04	-0,09
		0,17	0,04						0,40	0,35						0,18	0,12										
		0,16	0,02						0,30	0,26						0,10	0,03										
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,21	0,04	5.000	0,09	-0,02			0,44	0,40	5.000	0,16	0,12			0,18	0,12	5.000	-0,04	-0,09			0,16	0,11	5.000	-0,04	-0,09
		0,20	0,03						0,42	0,38						0,16	0,12										
		0,16	-0,01						0,21	0,17						0,10	0,04										
	s 5 DTV-SV ▲	0,13	0,00	10.000	0,07	-0,05			0,20	0,15	10.000	0,11	0,06			0,08	0,01	10.000	-0,05	-0,11			0,01	-0,05	10.000	-0,05	-0,11
		0,11	0,00						0,30	0,28						0,01	-0,05										
		0,10	0,00						0,27	0,24						-0,01	-0,06										
„SSL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,26	0,14	500	0,17	0,03	0,14	-0,02	0,57	0,54	500	0,35	0,33	0,17	0,12	0,39	0,31	500	0,07	0,02	0,01	-0,04					
		0,22	0,07						0,53	0,49						0,28	0,19										
		0,20	0,06						0,48	0,43						0,28	0,19										
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,26	0,11	1.000	0,15	0,05			0,47	0,42	1.000	0,29	0,25			0,26	0,19	1.000	0,03	-0,02			0,22	0,16	1.000	0,03	-0,02
		0,24	0,09						0,43	0,39						0,16	0,11										
		0,19	0,05						0,34	0,30						0,16	0,09										
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,22	0,06	5.000	0,14	0,03			0,31	0,27	5.000	0,20	0,16			0,16	0,11	5.000	0,01	-0,04			0,22	0,17	5.000	0,01	-0,04
		0,28	0,12						0,46	0,43						0,20	0,16										
		0,28	0,13						0,46	0,42						0,14	0,08										
	s 5 DTV-SV ▲	0,20	0,03	10.000	0,14	-0,02			0,27	0,23	10.000	0,20	0,16			0,14	0,09	10.000	-0,04	-0,11			0,20	0,16	10.000	-0,04	-0,11
		0,22	0,05						0,26	0,21						0,14	0,09										
		0,17	0,03						0,35	0,33						0,07	0,02										
s 5 DTV-SV ▲	0,15	0,05	10.000	0,14	-0,04	0,29	0,25	10.000	0,17	0,12	0,03	0,02	10.000	0,01	-0,04	0,03	-0,02	10.000	0,01	-0,04							
	0,14	0,04				0,20	0,16				0,01	-0,04															
	0,14	0,04				0,17	0,12				0,01	-0,04															

Tab. 6: Abstände zwischen charakteristischen Werten aus Simulationen und Lastmodellniveaus (BK60 und BK45)

„GE“		Smanforde						Rahmede						Rahmede schmal								
		A		B		C		A		B		C		A		B		C				
		BK60	BK45	DTV-SV	BK60	BK45	BK60	BK45	BK60	BK45	DTV-SV	BK60	BK45	BK60	BK45	DTV-SV	BK60	BK45	BK60	BK45		
„SSL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,29	0,20	500	-0,09	-0,21	-0,18	-0,31	0,60	0,57	500	0,24	0,19	-0,11	-0,14	0,48	0,42	500	-0,06	-0,11	-0,17	-0,23
		0,25	0,14	500	-0,09	-0,21			0,60	0,57	500	0,24	0,19			0,48	0,42	500	-0,06	-0,11		
		-0,02	-0,22	500	-0,09	-0,21			0,47	0,43	500	0,24	0,19			0,27	0,19	500	-0,06	-0,11		
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,04	-0,07	1.000	-0,10	-0,22	-0,18	-0,31	0,35	0,31	1.000	0,28	0,23	-0,11	-0,14	0,15	0,07	1.000	-0,06	-0,12	-0,17	-0,23
		0,07	-0,04	1.000	-0,10	-0,22			0,35	0,31	1.000	0,28	0,23			0,10	0,01	1.000	-0,06	-0,12		
		0,00	-0,18	1.000	-0,10	-0,22			0,16	0,13	1.000	0,28	0,23			-0,04	-0,10	1.000	-0,06	-0,12		
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,10	0,00	5.000	-0,17	-0,29	-0,18	-0,31	0,34	0,32	5.000	0,16	0,13	-0,11	-0,14	0,11	0,06	5.000	-0,11	-0,18	-0,17	-0,23
		0,01	-0,11	5.000	-0,17	-0,29			0,31	0,27	5.000	0,16	0,13			0,09	0,02	5.000	-0,11	-0,18		
		-0,04	-0,24	5.000	-0,17	-0,29			0,23	0,18	5.000	0,16	0,13			0,05	-0,04	5.000	-0,11	-0,18		
	s 5 DTV-SV ▲	-0,09	-0,21	10.000	-0,18	-0,31	-0,18	-0,31	0,24	0,19	10.000	-0,11	-0,14	-0,11	-0,14	-0,06	-0,11	10.000	-0,17	-0,23	-0,17	-0,23
		-0,10	-0,22	10.000	-0,18	-0,31			0,28	0,23	10.000	-0,11	-0,14			-0,06	-0,12	10.000	-0,17	-0,23		
		-0,17	-0,29	10.000	-0,18	-0,31			0,16	0,13	10.000	-0,11	-0,14			-0,11	-0,18	10.000	-0,17	-0,23		
„ESL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,24	0,16	500	0,19	0,10	0,13	0,03	0,62	0,59	500	0,35	0,33	0,29	0,27	0,52	0,46	500	0,10	0,05	0,06	0,00
		0,29	0,21	500	0,19	0,10			0,50	0,46	500	0,35	0,33			0,31	0,28	500	0,10	0,05		
		0,27	0,17	500	0,19	0,10			0,51	0,48	500	0,35	0,33			0,31	0,28	500	0,10	0,05		
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,31	0,24	1.000	0,17	0,08	0,13	0,03	0,52	0,49	1.000	0,30	0,28	0,29	0,27	0,31	0,28	1.000	0,13	0,09	0,06	0,00
		0,31	0,22	1.000	0,17	0,08			0,52	0,49	1.000	0,30	0,28			0,27	0,23	1.000	0,13	0,09		
		0,28	0,20	1.000	0,17	0,08			0,45	0,42	1.000	0,30	0,28			0,19	0,14	1.000	0,13	0,09		
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,30	0,23	5.000	0,14	0,05	0,13	0,03	0,46	0,42	5.000	0,29	0,27	0,29	0,27	0,28	0,24	5.000	0,08	0,03	0,06	0,00
		0,28	0,20	5.000	0,14	0,05			0,50	0,46	5.000	0,29	0,27			0,26	0,22	5.000	0,08	0,03		
		0,24	0,16	5.000	0,14	0,05			0,40	0,38	5.000	0,29	0,27			0,17	0,12	5.000	0,08	0,03		
	s 5 DTV-SV ▲	0,19	0,10	10.000	0,13	0,03	0,13	0,03	0,35	0,33	10.000	0,30	0,28	0,29	0,27	0,10	0,05	10.000	0,06	0,00	0,06	0,00
		0,17	0,08	10.000	0,13	0,03			0,30	0,28	10.000	0,30	0,28			0,13	0,09	10.000	0,06	0,00		
		0,14	0,05	10.000	0,13	0,03			0,29	0,27	10.000	0,30	0,28			0,08	0,03	10.000	0,06	0,00		
„KSL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,20	0,11	500	0,14	0,05	0,08	-0,02	0,60	0,57	500	0,30	0,28	0,25	0,23	0,47	0,41	500	0,01	-0,05	0,00	-0,05
		0,28	0,20	500	0,14	0,05			0,58	0,55	500	0,30	0,28			0,32	0,25	500	0,01	-0,05		
		0,25	0,14	500	0,14	0,05			0,51	0,48	500	0,30	0,28			0,31	0,22	500	0,01	-0,05		
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,27	0,19	1.000	0,14	0,05	0,08	-0,02	0,50	0,47	1.000	0,27	0,25	0,25	0,23	0,28	0,24	1.000	0,07	0,02	0,00	-0,05
		0,25	0,16	1.000	0,14	0,05			0,50	0,47	1.000	0,27	0,25			0,23	0,19	1.000	0,07	0,02		
		0,25	0,16	1.000	0,14	0,05			0,44	0,40	1.000	0,27	0,25			0,22	0,14	1.000	0,07	0,02		
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,15	0,06	5.000	0,10	0,00	0,08	-0,02	0,35	0,33	5.000	0,27	0,24	0,25	0,23	0,15	0,10	5.000	0,03	-0,03	0,00	-0,05
		0,28	0,19	5.000	0,10	0,00			0,44	0,41	5.000	0,27	0,24			0,24	0,20	5.000	0,03	-0,03		
		0,23	0,15	5.000	0,10	0,00			0,48	0,45	5.000	0,27	0,24			0,21	0,17	5.000	0,03	-0,03		
	s 5 DTV-SV ▲	0,14	0,05	10.000	0,08	-0,02	0,08	-0,02	0,30	0,28	10.000	0,25	0,23	0,25	0,23	0,01	-0,05	10.000	0,00	-0,05	0,00	-0,05
		0,14	0,05	10.000	0,08	-0,02			0,30	0,28	10.000	0,25	0,23			0,07	0,02	10.000	0,00	-0,05		
		0,10	0,00	10.000	0,08	-0,02			0,27	0,25	10.000	0,25	0,23			0,03	-0,03	10.000	0,00	-0,05		
„SSL“ o. ÜV	f DTV-SV ▲	0,26	0,18	500	0,19	0,10	0,15	0,05	0,62	0,59	500	0,35	0,33	0,30	0,28	0,51	0,46	500	0,11	0,06	0,10	0,05
		0,29	0,21	500	0,19	0,10			0,59	0,56	500	0,35	0,33			0,38	0,31	500	0,11	0,06		
		0,29	0,17	500	0,19	0,10			0,53	0,50	500	0,35	0,33			0,32	0,24	500	0,11	0,06		
	s 5-25 DTV-SV ▲	0,31	0,24	1.000	0,17	0,08	0,15	0,05	0,52	0,49	1.000	0,33	0,31	0,30	0,28	0,31	0,27	1.000	0,13	0,09	0,10	0,05
		0,33	0,24	1.000	0,17	0,08			0,52	0,50	1.000	0,33	0,31			0,28	0,23	1.000	0,13	0,09		
		0,28	0,20	1.000	0,17	0,08			0,47	0,43	1.000	0,33	0,31			0,23	0,19	1.000	0,13	0,09		
	s 5-15 DTV-SV ▲	0,31	0,24	5.000	0,15	0,05	0,15	0,05	0,49	0,45	5.000	0,31	0,29	0,30	0,28	0,28	0,25	5.000	0,11	0,05	0,10	0,05
		0,28	0,20	5.000	0,15	0,05			0,51	0,48	5.000	0,31	0,29			0,26	0,22	5.000	0,11	0,05		
		0,26	0,14	5.000	0,15	0,05			0,35	0,33	5.000	0,31	0,29			0,16	0,11	5.000	0,11	0,05		
	s 5 DTV-SV ▲	0,19	0,10	10.000	0,15	0,06	0,15	0,05	0,35	0,33	10.000	0,30	0,28	0,30	0,28	0,11	0,06	10.000	0,10	0,06	0,10	0,05
		0,17	0,08	10.000	0,15	0,06			0,33	0,31	10.000	0,30	0,28			0,13	0,09	10.000	0,10	0,06		
		0,15	0,05	10.000	0,15	0,06			0,31	0,29	10.000	0,30	0,28			0,11	0,05	10.000	0,10	0,06		

Tab. 7: Abstände zwischen charakteristischen Werten aus Simulationen und Lastmodellniveaus (BK60 und BK45) – nur Ergebnisse für Stütz- und Feldmomente

Kennwert	Smanforde					Rahmede					Rahmede schmal				
	Wert aus			Verhältnis Temp. zu		Wert aus			Verhältnis Temp. zu		Wert aus			Verhältnis Temp. zu	
	BK60	BK45	Temperatur	BK60	BK45	BK60	BK45	Temperatur	BK60	BK45	BK60	BK45	Temperatur	BK60	BK45
M _{B,L}	5.146	4.640	2.454	0,48	0,53	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
M _{B,R}	5.506	4.907	2.454	0,45	0,50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
M _B	---	---	---	---	---	37.427	36.172	33.418	0,89	0,92	19.605	18.497	16.170	0,82	0,87
M _C	---	---	---	---	---	66.092	63.984	23.951	0,36	0,37	28.620	27.229	11.589	0,40	0,43
M _{F,1}	5.385	4.497	2.150	0,40	0,48	31.002	28.940	11.935	0,38	0,41	17.080	15.291	5.775	0,34	0,38
M _{F,2}	6.170	5.195	4.614	0,75	0,89	34.756	32.539	23.904	0,69	0,73	19.278	17.359	11.566	0,60	0,67
M _{F,3}	---	---	---	---	---	39.766	37.428	19.959	0,50	0,53	26.724	24.435	9.658	0,36	0,40

Tab. 8: Kennwerte aus der Anwendung der Lastmodelle BK60 und BK45 sowie eines linearen Temperaturunterschiedes für die drei betrachteten Tragsysteme

Gruppen der Brückenüberbauten	Straßenbrücken		Eisenbahnbrücken	
	Positiver Temperaturunterschied	Negativer Temperaturunterschied	Positiver Temperaturunterschied	Negativer Temperaturunterschied
	$\Delta T_{M,pos}$ in K	$\Delta T_{M,neg}$ in K	$\Delta T_{M,pos}$ in K	$\Delta T_{M,neg}$ in K
Gruppe 1 Stahlüberbau aus Hohlkasten, Fachwerk oder Plattenbalken	18	-13	18	-13
Gruppe 2 Verbundüberbau: Betonplatte auf einem Hohlkasten, Fachwerk oder Plattenbalken aus Stahl	15	-18	15	-18
Gruppe 3 Betonüberbauten aus:				
• Betonhohlkasten	10	-5	10	-5
• Betonplattenbalken	15	-8	15	-8
• Betonplatte	15	-8	15	-8

Tab. 9: Temperaturunterschiede nach DIN-Fachbericht 101 [7]

Tabelle 7 für die Brücke Rahmede im Regelverkehr gegenüber der BK60 und BK45 Abstände zwischen 0,13 und 0,28 aus, die nur bei Stauverkehr mit 5 m Stauabstand aufgebraucht werden. In Tabelle 8 kann für die gleiche Brücke ein abstandsgleiches Verhältnis zwischen dem charakteristischen Temperaturbiegemoment und dem Biegemoment BK60 zwischen 0,89 und 0,36 entnommen werden. Der Vergleich Abstand in Tabelle 7 zu Verhältnis Temperatur/BK in Tabelle 8 zeigt die Kapazität hinsichtlich der Aufnahme unberücksichtigter Zwangsbeanspruchungen an. Bei Abstand Tabelle 7 > Abstand Tabelle 8 könnte das volle Temperaturmoment zu-

sätzlich aufgenommen werden. Dies ist nicht real, jedoch ist eine anteilige Aufnahme teilweise möglich.

Die vorgelegten Untersuchungen lassen zwei dominante Schlussfolgerungen zu:

1. Es lohnt sich, im Bedarfsfall objektbezogene Analysen in der beschriebenen Form anzufertigen, und es lohnt sich, in diesen Fällen die Daten des aktuellen Verkehrs zu erfassen. Die Brücke kann dann für eine definierte Zeit mit oder ohne Kompensationsmaßnahmen im Ver-

kehr bleiben und sie erfüllt die erforderlichen Sicherheitsstandards.

2. Über die erwähnte definierte Zeit hinaus muss die Brücke erneuert werden, wenn sich keine gravierenden Veränderungen hinsichtlich des Verkehrs ergeben haben. In diesen Fällen sollte ein zukunftsicheres Nachweiskonzept angewandt werden.

6 Zusammenfassung

Im vorliegenden Schlussbericht zum Forschungsprojekt „Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen“ wurden zunächst die angewendeten Grundannahmen und daraus abgeleitete Eingangsdaten für durchzuführenden Simulationsrechnungen mit einem im Rahmen vorhergehender Forschungsprojekte entwickelten Programmsystem zusammengestellt. Betrachtet wurden hierbei verschiedene Varianten der Anordnung von 4 Fahrstreifen (2 pro Richtung) auf einem Überbauquerschnitt sowie der Ansatz bzw. Nichtansatz von Lkw-Überholverbot (Lkw-Verkehr auf dem zweiten Fahrstreifen einer Richtung). Vier verschiedene Verkehrsstärken sowie zwei Varianten der Verkehrszusammensetzung wurden zur Abbildung des aktuellen Verkehrsaufkommens betrachtet und um eine Prognosevariante für zukünftiges Verkehrsaufkommen ergänzt.

Für die durch diese Daten beschriebenen Varianten von Verkehrscharakteristiken wurden Untersuchungen von drei ausgewählten Tragsystemen durchgeführt. Hierbei handelte es sich um zwei reale Brückenbauwerke (Brücke Smanforde im Zuge der BAB 1 und Talbrücke Rahmede im Zuge der BAB 45, jeweils in Nordrhein-Westfalen) und ein auf Grundlage der Talbrücke Rahmede abgeleitetes modifiziertes Tragsystem.

Die ermittelten Ergebnisse in Form von charakteristischen Werten (mittlere Wiederkehrperiode 1.000 Jahre) für verschiedene Kennwerte (Momente, Querkräfte und Auflagerkräfte) zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Variante der Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung und Spurlage.

Über die verschiedenen betrachteten Varianten und Kennwerte hinweg lassen sich die ermittelten Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

Bei einer Spurlage und Spurbreite analog zu den in den bisherigen Untersuchungen (vgl. [2] und [3]) angenommenen Werten für eine „normale Verkehrsführung“ (hier als „SSL“ bezeichnet) ergibt sich für die Verkehrszusammensetzung „GE“ („Große Entfernung“, 50 % Sattelschlepper) generell eine Abdeckung der ermittelten charakteristischen Werte nur durch das Lastmodell LM1. Für die Verkehrszusammensetzung „ME“ („Mittlere Entfernung“, 30 % Sattelschlepper) reicht das Lastmodell BK60/30 aus.

Unter Annahme einer veränderten Verkehrsführung (verengte und verschobene Spuren) und der zusätzlichen realistischen Annahme, dass in diesen Fällen kein Lkw-Überholverkehr stattfindet, ergibt sich für „GE“ über die drei betrachteten Tragsysteme hinweg im Wesentlichen eine Abdeckung der charakteristischen Werte durch die Lastmodelle BK60. Bei einer Verkehrszusammensetzung analog zum verwendeten Modell „ME“ reicht im Wesentlichen das Lastmodell BK30/30 zur Abdeckung aus.

Abweichend davon ergeben sich für abhebende Auflagerkräfte aus Verkehr ohne Berücksichtigung von Eigenlasten des Tragwerkes in Abhängigkeit des betrachteten Tragwerkes zum Teil erhebliche Überschreitungen der Niveaus der betrachteten Verkehrslastmodelle. Es kann bei den betrachteten Tragwerken aber davon ausgegangen werden, dass die Auflagerkräfte aus Eigengewicht so groß sind, dass es nicht zu Abhebungen aus Verkehr kommt.

Die abgeleiteten Aussagen zur Abdeckung von Beanspruchungen aus Verkehr durch Lastmodelle erhalten gewisse Reserven. Bei der Ermittlung der Werte aus der Anwendung der Lastmodelle wurden die Kappenbereiche der betrachteten Brückenbauwerke nicht mit Flächenlasten der Lastmodelle beaufschlagt. Setzt man diese mit an, so erhöhen sich die Lastmodellniveaus und die Auslastungen verringern sich. Des Weiteren wurden aus den Simulationsrechnungen Werte mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren ermittelt. Bei einer Gesamtnutzungsdauer von 100 Jahren wird dieser Wert rechnerisch mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 10 % erreicht bzw. überschritten. Die betrachteten Verkehrsführungen sind aber nur über einen deutlich geringeren Zeitraum vorhanden. Geht man zum Beispiel von einem Jahr aus, würde darin ein Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 10 Jahren in etwa mit gleicher Wahrscheinlichkeit

erreicht oder überschritten werden. Würde man diese Wiederkehrperiode betrachten, so würden sich die ermittelten Werte aus den Simulationsrechnungen verringern. Vorhergehende Untersuchungen zeigen hier aber nur geringe effektive Auswirkungen.

Die Analyse in Kapitel 5 zeigt die Auslastungsgrade der Bestandsbrücken auf. Im Regelverkehr sind diese Auslastungsgrade der Bestandsbrücken mit den Lastmodellen BK60 und BK45 nahezu ausgeschöpft. Lediglich große Brückenbreiten und niedrige Verkehrsstärken haben noch Reserven. Alle Verkehrsführungen ohne Überholverkehr wirken sich entlastend aus.

Der Versuch, auch unberücksichtigte Zwänge z. B. aus vertikalem Temperaturunterschied bei Bestandsbrücken mit Baujahren vor 1980 einzuordnen, zeigt diesbezüglich enge Spielräume und gestattet keine allgemeingültigen Aussagen. Allerdings können objektbezogene Analysen hilfreich sein.

7 Literatur

- [1] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Anpassung des DIN-Fachberichtes 101 „Einwirkungen auf Brücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnung – Nachtrag (Schlussbericht FE 15.451/2007/FRB (Nachtrag)) (Forschungsbericht). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2010
- [2] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Anpassung des DIN-Fachberichtes 101 „Einwirkungen auf Brücken“ an Eurocodes – Zukunftsfähiges Lastmodell für Straßenverkehrslasten. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 77. Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, 2011
- [3] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 82. Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, 2011
- [4] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung (Schlussbericht FE 15.0499/2010/FRB) (Forschungsbericht). Bergisch Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012
- [5] GRÜNBERG, J.; HANSEN, M.; LIEBIG, J. P.; FREUNDT, U.; VOGT, R.; BÖNING, S.: Auswirkungen des Schwerverkehrs auf Brückenbauwerke (Schlussbericht FE 15.0395/2004/HRB) (Forschungsbericht). Bergisch Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2010
- [6] KASCHNER, R.: Auswirkungen des zunehmenden Schwerverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 68. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 2009
- [7] Norm DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken. Beuth Verlag, Fassung 03/2009
- [8] Norm DIN EN 1991-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Beuth Verlag, Fassung 12/2010
- [9] Norm DIN EN 1991-2/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Beuth Verlag, Fassung 07/2011
- [10] Nachrechnungsrichtlinie Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Ausgabe 05/2011). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau, 2011
- [11] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (Ausgabe 2002). Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2002

Anhang

A Ergänzende Darstellungen von Einzelergebnissen

A.1 Ergänzung zu Auflagerkräften

In Ergänzung zu den Ausführungen im Kapitel 4.4 sind nachfolgend ausgewählte Ergebnisse zu den ermittelten „abhebenden“ Auflagerkräften dargestellt. Hierzu wurde in der statistischen Auswertung der durch Simulationsrechnungen ermittelten Kennwert-Zeit-Verläufe nicht der positive Kennwertbereich betrachtet, sondern der negative Bereich. In den Ergebnisdarstellungen sind betragsmäßige Werte der (negativen) Auflagerkräfte aufgeführt.

Die hier aufgeführten Kräfte am Auflager B der betrachteten Tragsysteme liefern die ungünstigsten Verhältnisse zu den betrachteten Lastmodellen, daher wird sich hier auf diesen Kennwert in der Darstellung beschränkt.

Die Diagramme zeigen für die drei betrachteten Tragsysteme deutlich unterschiedliche Verhältnisse zu den Vergleichswerten aus den Lastmodellen. Für das Tragsystem „Smanforde“ (vgl. Bild A.1) wird bei der Variante „KSL“ abgesehen von der geringsten betrachteten Verkehrsstärke das Niveau des Lastmodells LM1 überschritten, während bei den

Varianten „SSL“ und „ESL“ die Werte im Bereich des Niveaus des Lastmodells BK30/30 bleiben. Im Vergleich dazu zeigt sich für das Tragsystem „Rahmede“ generell ein großer Abstand der berechneten Werte zu den aus der Anwendung der Lastmodelle resultierenden (vgl. Bild A.2). Ein qualitativ gänzlich anderer Verlauf der Ergebnisse ergibt sich für das Tragsystem „Rahmede schmal“ (vgl. Bild A.3). Bei den realistischen Varianten von Spurlage, Spurbreite und Überholverkehr ergeben sich für „SSL“ mit Überholverkehr Überschreitungen des Niveaus LM1. Die Ergebnisse für „ESL“ und „KSL“ bleiben im Wesentlichen unter den Lastmodellniveaus, wobei hier geringere Verkehrsstärken zu ungünstigeren Verhältnissen führen. Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich in der betragsmäßig entlastenden Wirkung von mehreren Fahrzeugen zur gleichen Zeit auf dem Bauwerk.

Insgesamt muss hier aber angemerkt werden, dass es sich bei den aufgeführten Vergleichen um Werte rein aus Verkehr (Simulation) bzw. Verkehrslastmodell handelt. Auflagerkräfte aus Eigengewicht, die den hier behandelten abhebenden Kräften entgegenwirken, werden nicht untersucht. Bei den hier betrachteten Tragsystemen kann davon ausgegangen werden, dass die Auflagerkräfte aus Eigengewicht so groß sind, dass es nicht zu Abhebungen aus Verkehr kommt.

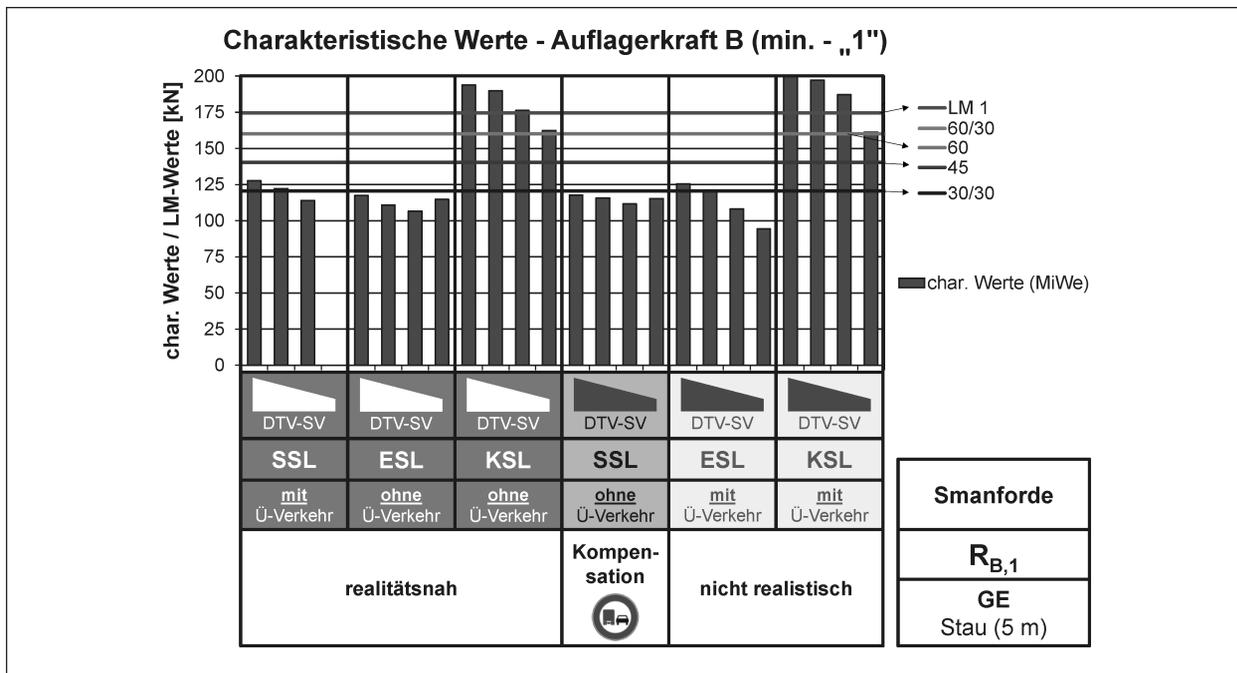


Bild A.1: Charakteristische Werte Auflagerkraft Mittelaullager B (abhebende Kräfte) im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Smanforde, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

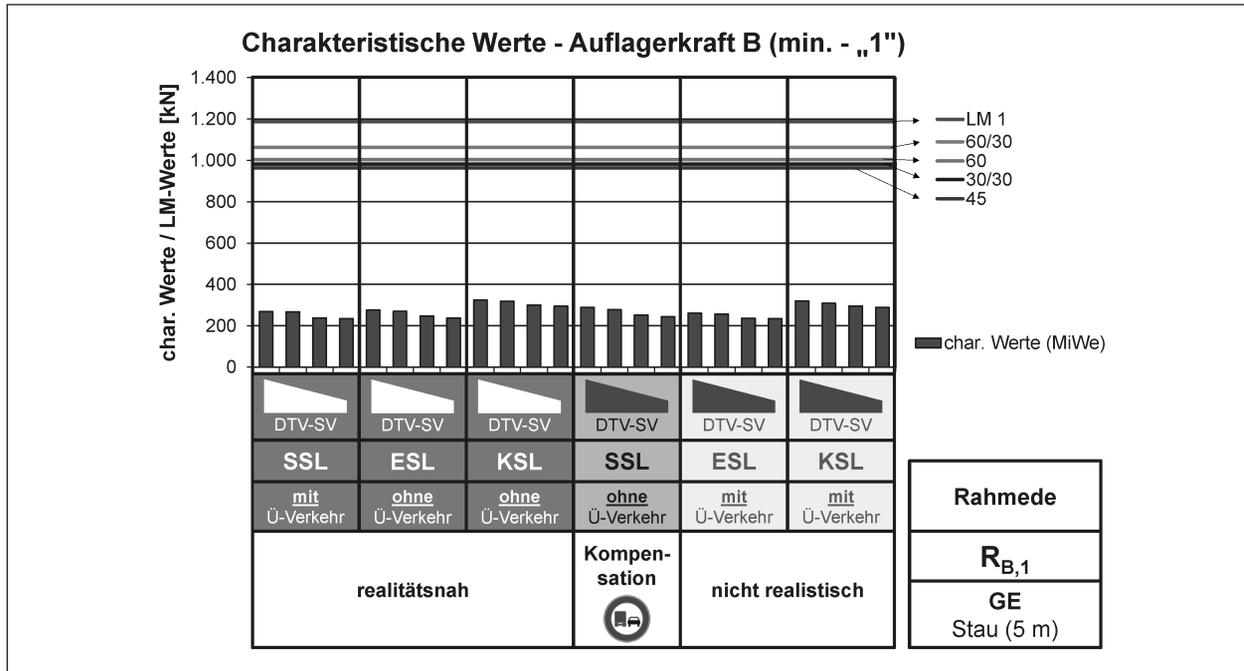


Bild A.2: Charakteristische Werte Auflagerkraft Mittelaufleger B (abhebende Kräfte) im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

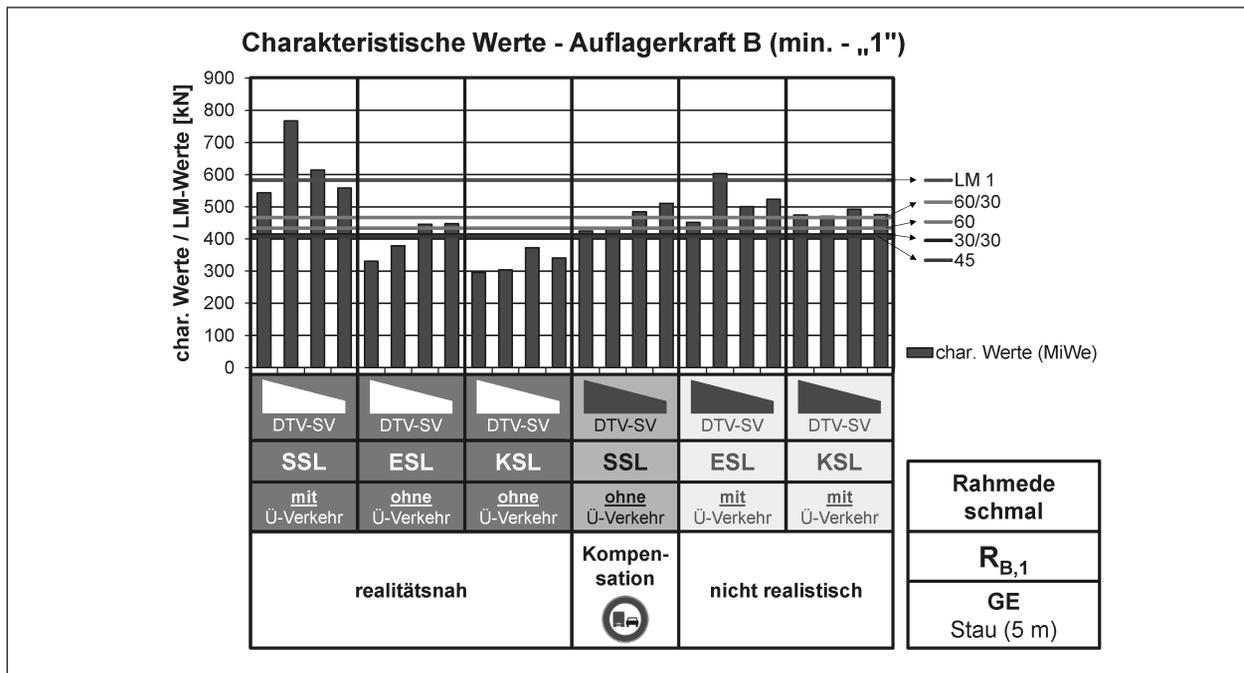


Bild A.3: Charakteristische Werte Auflagerkraft Mittelaufleger B (abhebende Kräfte) im Vergleich zu Lastmodellniveaus (Rahmede schmal, Modell „GE“) – Stauverkehr (5 m)

B.2 Ergebniszusammenfassung Smanforde – Modell „ME“

moment	Feldmoment										Querkraft														
	Auflager B rechts					Feld 1					Feld 2					Auflager B links		Auflager B rechts							
	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45					

ME	Maximum über Kennwerte						Maximum über fließend/Stau						Maximum über Varianten																
	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	DTV-SV						LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45											
							10.000	5.000	1.000	500	0,45	0,43	0,41	0,40	0,53	0,57	0,82	0,77	0,80	0,89	1,11	1,10	0,57	0,82	0,95	1,05	1,17	1,18	
SSL m. ÜV	f DTV-SV																												
	s 5-25 DTV-SV																												
	s 5-15 DTV-SV																												
	s 5 DTV-SV																												
ESL o. ÜV	f DTV-SV																												
	s 5-25 DTV-SV																												
	s 5-15 DTV-SV																												
	s 5 DTV-SV																												
KSL o. ÜV	f DTV-SV																												
	s 5-25 DTV-SV																												
	s 5-15 DTV-SV																												
	s 5 DTV-SV																												
SSL o. ÜV	f DTV-SV																												
	s 5-25 DTV-SV																												
	s 5-15 DTV-SV																												
	s 5 DTV-SV																												

Bild B3: Ergebniszusammenstellung Smanforde – Modell „ME“ (Zusammenfassung)

ME	Maximum über Kennwerte						Maximum über fließend/Stau						Maximum über Varianten																															
	LMM		LM 1		BK 60/30		BK 60		BK 30/30		BK 45		DTV-SV		LMM		LM 1		BK 60/30		BK 60		BK 30/30		BK 45																			
SSL m. ÜV	f	DTV-SV	▲										500	500	0,43																													
	s 5-25	DTV-SV	▲										1.000	1.000	0,41	0,43																												
	s 5-15	DTV-SV	▲										5.000	5.000	0,56	0,55	0,41	0,43																										
	s 5	DTV-SV	▲										10.000	10.000	0,56	0,79	0,79	0,90	0,90	0,67	0,68	0,96	0,97	0,71	0,73	0,75	0,77																	
ESL o. ÜV	f	DTV-SV	▲										500	500	0,32																													
	s 5-25	DTV-SV	▲										1.000	1.000	0,34	0,32																												
	s 5-15	DTV-SV	▲										5.000	5.000	0,43	0,43	0,34	0,32																										
	s 5	DTV-SV	▲										10.000	10.000	0,56	0,79	0,61	0,48	0,46	0,53	0,53	0,55	0,55	0,96	0,97	0,55	0,55																	
KSL o. ÜV	f	DTV-SV	▲										500	500	0,33																													
	s 5-25	DTV-SV	▲										1.000	1.000	0,34	0,33																												
	s 5-15	DTV-SV	▲										5.000	5.000	0,44	0,44	0,34	0,47	0,47	0,53	0,55	0,55	0,96	0,97	0,56	0,56																		
	s 5	DTV-SV	▲										10.000	10.000	0,60	0,85	0,63	0,48	0,47	0,53	0,55	0,56	0,56	1,01	1,03	0,60	0,56																	
SSL o. ÜV	f	DTV-SV	▲										500	500	0,31																													
	s 5-25	DTV-SV	▲										1.000	1.000	0,33	0,31																												
	s 5-15	DTV-SV	▲										5.000	5.000	0,45	0,45	0,33	0,44	0,44	0,51	0,53	0,53	0,85	0,77	0,56	0,54																		
	s 5	DTV-SV	▲										10.000	10.000	0,51	0,72	0,65	0,47	0,44	0,51	0,53	0,54	0,87	0,79	0,57	0,54																		
														10.000	5.000	5.000	1.000	1.000	500	0,51	0,45	0,33	0,33	0,31	0,31	0,51	0,72	0,65	0,47	0,44	0,44	0,85	0,77	0,56	0,53	0,54	0,87	0,79	0,57	0,54	0,88	0,80	0,59	0,55
														LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	0,56	0,79	0,90	0,97	1,00	1,03	0,56	0,79	0,91	0,94	0,96	0,97	0,60	0,85	0,97	1,01	1,03	1,04	0,51	0,72	0,82	0,85	0,87	0,88	

Bild B6: Ergebniszusammenstellung Rahmede – Modell „ME“ (Zusammenfassung)

ME	Maximum über Kennwerte						Maximum über fließend/Stau						Maximum über Varianten						
	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	DTV-SV	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45	LMM	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 45
SSL m. ÜV	f DTV-SV						500												
	s 5-25 DTV-SV						1.000												
	s 5-15 DTV-SV						5.000												
	s 5 DTV-SV						10.000												
ESL o. ÜV	f DTV-SV						500												
	s 5-25 DTV-SV						1.000												
	s 5-15 DTV-SV						5.000												
	s 5 DTV-SV						10.000												
KSL o. ÜV	f DTV-SV						500												
	s 5-25 DTV-SV						1.000												
	s 5-15 DTV-SV						5.000												
	s 5 DTV-SV						10.000												
SSL o. ÜV	f DTV-SV						500												
	s 5-25 DTV-SV						1.000												
	s 5-15 DTV-SV						5.000												
	s 5 DTV-SV						10.000												

Bild B9: Ergebniszusammenstellung Rahmede schmal – Modell „ME“ (Zusammenfassung)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2003

- B 40: Schutzmaßnahmen gegen Graffiti von Weschpfennig € 11,50
- B 41: Temperaturmessung an der Unterseite orthotroper Fahrbahnplatten beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht Eilers, Kückler, Quaas € 12,50
- B 42: Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau Städing, Krocker € 12,00
- B 43: Entwicklung eines Bauwerks Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2 Haardt € 13,50
- B 44: Untersuchungen an Fahrbahnübergängen zur Lärminderung Hemmert-Halswick, Ullrich € 12,50

2004

- B 45: Erfahrungssamlungen: Stahlbrücken – Schäden – wetterfeste Stähle Seile
Teil 1: Dokumentation über Schäden an Stahlbrücken
Teil 2: Dokumentation und Erfahrungssammlung mit Brücken aus wetterfesten Stählen
Teil 3: Erfahrungssammlung über die Dauerhaftigkeit von Brückenseilen und -kabeln
Hemmert-Halswick € 13,00
- B 46: Einsatzbereiche endgültiger Spritzbetonkonstruktionen im Tunnelbau
Heimbecher, Decker, Faust € 12,50

2005

- B 47: Gussasphaltbeläge auf Stahlbrücken
Steinauer, Scharnigg € 13,50

2006

- B 48: Scannende Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Brückenbauwerken
Holst, Streicher, Gardei, Kohl, Wöstmann, Wiggenhauser € 15,00
- B 49: Einfluss der Betonoberflächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz
Raupach, Rößler € 13,50
- B 50: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3
Holst € 13,50
- B 51: Hydrophobierungsqualität von flüssigen und pastösen Hydrophobierungsmitteln
Panzer, Hörner, Kropf € 12,50
- B 52: Brückenseile mit Galfan-Überzug – Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen
Friedrich, Staack € 14,50
- B 53: Verwendung von selbstverdichtendem Beton (SVB) im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50
- B 54: Nachweis des Erfolges von Injektionsmaßnahmen zur Mängelbeseitigung bei Minderdicken von Tunnelinnenschalen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rath, Berthold, Lähner € 12,50

2007

- B 55: Überprüfung des Georadarverfahrens in Kombination mit magnetischen Verfahren zur Zustandsbewertung von Brückenfahrbahnplatten aus Beton mit Belagsaufbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Krause, Rath, Sawade, Dumat € 14,50
- B 56: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Beton in der Expositions-kategorie XF2
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Setzer, Keck, Palecki, Schießl, Brandes € 19,50
- B 57: Brandversuche in Straßentunneln – Vereinheitlichung der Durchführung und Auswertung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Steinauer, Mayer, Kündig € 26,50
- B 58: Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel
Sistenich € 14,50

2008

- B 59: Bandverzinkte Schutzplankenholme
Schröder € 12,50
- B 60: Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilerneuerung – Bewehrung
Schröder € 13,50
- B 61: Untersuchung von Korrosion an Fußplatten von Schutzplankenpfosten
Schröder, Staack € 13,00
- B 62: Bewährungsnachweis von Fugenfüllungen ohne Unterfüllstoff
Eilers € 12,00
- B 63: Selbstverdichtender Beton (SVB) im Straßentunnelbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Heunisch, Hoepfner, Pierson (†), Dehn, Orgass, Sint € 17,50
- B 64: Tiefenabhängige Feuchte- und Temperaturmessung an einer Brückenkappe der Expositions-kategorie XF4
Brameshuber, Spörel, Warkus € 12,50

2009

- B 65: Zerstörungsfreie Untersuchungen am Brückenbauwerk A1 Hagen/Schwerte
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Friese, Taffe, Wöstmann, Zoega € 14,50
- B 66: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln
Zulauf, Locher, Steinauer, Mayer, Zimmermann, Baltzer, Riepe, Kündig € 14,00
- B 67: Brandkurven für den baulichen Brandschutz von Straßentunneln
Blosfeld € 17,50
- B 68: Auswirkungen des Schwerlastverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen – Teile 1-4
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kaschner, Buschmeyer, Schnellenbach-Held, Lubasch, Grünberg, Hansen, Liebig, Geißler € 29,50
- B 69: Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln
Wagener, Grossmann, Hintzke, Sieger € 18,50
- B 70: Frost-Tausalz-Widerstand von Beton in Brücken und Ingenieurbauwerken an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50

2010

- B 71: Empfehlungen für geschweißte KK-Knoten im Straßenbrückenbau
Kuhlmann, Euler € 22,50
- B 72: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen
Weschpfennig, Kropf, von Witzenhausen € 13,50
- B 73: Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Dehn, Nause, Juknat, Orgass, König € 21,00
- B 74: Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk
Müller € 14,00
- B 75: Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand
Schnellenbach-Held, Peeters, Scherbaum € 13,50

2011

- B 76: Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems
Sedlacek, Paschen, Feldmann, Geßler, Möller, Steinauer, Scharnigg € 17,00
- B 77: Anpassung von DIN-Fachberichten „Brücken“ an Eurocodes
Teil 1: DIN-FB 101 „Einwirkung auf Brücken“
Teil 2: DIN-FB 102 „Betonbrücken“
Teil 3: DIN-FB 103 „Stahlbrücken“
Teil 4: DIN-FB 104 „Verbundbrücken“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Freundt, Böning, Maurer, Arnold, Gedwien, Müller, Schrick, Tappe, Kuhlmann, Rasche, Froschmeier, Euler, Hanswille, Brauer, Bergmann € 29,50
- B 78: Bemessung von Wellstahlbauwerken – Vergleich nach den bisherigen und den neuen Richtlinien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kuhlmann, Günther, Krauss € 18,50
- B 79: Untersuchungen zur Querkraftbemessung von Spannbetonbalken mit girlandenförmiger Spanngliedführung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Maurer, Kiziltan, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 15,50
- B 80: Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln
Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los € 16,00
- B 81: Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse
Müller, Vogel, Neumann € 14,50
- B 82: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand
Freundt, Böning € 16,00
- B 83: Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00
- B 84: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00
- B 85: Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50
- B 86: Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton
Nguyen, Freitag € 13,50

2012

- B 87: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie
Feldmann, Döring, Hellberg, Kuhnhenne, Pak, Mangerig, Beucher, Hess, Steinauer, Kemper, Scharnigg € 17,00
- B 88: Anpralllasten an Schutzeinrichtungen auf Brücken – Anpassung der DIN-Fachberichte „Stahlbrücken“ und „Verbundbrücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Kuhlmann, Zizza, Günther € 15,50
- B 89: Nachrechnung von Betonbrücken zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke
Maurer, Heeke, Kiziltan, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 19,50
- B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard
Eilers, Quaas, Staeck € 14,00

2013

- B 91: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung
Freundt, Böning € 15,00
- B 92: Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel
Kaundinya € 14,00
- B 93: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten – Anpassung des DIN-Fachberichtes „Betonbrücken“ an die endgültigen Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Hegger, Reißen € 17,50
- B 94: Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise – Rechnerischer Nachweis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
Peter, Knief, Schreyer, Piazzola
- B 95: Erfahrungen mit selbstverdichtendem und hochfestem Beton im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 17,00
- B 96: Geothermischen Anlagen bei Grund- und Tunnelbauwerken
Adam € 17,00
- B 97: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen
Freundt, Böning € 15,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.