

Kurzfassung – Abstract

Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand

Der Straßenverkehr ist in den letzten Jahrzehnten in Deutschland und Europa stetig angestiegen und aktuelle Verkehrsprognosen zeigen eine Fortsetzung dieses Trends. Für die Ermittlung des aktuell gültigen Lastmodells wurden umfangreiche Verkehrslastmessungen in verschiedenen europäischen Ländern durchgeführt. Auf Basis von neueren Verkehrserhebungsdaten wurde im Rahmen des Forschungsprojektes FE 15.451/2007/FRB ein zukunftsfähiges Lastmodell für den Neubau von Straßenbrücken entwickelt. Das Ergebnis führte zu Erhöhungen der Anpassungsfaktoren für das Lastmodell 1 im DIN Fachbericht 101. Durch die Anwendung dieses neuen Lastmodells ist bei neu zu planenden Brücken der erwartete zukünftige Schwerverkehr angemessen berücksichtigt.

Die bestehenden Ingenieurbauwerke im Straßennetz wurden auf Basis der zum Errichtungszeitpunkt gültigen Normen und Regelungen erstellt. Für Brücken im Bundesfernstraßennetz wurden dabei bis zur Einführung der DIN-Fachberichte das Lastmodell „BK60/30“ der DIN 1072 (12-1985) und vor 1985 das Lastmodell „BK60“ der DIN 1072 (06-1967) verwendet. Für Ingenieurbauwerke im Zuge von weniger frequentierten Straßennetzen wurde auch das Lastmodell „BK30/30“ der DIN 1072 (12-1985) bzw. „BK30“ der DIN 1072 (06-1967) angewendet. Außerdem können die Bauwerke, die vor 1985 erstellt wurden, aufgrund der für die Errichtung verwendeten Entwurfs- und Bemessungsregeln systematische Schwachstellen aufweisen.

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die zu erwartenden zukünftigen Einwirkungen aus dem Schwerverkehrsaufkommen durch die Lastmodelle der älteren Normengeneration nur bedingt abdeckt sind. Die Defizite der Lastannahmen und der angewandten Konstruktionsgrundsätze erfordern eine aktuelle Überprüfung der Bauwerke hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit. Bei vorhandenen Mängeln sind Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich. In Anbetracht des zahlenmäßigen Umfangs dieser Bauwerke im deutschen Straßennetz sind weder Ertüchtigungsmaßnahmen noch Ersatzneubauten kurzfristig möglich.

Im Rahmen des Forschungsprojektes soll daher ermittelt werden, unter welchen Bedingungen die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkom-

men durch die Lastmodelle älterer Normengenerationen abgedeckt werden. Hierzu werden zum einen unterschiedliche Verkehrsaufkommen und unterschiedliche Verkehrszusammensetzungen betrachtet und andererseits zusätzliche Kompensationsmaßnahmen für das Verkehrsaufkommen. Des Weiteren wird untersucht, wie sich reduzierte Restnutzungsdauern auf die Ergebnisse auswirken.

Die vorliegenden Untersuchungen sind dabei unterteilt in Betrachtungen für das Bundesfernstraßennetz und das untergeordnete Straßennetz (Landstraßen, Kreisstraßen usw.). Für das Bundesfernstraßennetz wird dabei nachfolgend, differenziert für verschiedene Verkehrsstärken, ermittelt, welches der betrachteten Lastmodelle die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen abdeckt. Anschließend wird ermittelt, für welches Lastmodell (LM 1, BK 60/30, BK60) welche zusätzlichen Kompensationsmaßnahmen erforderlich sind, um ebenfalls die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen abzudecken. Die betrachteten Kompensationsmaßnahmen sind dabei eine Abstandsbeschränkung im fließenden Verkehr, ein Lkw-Überholverbot und die Einschränkung des genehmigungspflichtigen Großraum- und Schwerlastverkehrs ohne Routenbeschränkung oder mit Dauergenehmigung.

Für das untergeordnete Straßennetz werden verschiedene Verkehrscharakteristiken betrachtet (Langstreckenverkehr, Mittelstreckenverkehr, Ortsverkehr). In Abhängigkeit der Verkehrscharakteristik und des Verkehrsaufkommens wird auch hier bestimmt, welches der betrachteten Lastmodelle das aktuelle Verkehrsaufkommen abdeckt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden detailliert dargestellt und zu einer Empfehlung für die aktuell in Erarbeitung befindliche Nachrechnungsrichtlinie zusammengefasst.

Die Zusammenstellung von Ansätzen für weiterführende Untersuchungen bildet den Schluss des vorliegenden Berichtes.

Der Originalbericht enthält als Anhänge Ausführungen zu den Kennwerten aus Lastmodellen und zusätzlichen Simulationsparametern (ANH. A), weitere Ergebnisse zu den Schwerpunkten Richtungsverkehr und Begegnungsverkehr (ANH. B und C), analytische Betrachtungen zu Fahrzeuggesamtgewichten und Achslasten (ANH. D) sowie Ergebnisse zu den ergänzenden Untersuchungen für den Richtungsverkehr (ANH. E). Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröf-

fentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Traffic load models for recalculation of existing road bridges

The road traffic in Germany and Europe has increased in the last decades steadily and actual traffic prognoses predict a continuation of this trend. For the determination of the current traffic load model extensive traffic load measurement were conducted in several European countries. Based on recent traffic measurement data a future-proof load model for newly constructed bridges was developed in the course of the scientific project FE 15.451/ 2007/FRB. The result led to increases of the adjustment factors of the load model 1 of the DIN-Fachbericht 101. With the application of this new load model, the expected future heavy load traffic is considered appropriate for the design of new bridges.

The existing civil engineering structures in the road network were built based on the standards and regulations of the time of their construction. Until the introduction of the DIN-Fachbericht the load model "BK60/30" of the DIN 1072 (12-1985) and before 1985 the load model "BK60" of the DIN 1072 (06-1967) was used for bridges in the federal highway network. For civil engineering structures in the course of lower frequented road networks the load model "BK30/30" of the DIN 1072 (12-1985) or the load model "BK30" of the DIN 1072 (06-1967) was used. Additionally civil engineering structures which were built before 1985 can have systematic weaknesses because of the applied standards and regulations for the design of these structures.

Existing results of research shows that the coverage of the expected future effects from the heavy load traffic is limited under the application of the load models of older generations of the standards and regulations. The deficit of the load assumptions and the applied regulations for the construction necessitates a review of the structures concerning their load carrying capacities. If there are defects upgrading measures are required. Considering the quantitative size of these structures in the German road network, neither upgrading measures nor new constructions are possible in a short time.

In the course of the present scientific project it has to be determined, under which conditions the effects of

the actual road traffic are covered by the load models of older generations of standards. Therefore on the one hand different traffic volumes and different traffic compositions are considered and on the other hand additional compensation measured of the road traffic. Furthermore studies are made, how assumptions for a reduced remaining useful life affects the results. The present studies are divided in analyses for the federal highway network and for the lower frequented road network. For the federal highway network it is determined, differentiated for different traffic volumes, which of the considered load models covers the effects of the actual road traffic without additional compensation measures. Afterwards it is determined for which load model (LM 1, BK 60/30, BK 60) which additional compensation measures are necessary to cover also the effects of the actual road traffic. The examined compensation measures are a regulation for a minimum vehicle distance in the flowing traffic, a regulation for no overtaking of heavy goods vehicles and a restriction of authorized heavy-weight vehicles without route restrictions or a permanent approval.

For the lower frequented road network several traffic characteristics are examined (long distance traffic, medium distance traffic, local traffic). In dependency to the traffic characteristic and the traffic volume load models are identified which covers the effects of the actual road traffic.

The results of the analysis are explained in detail and they are combined to a recommendation for the directive for the recalculation for existing civil engineering structures which is actually in development.

The composition of focuses for further analysis is given on the end of then present report.

The appendices to the original report contain information on the characteristic values in the load models and additional simulation parameters (APP. A), additional results concerning the focal points one-way traffic and two-way traffic (APP B and C), analytical investigations concerning total vehicle weights and axle loads (APP D) as well as the results of additional investigations into one-way traffic (APP E). These appendices were not included in the present publication. They are available from the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to these appendices in the report text were retained to provide additional information to the reader.

Inhalt

1	Einleitung	7	4.2	Untersuchungsschwerpunkt Richtungsverkehr	27
1.1	Projektaufgabe	7	4.2.1	Allgemeines	27
1.2	Prinzipielle Vorgehensweise	8	4.2.2	Auswirkungen der verschiedenen betrachteten Kompensations- maßnahmen	27
2	Technische Umsetzung	8	4.2.3	Ergebnisse für uneingeschränkte Restnutzungsdauer ohne Kompen- sationsmaßnahmen	28
2.1	Simulation von Fahrzeugfolgen	9	4.2.4	Ergebnisse für 20 Jahre Rest- nutzungsdauer ohne Kompen- sationsmaßnahmen	29
2.1.1	Generierung des Fahrzeugabstandes im Stauverkehr	9	4.2.5	Ergebnisse für 10 Jahre Rest- nutzungsdauer ohne Kompen- sationsmaßnahmen	29
2.2	Berechnung von Kennwert-Zeit- Verläufen	10	4.2.6	Ergebnisse für eingeschränkte Restnutzungsdauer mit Kompen- sationsmaßnahmen	30
2.3	Statistische Auswertung von Kennwert-Zeit-Verläufen	10	4.3	Untersuchungsschwerpunkt Begegnungsverkehr	34
3	Eingangsdaten und angewandte Verfahrensweisen der Unter- suchungen	10	4.3.1	Allgemeines	34
3.1	Untersuchte Tragsysteme und Querschnittssysteme	10	4.3.2	Ergebnisse für uneingeschränkte Restnutzungsdauer	35
3.2	Schwerverkehrsvarianten und Szenarien	13	4.3.3	Ergebnisse für 20 Jahre Restnutzungsdauer	36
3.2.1	Szenarien des Mehrspurverkehrs	13	4.3.4	Ergebnisse für 10 Jahre Restnutzungsdauer	36
3.2.2	Schwerverkehrsvarianten	15	4.4	Analytische Betrachtungen zu Gesamtgewichten und Achslasten	37
3.3	Abbildung des Stauverkehrs	21	4.4.1	Allgemeines	37
3.4	Eingangsdaten für die Kompen- sationsmaßnahme Abstands- beschränkung	22	4.4.2	Gesamtgewichtsverteilungen – Einzelfahrzeuge	38
3.5	Erfassung des Verhaltens Fahrzeug – Fahrbahn – Bauwerk	22	4.4.3	Achslastverteilungen – Einzelachsen	40
3.6	Verwendetes Auswertungsverfahren	22	4.4.4	Gesamtgewichtsverteilungen – zwei Fahrzeuge	43
3.7	Betrachtete Kennwerte	23	4.4.5	Achslastverteilungen – zwei Achsen	44
3.8	Lastmodelle als Vergleichsbasis	23			
4	Ergebnisse	25			
4.1	Vorbetrachtungen	25			
4.1.1	Allgemeines	25			
4.1.2	Berücksichtigung von Restnutzungs- dauern	26			

4.4.6	Bestimmung von Maximalwerten der Gesamtgewichte und Achs- lasten	45
4.4.7	Weiterführende Betrachtung	54
5	Ergänzende Untersuchungen für den Richtungsverkehr	57
5.1	Inhalt der Ergänzung	57
5.2	Vorgehen	57
5.2.1	Ausgewähltes Tragsystem	57
5.2.2	Mehrspurverkehr	57
5.2.3	Verkehrszusammensetzungen	58
5.2.4	Gesamtgewichtsverteilungen	58
5.2.5	Betrachtete Verkehrsstärken	58
5.2.6	Stauabstand	58
5.2.7	Kompensationsmaßnahmen	58
5.2.8	Berücksichtigung reduzierter Restnutzungsdauern	58
5.2.9	Simulationsumfang	58
5.3	Ergebnisse	58
5.4	Schlussfolgerungen	59
6	Empfehlungen für die Nachrechnungsrichtlinie	60
7	Zusammenfassung	61
Literatur	63

1 Einleitung

1.1 Projektaufgabe

Der Straßenverkehr ist in den letzten Jahrzehnten in Deutschland und Europa stetig angestiegen und aktuelle Verkehrsprognosen zeigen eine Fortsetzung dieses Trends. Für die Ermittlung des aktuell gültigen Lastmodells für Straßenbrücken des Eurocodes 1 (EC 1 – LM 1) bzw. des daraus durch nationale Anpassungsfaktoren abgeleiteten Lastmodells des DIN Fachberichts 101 (2009) (DIN FB 101 – LM 1) wurden umfangreiche Verkehrslastmessungen in verschiedenen europäischen Ländern durchgeführt. In Deutschland fanden solche Messungen in den 80er Jahren an der Brothalbrücke im Zuge der A 61 statt [5]. Im Rahmen des Forschungsprojektes FE 15.451/2007/FRB wurde auf der Basis des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens auf einem hoch belasteten Autobahnabschnitt in Deutschland und verschiedener Szenarien für die zukünftige Verkehrsentwicklung ein zukunftsfähiges Lastmodell für den Neubau von Straßenbrücken entwickelt [1]. Das Ergebnis führte zu Erhöhungen der Anpassungsfaktoren für das Lastmodell 1 im DIN Fachbericht 101. Vorüberlegungen und umfangreiche Simulationsrechnungen belegen die Erhöhung. Durch die Anwendung dieses neuen Lastmodells ist bei neu zu planenden Brücken der erwartete zukünftige Schwerverkehr angemessen berücksichtigt.

Die bestehenden Ingenieurbauwerke im Straßennetz wurden auf Basis der zum Errichtungszeitpunkt gültigen Normen und Regelungen erstellt. Für Brücken im Bundesfernstraßennetz wurden dabei bis zur Einführung der DIN-Fachberichte das Lastmodell „BK60/30“ der DIN 1072 (12-1985) und vor 1985 das Lastmodell „BK60“ der DIN 1072 (06-1967) verwendet. Für Ingenieurbauwerke im Zuge von weniger frequentierten Straßennetzen wurde auch das Lastmodell „BK30/30“ der DIN 1072 (12-1985) bzw. „BK30“ der DIN 1072 (06-1967) angewendet. Die Altersstruktur der Ingenieurbauwerke im Straßennetz weist dabei einen großen Anteil solcher Bauwerke aus, die vor der Einführung der DIN-Fachberichte erstellt wurden. Außerdem können die Bauwerke, die vor 1985 erstellt wurden, aufgrund der für die Errichtung verwendeten Entwurfs- und Bemessungsregeln systematische Schwachstellen aufweisen.

Anhand der in [1] ermittelten Ergebnisse wird deutlich, dass das für diese Brückenbauwerke verwen-

dete Verkehrslastmodell die zu erwartenden zukünftigen Einwirkungen aus dem Schwerverkehrsaufkommen nur bedingt abdeckt. Die Defizite hinsichtlich der Lastannahmen und der Konstruktionsgrundsätze erfordern eine aktuelle Überprüfung der Bauwerke hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit. Bei vorhandenen Mängeln sind Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich. In Anbetracht des zahlenmäßigen Umfangs dieser Bauwerke im deutschen Straßennetz sind weder Ertüchtigungsmaßnahmen noch Ersatzneubauten kurzfristig möglich.

Im Rahmen eines Nachtrages zum o. g. Forschungsprojekt [2] wurden zunächst Bedingungen und Kompensationsmaßnahmen identifiziert, unter denen der vorhandene Schwerverkehr auf Bundesfernstraßen durch das Lastmodell „BK60“ abgedeckt wird. Dabei wurden unter Berücksichtigung verschiedener Schwerverkehrsstärken (DTSV-Werte) folgende mögliche Kompensationsmaßnahmen betrachtet:

- Lkw Überholverbot,
- Abstandsbeschränkung im fließenden Verkehr,
- Einschränkung des genehmigungspflichtigen Großraum- und Schwerlastverkehrs.

Es wurden Untersuchungen für verschiedene Überbauquerschnitte mit unterschiedlichen Fahrbahnbreiten durchgeführt. Für Verkehrsbelegungen mit zwei Fahrstreifen auf dem Überbauquerschnitt, auf denen sich der Verkehr in entgegengesetzter Richtung bewegt, konnte durch keine der oben aufgeführten Kompensationsmaßnahmen der aktuelle Schwerverkehr durch das Lastmodell „BK60“ abgedeckt werden. Für die übrigen Verkehrsbelegungsvarianten ergaben sich sehr restriktive Kompensationsmaßnahmen. Eine wesentliche Ursache hierfür war die getroffene Annahme des Abstandes zwischen den Fahrzeugen im Stauverkehr vom 5 m. Auch die verwendeten Eingangsdaten zur Beschreibung des Schwerverkehrs (Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge, Fahrzeugtypenhäufigkeit) können nur bedingt geeignet sein, um die erhaltenen Ergebnisse auf Ingenieurbauwerke an Landstraßen, Kreisstraßen usw. zu projizieren. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden daher die in [2] durchgeführten Untersuchungen erheblich erweitert.

Der erste Untersuchungsschwerpunkt ist dabei die Erweiterung der Betrachtungen für Ingenieurbauwerke im Bundesfernstraßennetz. Der Umfang der

betrachteten Tragsysteme wurde erhöht und die Abbildung des Stauverkehrs erweitert. Die aufgeführten Kompensationsmaßnahmen wurden beibehalten. Als Ergebnis wurden sowohl Kompensationsmaßnahmen identifiziert, unter denen der aktuelle Schwerverkehr durch das Lastmodell „BK60“ als auch unter denen der aktuelle Schwerverkehr durch das Lastmodell „BK60/30“ abgedeckt ist.

Der zweite Untersuchungsschwerpunkt bezieht sich auf Ingenieurbauwerke an Landstraßen, Kreisstraßen usw. Nachfolgend wird dies als „untergeordnetes Straßennetz“ bezeichnet. Bei der Verkehrsbelegung wird hier von insgesamt zwei Fahrstreifen mit jeweils einem Fahrstreifen in einer Richtung ausgegangen (nachfolgend Begegnungsverkehr genannt). Die Kompensationsmaßnahme Überholverbot für Schwerverkehrsfahrzeuge kann hier natürlich nicht angewendet werden. In [2] wurde festgestellt, dass die übrigen Kompensationsmaßnahmen hier nicht wirkungsvoll sind (Abstandsbeschränkung im fließenden Verkehr). Die verwendeten Eingangsdaten entstammen aber Verkehrsmessungen an einem stark frequentierten Autobahnabschnitt. In den nachfolgend zusammengefassten Untersuchungen wurde daher für die Eingangsdaten eine Differenzierung vorgenommen. Es wurden verschiedene Verkehrscharakteristiken betrachtet und ermittelt, durch welches der betrachteten Lastmodelle (LM 1, BK 60/30, BK 60, BK 45, BK 30/30) ein objektbezogener Schwerverkehr (je nach Verkehrscharakteristik) ohne Kompensationsmaßnahmen abgedeckt ist.

Die ermittelten Ergebnisse für beide Untersuchungsschwerpunkte finden zukünftig Anwendung in der Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand („Nachrechnungsrichtlinie“), entsprechende Empfehlungen hierzu sind am Ende des vorliegenden Berichtes aufgeführt.

1.2 Prinzipielle Vorgehensweise

Für die nachfolgenden Untersuchungen wird die im Forschungsprojekt FE 15.451/2007/FRB [1] entwickelte und im Nachtrag zu diesem Projekt [2] erweiterte Vorgehensweise angewendet.

Grundlage der Untersuchungen bilden Daten aus Verkehrslastmessungen an der A 61 (vgl. [3]), der A 8 (vgl. [4]) und der A 66. Diese Daten bilden die Grundlage für zufallsbasierte Verkehrssimulationen, deren Ergebnis Achslastfolgen (Verkehrsbän-

der) sind. Die Verkehrsbänder werden dann zur Ermittlung von Schnittgrößen verschiedener Brückensysteme genutzt. Es entstehen somit Schnittgrößen – Zeitfolgen für die ausgewählten Brücken. Hieraus werden durch statistische Auswertungen zunächst die charakteristischen Werte definierter Kenngrößen (Biegemomente, Querkräfte, Auflagerkräfte usw.) bestimmt. Basis der Definition der charakteristischen Werte ist DIN EN 1991-2:2003 mit der Festlegung einer mittleren Wiederkehrperiode (WKP) von 1.000 Jahren. Diese Werte werden dann mit den Werten verglichen, die sich aus der Anwendung verschiedener Lastmodelle ergeben (LM 1, BK 60/30, BK 60, BK 45, BK 30/30). Diese Werte werden nachfolgend Lastmodellniveaus genannt. In den Fällen, in denen die aus den Simulationsrechnungen ermittelten charakteristischen Werte über den Niveaus der jeweiligen Lastmodelle liegen, wird anschließend berechnet, mit welcher mittleren Wiederkehrperiode die entsprechenden Lastmodellniveaus erreicht werden. Die Betrachtung dieser Wiederkehrperioden dient der Identifikation von notwendigen Kompensationsmaßnahmen im ersten Untersuchungsschwerpunkt (Bundesfernstraßen) bzw. im zweiten Untersuchungsschwerpunkt zur Bestimmung des Lastmodells, das den aktuellen objektbezogenen Schwerverkehr im untergeordneten Straßennetz abdeckt. Nachfolgend wird zunächst kurz die technische Umsetzung der durchgeführten Untersuchungen dargestellt und die verwendeten Eingangsdaten zusammenfassend aufgeführt. Anschließend erfolgen die Darstellung der erzielten Ergebnisse und deren Zusammenfassung. Abschließend werden die sich ergebenden Empfehlungen für die Nachrechnungsrichtlinie aufgeführt und notwendige weitergehende Untersuchungen genannt.

2 Technische Umsetzung

Für die durchzuführenden Untersuchungen wird das an der Professur Verkehrsbau der Bauhaus-Universität Weimar entwickelte Programmsystem „VerkehrSimulation“ in der aktuellen Version 3.0.2 eingesetzt. Dieses Programm dient der Simulation des aktuellen bzw. eines prognostizierten Verkehrsaufkommens. Als Ergebnis entstehen auf der Grundlage statistischer Eingangsdaten Fahrzeugfolgen. Aus diesen Fahrzeugfolgen werden für definierte Tragsysteme Zeitverläufe von Kennwerten (Schnittgrößen, Auflagerkräfte usw.) berechnet. Diese Zeitverläufe werden im Nachgang durch ein

weiteres Programmmodul statistisch ausgewertet. Detaillierte Beschreibungen zu den einzelnen Programmmodulen für die Simulation von Verkehrsbändern, die Berechnung von Kennwert-Zeit-Verläufen und die statistische Auswertung dieser Kennwert-Zeit-Verläufe sind in [1] angegeben. Für die Berücksichtigung der genannten Kompensationsmaßnahmen waren Erweiterungen des Programmsystems erforderlich, die in [2] dargestellt sind. Des Weiteren wurde in [2] die Methodik zur Ermittlung der Eingangsdaten zur Generierung der Fahrzeugabstände überarbeitet.

Die Erweiterung des Programmsystems gegenüber dem in [1] und [2] verwendeten beschränkt sich auf die Abbildung des Fahrzeugabstandes im Stauverkehr. Im Folgenden wird dieser Punkt genauer erläutert, die übrigen Punkte der Simulationsrechnungen werden unter Verweis auf die vorhergehenden Berichte nur kurz genannt.

2.1 Simulation von Fahrzeugfolgen

Die Simulation von Fahrzeugfolgen besteht im Wesentlichen aus folgenden Punkten:

- Generierung des Fahrzeugtyps,
- Generierung des Fahrzeuggesamtgewichtes,
- Generierung des Fahrzeugabstandes
 - im fließenden Verkehr,
 - unter Berücksichtigung der Kompensationsmaßnahme Abstandsbeschränkung im fließenden Verkehr,
 - im Stauverkehr.

Für detaillierte Erläuterungen zu den ersten beiden Punkten wird auf [1] verwiesen, da hier im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen keine Modifikationen erforderlich waren.

Bei der Generierung des Fahrzeugabstandes im fließenden Verkehr und unter Berücksichtigung der Kompensationsmaßnahme Abstandsbeschränkung waren im Rahmen der in [2] durchgeführten Untersuchungen Modifikationen im Programmsystem erforderlich. Für Erläuterungen hierzu wird daher auf [2] verwiesen.

Die Erweiterungen bei der Generierung des Fahrzeugabstandes im Stauverkehr sind nachfolgend dargestellt.

2.1.1 Generierung des Fahrzeugabstandes im Stauverkehr

Grundsätzlich wurden in den bisherigen Untersuchungen stets fließender Verkehr und Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit betrachtet. Die simulierten Verkehrsbänder des Verkehrs mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit enthielten dabei Abschnitte mit Fahrzeugen, die in einem sehr kleinen, konstanten Abstand hintereinander standen. Als Zahlenwert hierfür wurde bisher stets 5 m angenommen. In [2] wurde im Rahmen einiger Voruntersuchungen der erhebliche Einfluss dieser Stausituationen mit dem festgelegten Abstandswert bestätigt.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden einige Modifikationen am verwendeten Programmsystem vorgenommen, um die Möglichkeiten der Stausimulation zu erweitern. Insgesamt stehen nun 3 verschiedene Möglichkeiten zur Stauabbildung zur Verfügung.

Die erste Möglichkeit ist die auch in den vorhergehenden Projekten verwendete Methodik der Festlegung eines konstanten Wertes für den Stauabstand. In diesem Fall werden die Abstände zwischen den Fahrzeugen im Stauverkehr stets auf diesen festgelegten Wert gesetzt. In Bild 1 ist dies grafisch dargestellt.

In der zweiten, neu eingefügten Möglichkeit zur Stausimulation werden die Fahrzeugabstände nicht mehr auf einen festgelegten Wert gesetzt, sondern zufällig erzeugt. Der zufällig erzeugte Stauabstand liegt dabei zwischen einer vor der Simulation festzulegenden unteren und oberen Grenze und ist dazwischen gleichverteilt. In Bild 2 wird dies prinzipiell grafisch dargestellt.

In der dritten, neu eingefügten Möglichkeit zur Stausimulation werden die Fahrzeugabstände eben-

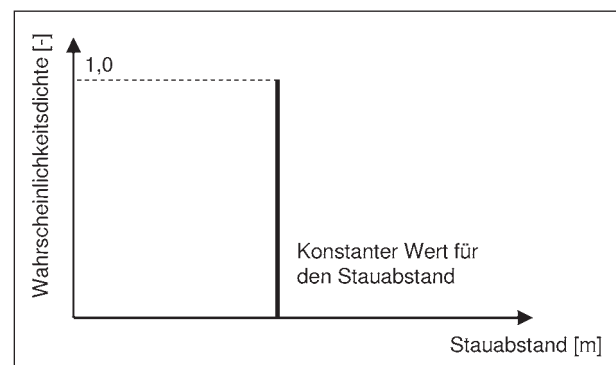


Bild 1: Stausimulation mit konstantem Stauabstand

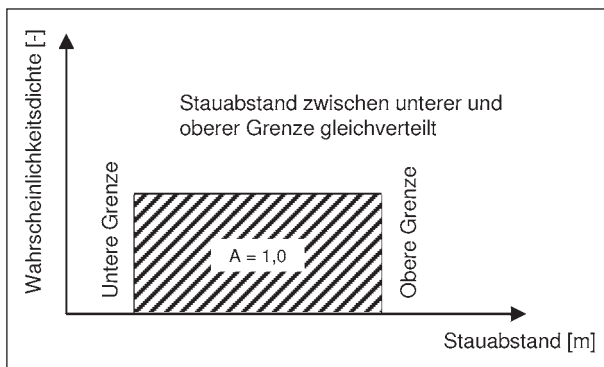


Bild 2: Stausimulation mit zufälligem Stauabstand, gleichverteilt zwischen unterer und oberer Grenze

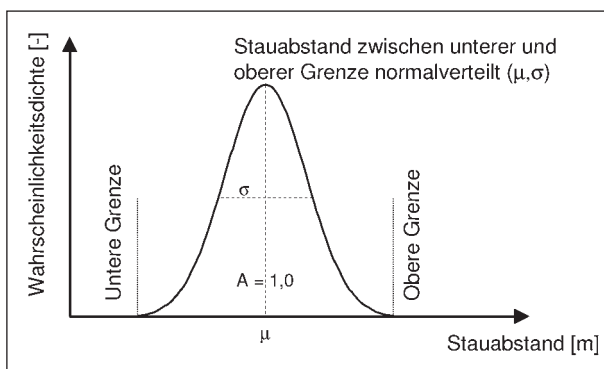


Bild 3: Stausimulation mit zufälligem Stauabstand, normalverteilt zwischen unterer und oberer Grenze

falls zufällig erzeugt. Die generierten Fahrzeugabstände folgen dabei zunächst einer Normalverteilung, deren Parameter (Mittelwert und Standardabweichung) vor der Simulation festzulegen sind. Zusätzlich ist eine untere und obere Grenze festzulegen. Wird bei der zufälligen Abstandsgenerierung ein Wert erzeugt, der außerhalb dieser Grenzen liegt, so wird der generierte Abstand verworfen und ein neuer Zahlenwert generiert. In Abhängigkeit der Festlegungen für die untere und obere Grenze weicht somit die resultierende Verteilung der erzeugten Stauabstände mehr oder weniger stark von der Ausgangsnormalverteilung ab. In Bild 3 ist das angewendete Prinzip grafisch dargestellt.

2.2 Berechnung von Kennwert-Zeit-Verläufen

Die angewendete Vorgehensweise für die Berechnung von Kennwert-Zeit-Verläufen ist analog zu den vorhergehenden Projekten. Für Erläuterungen hierzu wird daher auf [1] verwiesen.

2.3 Statistische Auswertung von Kennwert-Zeit-Verläufen

Die angewendete Vorgehensweise für die statistische Auswertung von Kennwert-Zeit-Verläufen ist analog zu den vorhergehenden Projekten. Für Erläuterungen hierzu wird daher auf [1] verwiesen.

3 Eingangsdaten und angewandte Verfahrensweisen der Untersuchungen

Für die durchzuführenden Untersuchungen ist es erforderlich, eine Reihe von Eingangsdaten festzulegen.

Es müssen repräsentative Tragsysteme und Querschnitte ausgewählt werden, anhand derer für ausgewählte Schnittgrößen Kennwert-Zeit-Verläufe aus simulierten Verkehrsbändern ermittelt werden. In Kapitel 3.1 sind diese dargestellt.

In Kapitel 3.2 werden die betrachteten Varianten und Szenarien des Schwerverkehrs aufgeführt und erläutert. Im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungen [1, 2] wurde hier eine erweiterte Differenzierung des betrachteten Schwerverkehrsaufkommens vorgenommen.

Weitere Eingangsdaten sind in den Kapiteln 3.3 bis 3.6 aufgeführt. In Kapitel 3.8 werden die als Vergleichsbasis für die Untersuchungen verwendeten Lastmodelle zusammengefasst.

3.1 Untersuchte Tragsysteme und Querschnittssysteme

Nachfolgend werden die untersuchten Trag- und Querschnittssysteme aufgeführt. Prinzipiell sind diese in Querschnittssysteme mit 8 m und 12 m Fahrbahnbreite (zwischen den Schrammborden) aufzugliedern. Für die Querschnittssysteme mit 8 m Fahrbahnbreite wurden Zweifeld-Längssysteme mit Einzelstützweiten von 20 m, 30 m, 40 m und 60 m betrachtet. In den Bildern 4 bis 7 sind die zugehörigen Querschnitte dargestellt. Hier wird ersichtlich, dass die Grundkonstruktion des Querschnittes bei allen vier Längssystemen beibehalten und lediglich die Bauhöhe angepasst wurde. Diese Systeme wurden sowohl in den Betrachtungen für das Bundesfernstraßennetz als auch für das untergeordnete Straßennetz berücksichtigt.

- a. Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise für das 2 x 20 m Zweifeldsystem mit 8 m Fahrbahnbreite

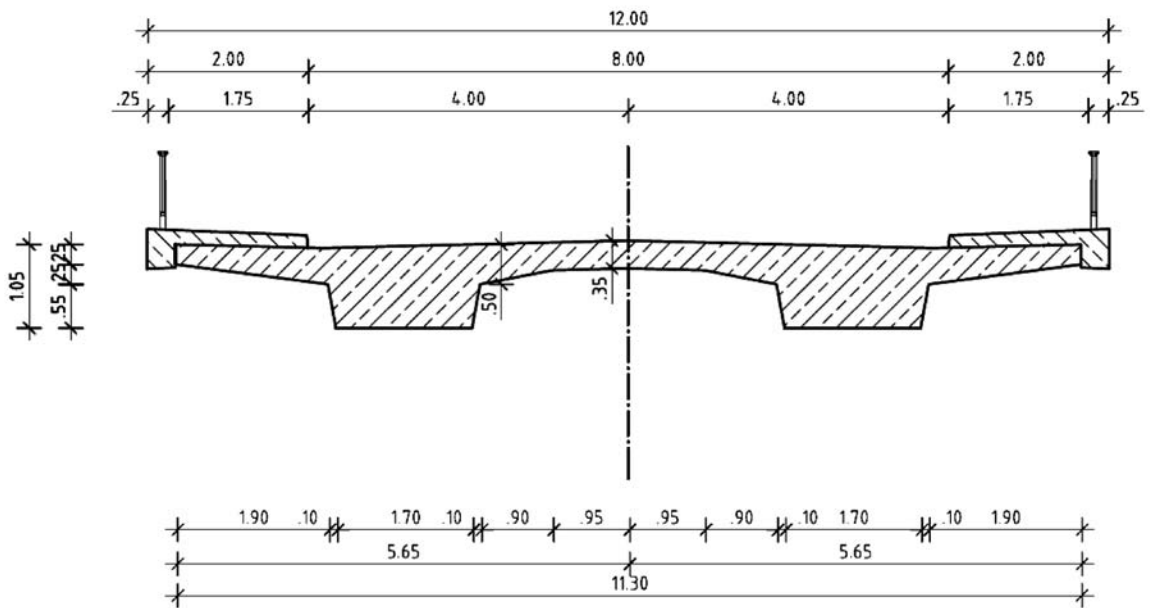


Bild 4: Skizze Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise mit 8 m Fahrbahnbreite, 2 x 20 m Zweifeldsystem

- b. Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise für das 2 x 30 m Zweifeldsystem mit 8 m Fahrbahnbreite

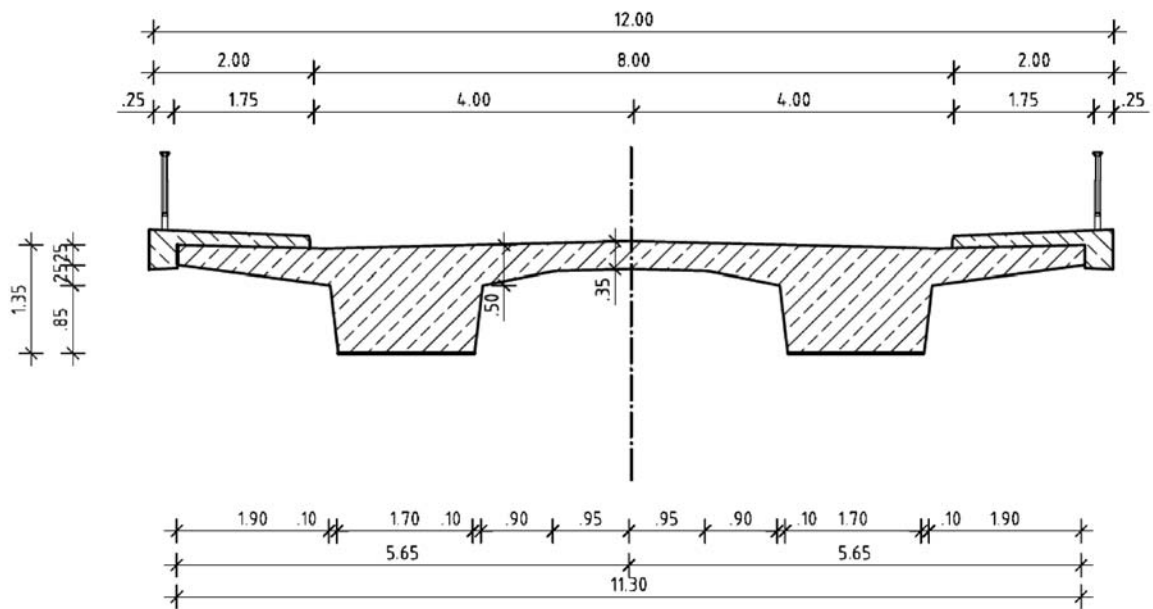


Bild 5: Skizze Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise mit 8 m Fahrbahnbreite, 2 x 30 m Zweifeldsystem

Für die Querschnittssysteme mit 12 m Fahrbahnbreite wurden zwei Dreifeld-Längssysteme mit Einzelstützweiten von 40 m und 60 m betrachtet. Für das 3 x 40 m System wurde der in Bild 8 dargestellte Plattenbalkenquerschnitt verwendet, für das

3 x 60 m System der in Bild 9 aufgeführte Hohlkastenquerschnitt. Die Berücksichtigung dieser Systeme beschränkt sich auf die Betrachtungen für das Bundesfernstraßennetz.

c. Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise für das 2 x 40 m Zweifeldsystem mit 8 m Fahrbahnbreite

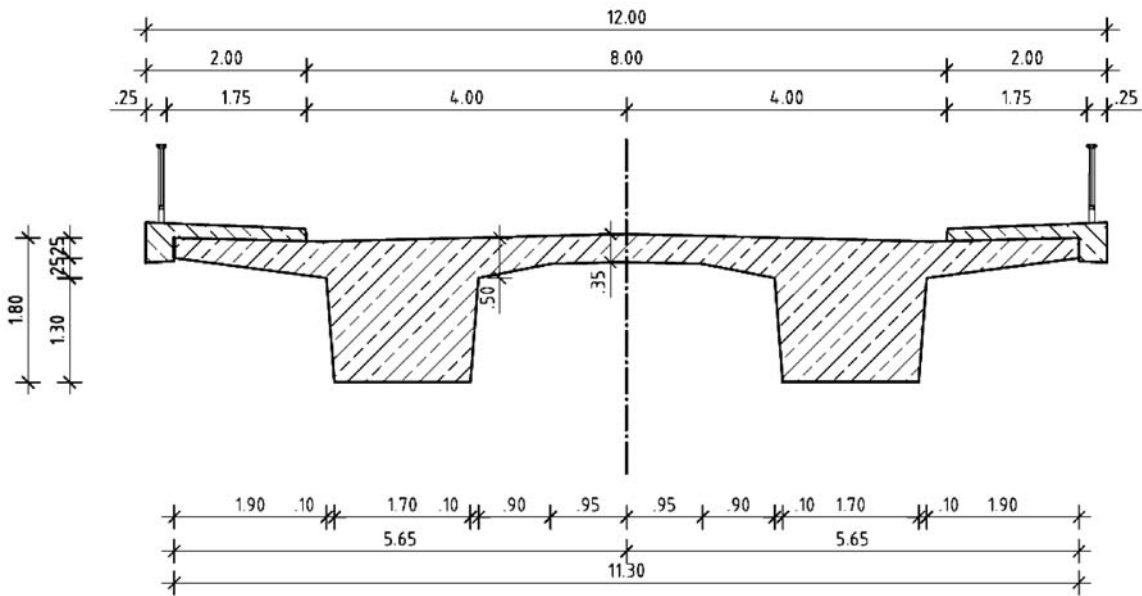


Bild 6: Skizze Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise mit 8 m Fahrbahnbreite, 2 x 40 m Zweifeldsystem

d. Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise für das 2 x 60 m Zweifeldsystem mit 8 m Fahrbahnbreite

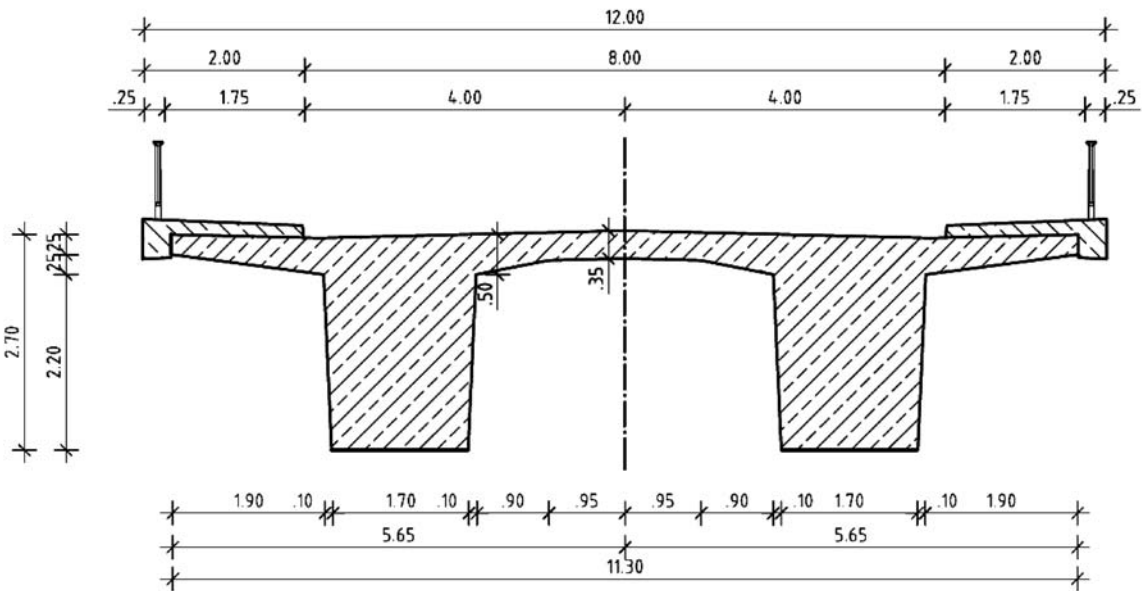


Bild 7: Skizze Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise mit 8 m Fahrbahnbreite, 2 x 60 m Zweifeldsystem

- e. Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise für das 3 x 40 m Dreifeldsystem mit 12 m Fahrbahnbreite

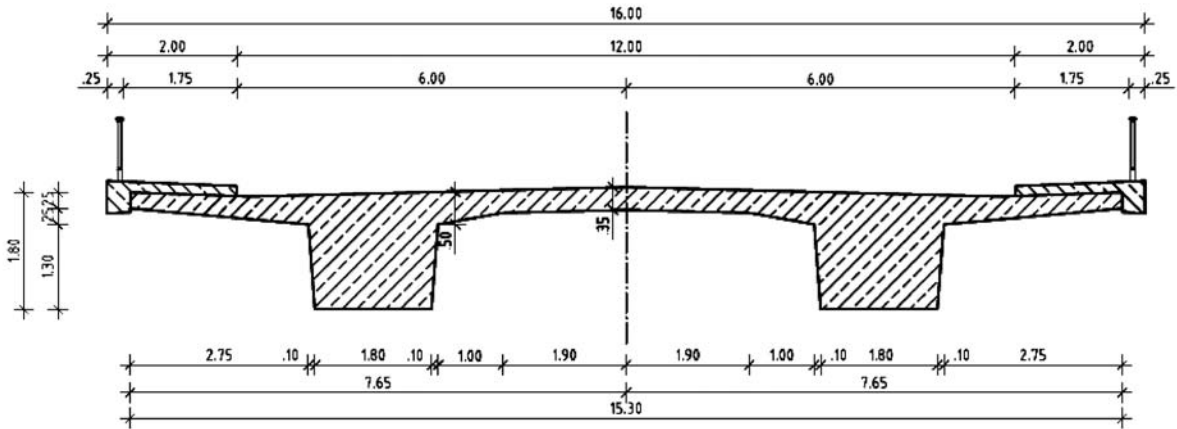


Bild 8: Skizze Plattenbalkenquerschnitt in Massivbauweise mit 12 m Fahrbahnbreite

- f. Hohlkastenquerschnitt in Massivbauweise für das 3 x 60 m Dreifeldsystem mit 12 m Fahrbahnbreite

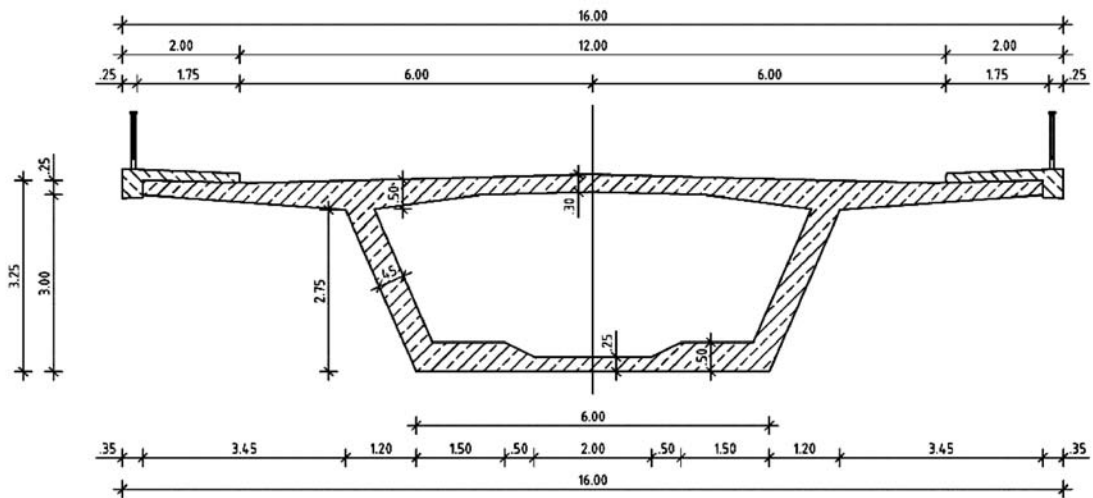


Bild 9: Skizze Hohlkastenquerschnitt in Massivbauweise mit 12 m Fahrbahnbreite

3.2 Schwerverkehrsvarianten und Szenarien

3.2.1 Szenarien des Mehrspurverkehrs

Für die Tragsysteme mit 8 m Fahrbahnbreite (vgl. Kapitel 3.1, Bilder 4 bis 7) wird Richtungs- und Begegnungsverkehr betrachtet. In beiden Fällen werden zwei Fahrstreifen angesetzt. Im Begegnungsverkehr verläuft das Verkehrsaufkommen in jeweils einem Fahrstreifen in entgegengesetzter Richtung. Der Begegnungsverkehr wird nachfolgend mit BV abgekürzt und repräsentiert die Verkehrsbelegung

im untergeordneten Straßennetz. Im Richtungsverkehr wird davon ausgegangen, dass pro Verkehrsrichtung ein Überbau vorhanden ist. Daher verläuft hier das Verkehrsaufkommen in zwei Fahrstreifen in identischer Richtung. Hierdurch wird der Verkehr im Bundesfernstraßennetz repräsentiert. Für die Tragsysteme mit 12 m Fahrbahnbreite wird lediglich der Richtungsverkehr betrachtet. Insgesamt werden hier vier Fahrstreifen auf dem Überbauquerschnitt angesetzt. Im Gegensatz zu den Systemen mit 8 m Fahrbahnbreite wird aber angenommen, dass für beide Fahrrichtungen ein gemeinsamer Querschnitt vorhanden ist. Daher verläuft hier das Ver-

kehrsaufkommen in jeweils zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung.

Im ersten Untersuchungsschwerpunkt ist eine zu betrachtende Kompensationsmaßnahme die Festsetzung eines Überholverbotes für Lkw. Analog zu [2] wird diese durch eine Variation der Aufteilung des Schwerverkehrs auf zwei Richtungsfahrbahnen abgebildet. In den Varianten ohne Überholverbot wird das Schwerverkehrsaufkommen im Verhältnis 80 zu 20 auf zwei Richtungsfahrbahnen aufgeteilt. Die Abkürzung „oÜV“ (ohne Überholverbot) wird hierfür verwendet. Zur Darstellung des Überholverbots werden zwei Untervarianten betrachtet. In der ersten Untervariante wird dabei das Schwerverkehrsaufkommen im Verhältnis 95 zu 5 auf zwei Richtungsfahrbahnen aufgeteilt, da angenommen

werden muss, dass ein gewisser Anteil der Lkw trotz Überholverbots dennoch verbotswidrig überholt. Für diese Untervariante wird die Abkürzung „mÜV5“ (mit Überholverbot, 5 % des Schwerverkehrsaufkommens auf der zweiten Richtungsfahrbahn) verwendet. In der zweiten Untervariante wird davon ausgegangen, dass durch geeignete Kontroll- und Verkehrsüberwachungsmaßnahmen sichergestellt werden kann, dass tatsächlich kein Lkw verbotswidrig überholt. Hier wird eine Schwerverkehrsaufteilung von 100 zu 0 angenommen. Die Abkürzung hierfür lautet nachfolgend „mÜV0“ (mit Überholverbot, 0 % des Schwerverkehrsaufkommens auf der zweiten Richtungsfahrbahn). In den nachfolgenden Bildern 10 und 11 sind die verschiedenen Szenarien des Mehrspurverkehrs dargestellt.

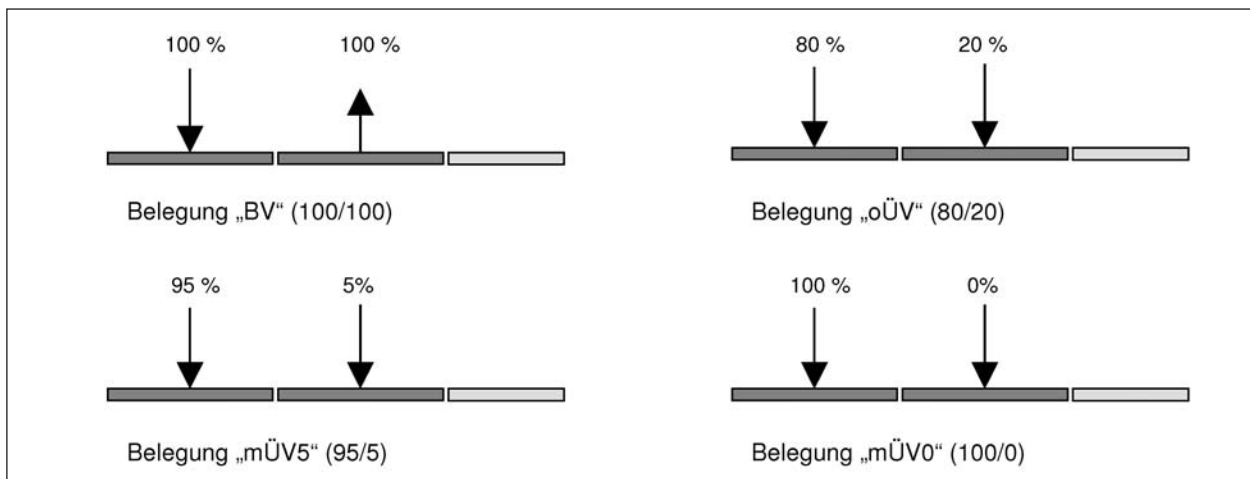


Bild 10: Aufteilung des Schwerverkehrs auf die Fahrstreifen für 8,00 m Fahrbahnbreite

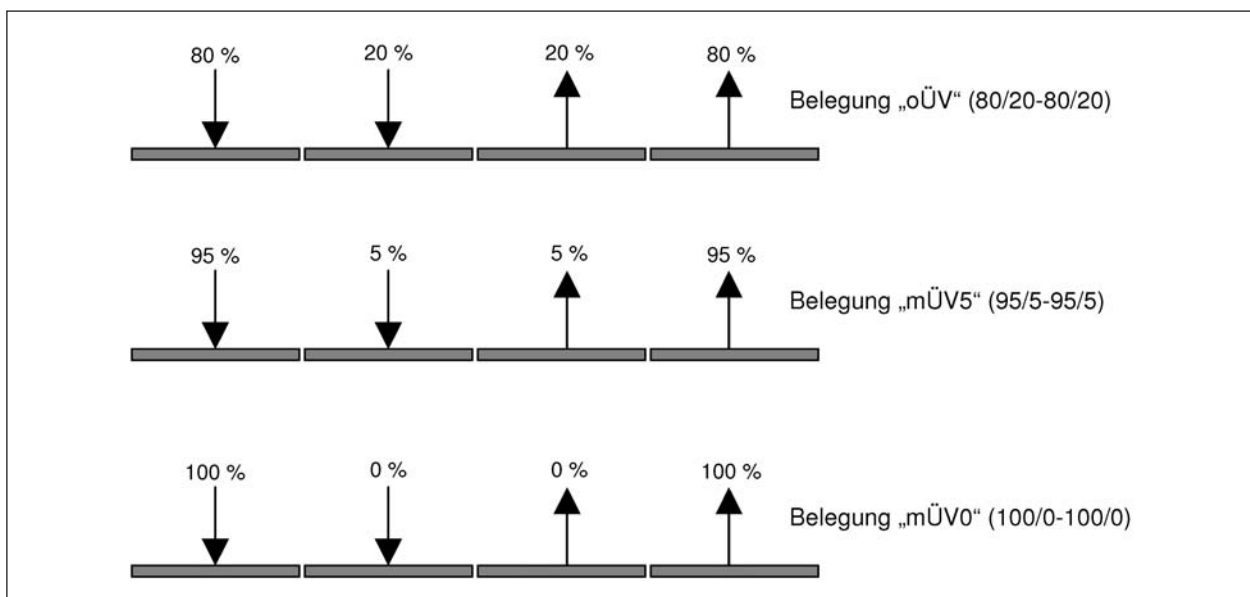


Bild 11: Aufteilung des Schwerverkehrs auf die Fahrstreifen für 12,00 m Fahrbahnbreite

Zusätzlich werden getrennt voneinander betrachtet:

- fließender Verkehr auf allen Fahrstreifen,
- Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit auf allen Fahrstreifen.

3.2.2 Schwerverkehrsvarianten

In den bisherigen Untersuchungen wurde zur Beschreibung des Schwerverkehrsaufkommens innerhalb der Simulationsrechnungen auf Datenbestände aus Verkehrsmessungen an der A 61 in den Jahren 2004 und 2005 zurückgegriffen. Der Autobahnabschnitt der A 61, an dem diese Verkehrsmessungen durchgeführt wurden, ist dabei im Vergleich zu anderen Autobahnabschnitten, für die solche Messdaten vorliegen, durch ein sehr hohes Schwerverkehrsaufkommen gekennzeichnet [6]. Des Weiteren ist die Schwerverkehrszusammensetzung (Anteil verschiedener Fahrzeugtypen) durch eine hohe Häufigkeit von Fahrzeugtypen mit höheren zulässigen Gesamtgewichten (z. B. Sattelschlepper) gekennzeichnet und die aus den Messdaten ermittelten Gesamtgewichtsverteilungen zeigen im Vergleich zu den Daten anderer Messstellen bereichsweise deutlich größere Häufigkeiten von höheren gemessenen Gesamtgewichten.



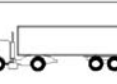

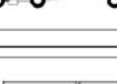
Auf Basis dieser Daten wurden in [2] unter Variation des Verkehrsaufkommens (DTSV-Werte) Simulationsrechnungen durchgeführt. Auf diese Ergebnisse wird im vorliegenden Projekt für den Untersuchungsschwerpunkt Bundesfernstraßennetz zurückgegriffen, jedoch wird die Berücksichtigung des Stauverkehrs weiter differenziert.

Für den Untersuchungsschwerpunkt untergeordnetes Straßennetz wird die Verkehrsbelegung an der A 61 hinsichtlich Verkehrszusammensetzung und Gesamtgewichtsverteilung der einzelnen Fahrzeugtypen als nicht repräsentativ angesehen. Verkehrserfassungen wie an der A 61 und anderen Abschnitten im deutschen Autobahnnetz wurden aber bisher im untergeordneten Straßennetz nicht durchgeführt. Daher ist es erforderlich, hinsichtlich der Verkehrszusammensetzung und der Gesamtgewichtsverteilungen Annahmen aufzustellen.

Für die Verkehrszusammensetzung werden hierbei die Zahlenwerte verwendet, die im Lastmodell 4 für Ermüdungsberechnungen der DIN EN 1991-2 enthalten sind. In Tabelle 1 sind die entsprechenden Werte dargestellt. In der Tabelle sind in den Spalten 4 bis 6 für die drei Verkehrsarten „große Entfernun-

gen“, „mittlere Entfernungen“ und „Ortsverkehr“ Häufigkeiten von fünf verschiedenen Fahrzeugtypen dargestellt. Entsprechend den bisher verwendeten Typenbezeichnungen handelt es sich dabei von oben nach unten um Typ 8, 9, 98, 97 und 35.

In allen vorliegenden Auswertungen von Verkehrsmessungen mit Identifikation der Fahrzeugtypen trat der in Tabelle 1 aufgeführte Fahrzeugtyp 35 (letzte Zeile) kaum auf. Stattdessen wurde der Fahrzeugtyp 41 (Lkw mit 3 Achsen, Anhänger mit zwei Achsen) häufig ermittelt. Für die nachfolgenden Untersuchungen wird daher der in Tabelle 1 aufgeführte Typ 35 durch diesen Typ 41 ersetzt. Die drei verschiedenen Verkehrscharakteristiken werden nachfolgend mit „LS“ für Langstreckenverkehr, „MS“ für Mittelstreckenverkehr und „OV“ für Ortsverkehr bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass durch diese drei verschiedenen Verkehrscharakteristiken der Verkehr auf dem untergeordneten Straßennetz hinsichtlich der Zusammensetzung beschrieben werden kann. Welcher dieser drei Arten für ein konkretes Brückenbauwerk zutreffend ist, muss aus Verkehrserfassungen von Dauerzählstellen abgeleitet werden.

Fahrzeugtyp			Verkehrsart			
1	2	3	4	5	6	7
			Große Entfernung	Mittlere Entfernung	Ortsverkehr	
Schwerfahrzeug	Achsabstand [m]	Ersatzachslast [kN]	Schwerverkehrsanteil	Schwerverkehrsanteil	Schwerverkehrsanteil	Reifenart
	4,5	70 130	20,0	40,0	80,0	A B
	4,20 1,30	70 120 120	5,0	10,0	5,0	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	70 150 90 90 90	50,0	30,0	5,0	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	70 140 90 90	15,0	15,0	5,0	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	70 130 90 80 80	10,0	5,0	5,0	A B C C C

Tab. 1: Lastmodell 4 für Ermüdungsberechnungen nach DIN EN 1991-2 (Tabelle 4.7)

Die beschriebene Verwendung verschiedener Verkehrszusammensetzungen erlaubt einen ersten Schritt der Differenzierung der Eingangsdaten der Untersuchungen. Der nächste Schritt besteht in einer erweiterten Differenzierung hinsichtlich der Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeugtypen. Hierzu wird wie folgt vorgegangen: Für die Verkehrscharakteristik Langstreckenverkehr („LS“) werden die Parameter der aus den Messungen an der A 61 ermittelten Gesamtgewichtsverteilungen verwendet. Dies entspricht damit den bisher verwendeten Daten (vgl. [1, 2]). Für die Verkehrscharakteristik Mittelstreckenverkehr („MS“) werden Gesamtgewichtsverteilungen verwendet, die anhand von Messungen an der Talbrücke Denkendorf (A 8 nahe Stuttgart) im Rahmen eines vorhergehenden Forschungsprojektes ermittelt wurden (vgl. [4]). Für die Verkehrscharakteristik Ortsverkehr („OV“) werden von der Bundesanstalt für Straßenwesen bereitgestellte Gesamtgewichtsverteilungen aus Messungen an der A 66 (Kreuz Miquelallee, Frankfurt a. M.) herangezogen. Hintergrund für diese Differenzierung der Gesamtgewichtsverteilungen ist die Überlegung, dass neben einer objektbezogenen Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung auch die tatsächlichen Fahrzeuggewichte (nicht die zulässigen Gesamtgewichte) unterschiedlich sind. Im nachfolgenden Bild 12 sind die Gesamtgewichtsverteilungen des Fahrzeugtyps 98 (Sattelschlepper mit zweiachsiger Zugmaschine und dreiachsigem Auflager) für die drei aufgeführten Messstellen dargestellt. Hier wird deutlich, dass für die Gesamtgewichtsverteilung eines Fahrzeuges eine starke Ortsabhängigkeit vorliegt. Die lokalen Maxima sind in den drei Verteilungen sehr ähnlich. Ein Maxima liegt im unteren Bereich der Gesamtgewichte bei 15 t bis 25 t und ein weiterer im oberen Bereich bei 35 t bis 40 t. Nachvollziehbar ist dabei die Interpretation, dass der untere Maximalwert gering- bis unbeladene Fahrzeuge widerspiegelt und der obere Maximalwert die vollbe- bis überladenen Fahrzeuge enthält. Die Häufigkeit dieser beiden groben Gruppen zueinander ist aber bei den drei Messstellendaten deutlich unterschiedlich.

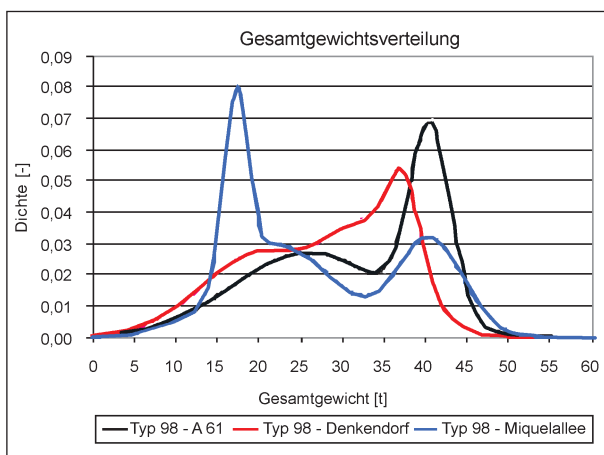


Bild 12: Gesamtgewichtsverteilung Fahrzeugtyp 98 für drei Messstellen

Bereich bei 35 t bis 40 t. Nachvollziehbar ist dabei die Interpretation, dass der untere Maximalwert gering- bis unbeladene Fahrzeuge widerspiegelt und der obere Maximalwert die vollbe- bis überladenen Fahrzeuge enthält. Die Häufigkeit dieser beiden groben Gruppen zueinander ist aber bei den drei Messstellendaten deutlich unterschiedlich.

Die Verwendung dieser drei Datenbestände für das untergeordnete Netz mit den verschiedenen aufgeführten Verkehrscharakteristiken stellt aber dennoch eine Annahme dar, da konkrete Messdaten aus diesem Netz nicht vorliegen.

In den folgenden Erläuterungen werden die verwendeten Gesamtgewichtsverteilungen und Fahrzeugtypenzusammensetzungen durch Modellbezeichnungen abgekürzt. Diese Bezeichnungen sind wie folgt zu erläutern:

- „Modell A 61“
 - Gesamtgewichtsverteilung aus Messungen A 61,
 - Typenhäufigkeit aus Messungen A 61,
- „Modell LS“
 - Gesamtgewichtsverteilung aus Messungen A 61,
 - Typenhäufigkeit in Anlehnung an Ermüdungslastmodell 4 DIN EN 1991-2, Spalte „große Entfernungen“,
- „Modell MS“
 - Gesamtgewichtsverteilung aus Messungen A 8 (Talbrücken Denkendorf, vgl. [4]),
 - Typenhäufigkeit in Anlehnung an Ermüdungslastmodell 4 DIN EN 1991-2, Spalte „mittlere Entfernungen“,
- „Modell OV“
 - Gesamtgewichtsverteilung aus Messungen A 66 (Miquelallee),
 - Typenhäufigkeit in Anlehnung an Ermüdungslastmodell 4 DIN EN 1991-2, Spalte „Ortsverkehr“.

3.2.2.1 Schwerverkehrsvarianten für gegenwärtigen Schwerverkehr

In den nachfolgenden Tabellen sind die verwendeten Eingangsdaten für die Simulationsrechnungen aufgeführt. Zunächst werden in diesem Kapitel die

Daten für die Varianten des gegenwärtigen Schwerverkehrsaufkommens dargestellt. Zu beachten ist dabei die Aufteilung der Untersuchungen in die beiden Schwerpunkte Bundesfernstraßennetz und untergeordnetes Straßennetz. Für das Bundesfernstraßennetz werden die Szenarien des Mehrspurverkehrs mit Richtungsverkehr betrachtet (vgl. Kapitel 3.2.1). Die Verkehrsbelegungen sind dabei entsprechend den oben aufgeführten Konventionen mit „oÜV“, „mÜV5“ und „mÜV0“ abgekürzt. Für das untergeordnete Straßennetz wird der Begegnungsverkehr („BV“) betrachtet.

In Tabelle 2 sind die verwendeten Zahlenwerte für die Fahrzeugtypenhäufigkeiten zusammengefasst. Der obere Teil der Tabelle (Belegung oÜV, mÜV5, mÜV0) entspricht dabei den bereits in [1] und [2] verwendeten Zahlenwerten. Die Angaben enthalten

den Anteil der verschiedenen betrachteten Fahrzeugtypen auf dem jeweils rechten Fahrstreifen (FS 0) und dem Überholfahrstreifen (FS 1). Da hier als Kompensationsmaßnahme das Überholverbot untersucht wird, ist für FS 1 die Zusammensetzung variabel. Die verwendeten Zahlenwerte für den Begegnungsverkehr (BV) sind im unteren Teil von Tabelle 2 aufgeführt. Entsprechend den oben aufgeführten Erläuterungen zum Inhalt der vier verschiedenen Modelle sind die Werte aus den Messungen an der A 61 bzw. den Angaben im Lastmodell 4 für Ermüdungsberechnungen der DIN EN 1991-2 aufgeführt.

Die Tabellen 3 und 4 enthalten die Zahlenwerte für die Verteilung des Gesamtgewichtes der Fahrzeuge auf die einzelnen Achsen (Tabelle 3) und die Achsabstände (Tabelle 4). Grundlage für diese

Belegung	Modell	Fahrstreifen	Fahrzeugtypenhäufigkeit [%]						
			Typ 8	Typ 9	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Pkw
oÜV	A 61	FS 0	11,0 %	---	5,0 %	17,0 %	8,0 %	59,0 %	0,0 %
		FS 1 (20 % Lkw)	2,20 %	---	1,00 %	3,40 %	1,60 %	11,80 %	80,00 %
FS 1 (5 % Lkw)		0,647 %	---	0,294 %	1,000 %	0,471 %	3,471 %	94,117 %	
mÜV0		FS 1 (0 % Lkw)	0,0 %	---	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %
BV	A 61	FS 0	11,0 %	---	5,0 %	17,0 %	8,0 %	59,0 %	---
	LS	FS 0	20,0 %	5,0 %	---	10,0 %	15,0 %	50,0 %	---
	MS	FS 0	40,0 %	10,0 %	---	5,0 %	15,0 %	30,0 %	---
	OV	FS 0	80,0 %	5,0 %	---	5,0 %	5,0 %	5,0 %	---

Tab. 2: Fahrzeugtypenhäufigkeit für die verschiedenen Schwerverkehrmodelle und Belegungen – gegenwärtiger Schwerverkehr

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

Tab. 3: Verteilung der Gesamtgewichte auf die einzelnen Fahrzeugachsen – gegenwärtiger Schwerverkehr

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

Tab. 4: Achsabstände der Fahrzeugtypen – gegenwärtiger Schwerverkehr

	Belegung oÜV, mÜV5 und mÜV0						Belegung BV			
	Modell A 61						Modell A 61	Modell LS	Modell MS	Modell OV
DTSV	Lkw Spur (FS 0)			Ü-Spur (FS 1)			FS 0/FS 1			
	100 %	95 %	80 %	0 %	5 %	20 %				
10.000	10.000	9.500	8.000	0	500	2.000	10.000			
5.000	5.000	4.750	4.000	0	250	1.000	5.000			
1.000	1.000	950	800	0	50	200	1.000			
500	500	475	400	0	25	100	500			
DTV	Lkw Spur (FS 0)			Ü-Spur (FS 1)			FS 0/FS 1			
	10.000	9.500	8.000	8.000	8.500	10.000	10.000			
	5.000	4.750	4.000	4.000	4.250	5.000	5.000			
	1.000	950	800	800	850	1.000	1.000			
	500	475	400	400	425	500	500			

Tab. 5: Untersuchte Verkehrsstärke (Fahrzeuganzahl) – gegenwärtiger Schwerverkehr

Werte sind die Auswertungen der Messungen an der A 61. Diese Parameter zur Beschreibung der einzelnen Fahrzeugtypen werden in allen Modellen verwendet.

In Tabelle 5 sind die betrachteten Verkehrsstärken für beide Untersuchungsschwerpunkte aufgeführt. Grundsätzlich werden die DTSV-Werte (pro Fahrtrichtung) 10.000, 5.000, 1.000 und 500 berücksichtigt. Für den Richtungsverkehr (Belegungen oÜV, mÜV5, MÜV0) werden im zweiten Fahrstreifen zusätzlich Pkw angesetzt. Das Verhältnis zwischen Pkw-Anzahl und Lkw-Anzahl wird dabei für die Ausgangssituation (kein Überholverbot – oÜV) mit 80 zu 20 angenommen. Hieraus ergeben sich die in der Tabelle aufgeführten Zahlenwerte für die verschiedenen DTSV-Werte und Varianten des Überholverbotes. Die Angaben sind analog zu den in [2] verwendeten Werten. Für den Begegnungsverkehr werden generell keine Pkw in den Simulationsrechnungen berücksichtigt. Daher entsprechen die DTSV-Werte den DTV-Werten. Weitere Erläuterungen hierzu werden nachfolgend in den Ausführungen zu den verwendeten Parametern für das Abstandsverhalten im fließenden Verkehr und Stauverkehr gegeben.

In Tabelle 6 sind die Parameter der Verteilungsfunktionen zur Abbildung der Fahrzeuggesamtgewichte zusammengestellt. Die Angaben für das Modell A 61 und das Modell LS entstammen dabei den vorliegenden Verkehrsmessungen an der A 61. Entsprechend den in Tabelle 2 aufgeführten Fahrzeugtypenhäufigkeiten sind im Modell A 61 der Fahrzeugtyp 9 und im Modell LS der Fahrzeugtyp 33

nicht enthalten. Für den im Richtungsverkehr berücksichtigten Pkw (Modell A 61) wird das Gesamtgewicht mit konstant 10 kN angenommen. Die Parameter für das Modell MS wurden aus den Ergebnissen der in [4] vorgenommenen Messungen an der Talbrücke Denkendorf (A 8) übernommen. Für den Fahrzeugtyp 9 lagen hier keine ausreichenden Datenbestände vor, sodass ersatzweise die Parameter des Modells LS (Daten A 61) übernommen wurden. Die Parameter für das Modell OV stammen aus Verkehrsmessungen an der A 66 (Miquelallee, Frankfurt a. M.) und wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen bereitgestellt.

Die Parameter zur Abbildung des Abstandsverhaltens im fließenden Verkehr zwischen den Fahrzeugen für den Richtungsverkehr sind im Anhang A.2 in den Tabellen A 2 und A 3 aufgeführt. Diese Werte sind identisch mit den in [2] verwendeten. Für Erläuterungen zur Ermittlung dieser Werte wird auf [2], Kapitel 2.1.1 verwiesen.

Analog dazu sind die Parameter des Abstandsverhaltens für den Begegnungsverkehr im Anhang A.2 in den Tabellen A 4 und A 5 aufgeführt. Wie oben bereits angemerkt werden hier in den Simulationsrechnungen keine Pkw berücksichtigt. Durch den Begegnungsverkehr soll das Verkehrsaufkommen auf dem untergeordneten Straßennetz abgebildet werden. Dieser Verkehr setzt sich aus Pkw und Lkw zusammen. Da die Gesamtgewichte der Pkw im Vergleich zu denen der Lkw gering sind, dienen die Pkw in den Simulationsrechnungen ohnehin nur als Abstandshalter. Durch die im Anhang A.2 aufgeführten Parameter wird aber das Abstandsverhalten

	Gesamtgewichtverteilung [kN]						
	Typ 8	Typ 9	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Pkw
Modell A 61							
μ_1	59,60	---	190,30	276,80	156,70	259,60	10,00
σ_1	14,60	---	23,20	59,50	18,80	92,00	0,00
ξ_1	0,490	---	0,200	0,690	0,340	0,620	1,000
μ_2	91,70	---	208,40	414,50	211,40	405,30	---
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	---	---	---	---	---	---	---
Modell LS							
μ_1	59,60	150,10	---	276,80	156,70	259,60	---
σ_1	14,60	30,10	---	59,50	18,80	92,00	---
ξ_1	0,490	0,468	---	0,690	0,340	0,620	---
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 MS							
μ_1	57,00	150,10	---	142,20	183,50	201,50	---
σ_1	12,90	30,10	---	55,80	19,10	70,80	---
ξ_1	0,220	0,468	---	0,070	0,090	0,470	---
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 OV							
μ_1	60,82	156,33	---	191,42	97,70	172,04	---
σ_1	7,830	20,31	---	15,78	26,31	14,16	---
ξ_1	0,154	0,555	---	0,100	0,297	0,207	---
μ_2	63,64	218,00	---	222,14	171,18	223,60	---
σ_2	28,48	18,70	---	57,63	26,85	66,68	---
ξ_2	0,546	0,165	---	0,733	0,530	0,488	---
μ_3	107,44	257,15	---	390,00	268,20	405,14	---
σ_3	41,31	34,37	---	40,00	55,20	39,21	---
ξ_3	0,300	0,280	---	0,167	0,173	0,305	---

Tab. 6: Parameter der Fahrzeugesamtgewichtverteilungen für die verschiedenen Schwerverkehrsmodelle – gegenwärtiger Schwerverkehr

im fließenden Verkehr zwischen den Lkw widergespiegelt, sodass hier eine aktive Simulation der zusätzlichen Pkw entbehrlich ist. Für die Berücksichtigung des Stauverkehrs sind hingegen erweiterte Annahmen erforderlich, um auf die aktive Simulation der Pkw verzichten zu können. Erläuterungen hierzu sind im Kapitel 3.3 gegeben.

3.2.2.2 Schwerverkehrsvariante für gegenwärtigen Schwerverkehr mit Berücksichtigung von genehmigungspflichtigem Schwerverkehr durch 48t-Mobilkran

Eine der zu betrachtenden Kompensationsmaßnahmen für den ersten Untersuchungsschwerpunkt ist die Einschränkung des genehmigungspflichtigen Großraum- und Schwerlastverkehrs ohne Routenbeschränkung oder mit Dauergenehmigung. Zur Beurteilung dieser möglichen Kompensationsmaßnahme wird eine zweite Schwerverkehrsvariante betrachtet, in der dieser genehmigungspflichtige Schwerverkehr durch die Einmischung von 48t-Mobilkränen berücksichtigt wird. Da für diese Fahrzeuge oft Dauergenehmigungen ohne Routenbeschränkungen erteilt werden, sie also somit wie die nach StVO und StVZO zugelassenen Fahrzeuge einen gewissen Anteil am gesamten Schwerverkehrsaufkommen haben, werden sie in dieser Schwerverkehrsvariante berücksichtigt. Das wirkliche Aufkommen des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs kann hierdurch

nicht vollständig abgebildet werden. Da bisher zur Qualität und Quantität dieses Verkehrsaufkommens nur wenige Daten vorliegen, wird sich zunächst darauf beschränkt, 48t-Mobilkräne mit 4 Achsen in das simulierte Verkehrsband einzumischen. Für die Abbildung dieser Fahrzeuge analog zu den übrigen Fahrzeugtypen wurden Achsabstände aus Herstellerdatenblättern entnommen, die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die einzelnen Achsen als gleichverteilt angenommen und als Verteilungsfunktion des Gesamtgewichtes eine Normalverteilung mit einem Erwartungswert von 480 kN (48 t) und einer Standardabweichung von 41 kN (4,1 t) verwendet. Der Erwartungswert entspricht hierbei dem in den Datenblättern angegebenen Gesamtgewicht des Fahrzeuges. Die Festlegung der Standardabweichung resultiert aus der Überlegung, dass ein Teil der Mobilkräne die erforderlichen Gegengewichte von mindestens 8 t auf dem Fahrzeug mitführt. Die angenommene Standardabweichung der Normalverteilung ergibt sich aus der Annahme, dass 98 % der Gesamtgewichte der Fahrzeuge unter 56 t liegen. Für die Auftretenshäufigkeit der Fahrzeuge wird für die linken Fahrstreifen (FS 0) 0,5 % angenommen. Die Auftretenshäufigkeit auf den Überholfahrstreifen ergibt sich entsprechend.

Für den im zweiten Untersuchungsschwerpunkt betrachteten Verkehr im untergeordneten Straßennetz wird diese Schwerverkehrsvariante im vorliegenden Projekt nicht berücksichtigt.

Belegung	Modell	Fahrstreifen	Fahrzeugtypenhäufigkeit [%]						
			Typ 8	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Typ Kran	Pkw
oÜV	A 61	FS 0	10,9 %	4,9 %	16,9 %	7,9 %	58,9 %	0,5 %	0,0 %
mÜV5		FS 1 (20 % Lkw)	2,18 %	0,98 %	3,38 %	1,58 %	11,78 %	0,10 %	80,00 %
		FS 1 (5 % Lkw)	0,641 %	0,288 %	0,994 %	0,465 %	3,465 %	0,029 %	94,118 %
mÜV0		FS 1 (0 % Lkw)	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	100,0 %

Tab. 7: Fahrzeugtypenhäufigkeit für die verschiedenen Belegungen – gegenwärtiger Schwerverkehr mit Mobilkran

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

Tab. 8: Verteilung der Gesamtgewichte auf die einzelnen Fahrzeugachsen – gegenwärtiger Schwerverkehr mit Mobilkran

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

Tab. 9: Achsabstände der Fahrzeugtypen – Gegenwärtiger Schwerverkehr mit Mobilkran

	Gesamtgewichtsverteilung [kN]						
	Typ 8	Typ 33	Typ 41	Typ 97	Typ 98	Typ Kran	Pkw
μ_1	59,60	190,30	276,80	156,70	259,60	480,00	10,00
σ_1	14,60	23,20	59,50	18,80	92,00	41,00	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	405,30	---	---
σ_2	44,00	73,90	32,50	52,80	24,80	---	---
ξ_2	0,510	0,800	0,310	0,660	0,380	---	---

Tab. 10: Parameter der Fahrzeuggesamtgewichtsverteilungen – gegenwärtiger Schwerverkehr mit Mobilkran

In Tabelle 7 sind die verwendeten Zahlenwerte für die Fahrzeugtypenhäufigkeiten zusammengestellt. Tabelle 8 enthält als Erweiterung zu Tabelle 3 (Kapitel 3.2.2.1) die angenommene Aufteilung des Gesamtgewichtes des Mobilkrans („Typ Kran“) auf die vier Achsen und in Tabelle 9 sind die zugehörigen Achsabstände aufgeführt. In Tabelle 10 sind die Parameter der verwendeten Gesamtgewichtsverteilungen zusammengestellt, die für die übrigen Fahrzeugtypen analog zum in Kapitel 3.2.2.1 aufgeführten Modell A 61 sind.

Die Anzahl der Fahrzeuge und die Parameter des Abstandsverhaltens sind identisch mit den im Anhang A.2 in Tabelle A 2 und Tabelle A 3 aufgeführten.

3.3 Abbildung des Stauverkehrs

In den bisherigen Untersuchungen wurde der Stauverkehr abgebildet, indem in das simulierte Verkehrsband zufällig Abschnitte mit konstanten Fahrzeugabständen von 5 m eingemischt wurden. Die Häufigkeit und Länge dieser Abschnitte ergeben sich dabei im Mittel aus den Parametern $P_{\text{fließ}}$ und P_{Stau} . Die Wirkungsweise dieser Parameter wird in [1] erläutert. Hierauf wird an dieser Stelle verwiesen. Analog zu den vorherigen Untersuchungen wurden auch im vorliegenden Projekt der Parameter $P_{\text{fließ}}$ zu 0,999 und der Parameter P_{Stau} zu 0,99

gesetzt. Im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungen erfolgt hier aber eine Erweiterung hinsichtlich des angenommenen Stauabstandes. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, ist es nunmehr durch eine Erweiterung des verwendeten Programmsystems möglich, zufällige Stauabstände innerhalb definierter Grenzen zu erzeugen. Tastuntersuchungen in [2] zeigten die deutliche Wirkung einer Veränderung des Stauabstandes. Im vorliegenden Projekt werden hierzu folgende Annahmen und Vorgehensweisen verwendet:

Für den ersten Untersuchungsschwerpunkt (Bundesfernstraßennetz) werden zunächst die vorliegenden Berechnungsergebnisse aus [2] verwendet. Diese Ergebnisse beruhen auf einem angenommenen Stauabstand von 5 m. Die Untersuchungen werden nunmehr erweitert, indem zwei zusätzliche Varianten für den Stauverkehr betrachtet werden. In der ersten Variante wird der Stauabstand zufällig generiert, wobei eine Gleichverteilung der Stauabstände zwischen 5 und 15 m angenommen wird. Im Mittel ergibt sich somit ein Stauabstand von 10 m. Die zweite Variante ist analog hierzu, jedoch wird der Stauabstand als gleichverteilt zwischen 5 und 25 m angenommen (im Mittel somit 15 m). Im Rahmen des vorliegenden Projektes beschränken sich die Berechnungen mit der erweiterten Betrachtung des Stauabstandes auf die Zweifeld-Systeme (vgl. Kapitel 3.1). Die beiden zusätzlichen Varianten des Stauverkehrs könnten als zu-

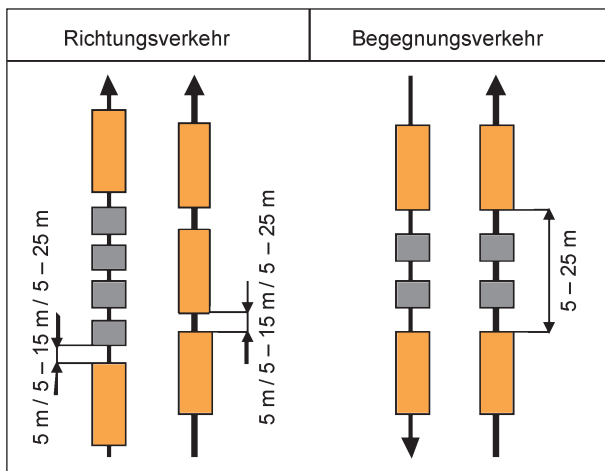


Bild 13: Ansatz der Stauabstände für Richtungs- und Begegnungsverkehr

sätzliche Kompensationsmaßnahme betrachtet werden, jedoch ist es gegenwärtig unklar, wie eine solche Maßnahme praktisch umgesetzt werden kann. Eine andere Betrachtungsweise besteht darin, den Stauabstand als objektbezogenen Kennwert zu verstehen.

Für den zweiten Untersuchungsschwerpunkt wird sich darauf beschränkt, den Stauabstand als gleichverteilt zwischen 5 und 25 m anzunehmen. Wie oben beschrieben werden hier die Pkw nicht aktiv simuliert. Der Stauabstand ist somit auch der Abstand zwischen den Lkw-Fahrzeugen. Aus hier verwendeten Annahmen für die Verteilung des Stauabstandes ergibt sich ein mittlerer Abstand von 15 m zwischen den Lkw-Fahrzeugen im Stau. In diese Lücke würden zwei sehr dicht hintereinander stehende Pkw Platz finden. Ohne aktive Simulation der Pkw ergibt sich somit ein Verhältnis Lkw zu Pkw von 1 zu 2 bzw. ein Anteil des Schwerverkehrs (DTSV) am Gesamtverkehr (DTV) von 33,3 %. Basierend auf vorliegenden Daten von Dauerzählstellen stellt dies ein sehr extremes Verhältnis dar. In Bild 13 ist der Ansatz der Stauabstände in den Simulationen des Richtungs- und Begegnungsverkehrs prinzipiell grafisch dargestellt.

3.4 Eingangsdaten für die Kompensationsmaßnahme Abstandsbeschränkung

Für die Simulationsrechnungen im ersten Untersuchungsschwerpunkt wird die Kompensationsmaßnahme Abstandsbeschränkung analog zu [2] durch einen Mindestabstand im fließenden Verkehr von 70 m abgebildet.

3.5 Erfassung des Verhaltens Fahrzeug – Fahrbahn – Bauwerk

Analog zu den vorhergehenden Untersuchungen werden zur ersatzweisen Abbildung des dynamischen Verhaltens zwischen Fahrzeug, Fahrbahn und Bauwerk in den Berechnungen der Kennwert-Zeit-Verläufe Schwingbeiwerte verwendet. Die Schwingbeiwerte werden nach DIN 1072 berechnet. Zur konkreten Berücksichtigung der Schwingbeiwerte bei der Berechnung der Kennwert-Zeit-Verläufe wird auf [1] verwiesen.

3.6 Verwendetes Auswertungsverfahren

Aus den mit den oben aufgeführten Eingangsdaten durchgeführten Simulationsrechnungen werden Kennwert-Zeit-Verläufe verschiedener Kennwerte (Biegemomente, Auflagerkräfte, Querkräfte) für die unter Kapitel 3.1 dargestellten Tragwerke berechnet. Diese Zeitverläufe werden anschließend statistisch ausgewertet. In [1] wurden hierfür zwei verschiedene Methoden entwickelt. Im vorliegenden Projekt wird hiervon die Auswertung über die Methode der Klassengrenzendurchgangszählung mit anschließender Anpassung durch eine Rice-Funktion verwendet. Da es sich bei den Untersuchungen um Simulationsrechnungen auf Basis von Zufallszahlen handelt, sind auch die Ergebnisse der statistischen Auswertung zwangsweise Streuungen unterlegen. Um diese Streuungen auszugleichen, wird, analog zu den vorhergehenden Projekten, wie folgt vorgegangen:

Für die verschiedenen zu untersuchenden Verkehrsstärken werden unterschiedliche Betrachtungszeiträume (Länge des simulierten Verkehrsbandes) gewählt, um eine ausreichende Datengrundlage zu erhalten.

Für den ersten Untersuchungsschwerpunkt werden vorliegende Ergebnisse aus [2] herangezogen und die dort durchgeführten Untersuchungen erweitert (Variation Stauabstand). Analog zu [2] werden hierbei folgende Betrachtungszeiträume verwendet:

für DTSV 10.000:	1 Tag,
für DTSV 5.000:	2 Tage,
für DTSV 1.000:	10 Tage,
für DTSV 500:	20 Tage.

Die Betrachtungszeiträume sind dabei so festgelegt, dass in allen Untersuchungsvarianten die gleiche Fahrzeuganzahl simuliert wird. Die unterschiedlichen Betrachtungszeiträume werden bei der statistischen Auswertung berücksichtigt.

Für den zweiten Untersuchungsschwerpunkt kann aufgrund der Erweiterungen hinsichtlich der Fahrzeugzusammensetzung, der Gesamtgewichtsverteilungen und der Stauabstände nur eingeschränkt auf in [2] ermittelte Ergebnisse zurückgegriffen werden. Die Einschränkung der zu betrachtenden Verkehrsvarianten (keine Untersuchung von Kompensationsmaßnahmen) erlaubt aber bei vergleichbarem Gesamtaufwand eine Vergrößerung des Betrachtungszeitraumes um den Faktor 5. Entsprechend den untersuchten DTSV-Werten ergeben sich somit für die Untersuchungen des Begegnungsverkehrs folgende Zeiträume:

für DTSV 10.000:	5 Tage,
für DTSV 5.000:	10 Tage,
für DTSV 1.000:	50 Tage,
für DTSV 500:	100 Tage.

Für jede Simulationsvariante werden 10 Simulationen durchgeführt. Hieraus ergeben sich jeweils 10 Ergebnisse (charakteristische Werte – Wiederkehrperiode 1.000 Jahre). Von diesen Ergebnissen wird der größte und der kleinste Wert gestrichen und aus den verbleibenden Werten der Mittelwert (arithmetisches Mittel) bestimmt. Dieses Verfahren liegt den nachfolgenden Untersuchungsergebnissen zugrunde. In Bild 14 ist die Vorgehensweise exemplarisch dargestellt.

Im zweiten Schritt wird analysiert, bei welcher Wiederkehrperiode die Niveaus der verschiedenen be-

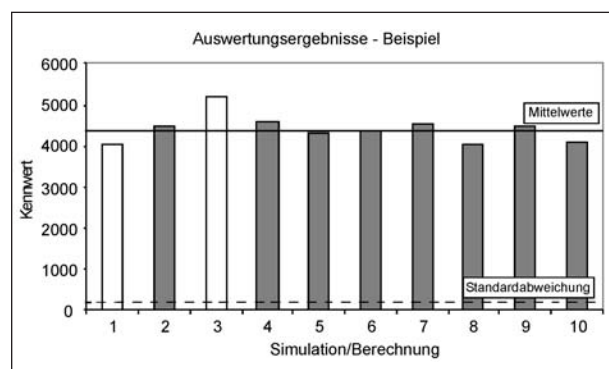


Bild 14: Vergleich der Auswertungsergebnisse der Klassengrenzendurchgangszählung von 10 Simulationen à 1 Tag

trachteten Lastmodelle erreicht werden. Aus dem Auswerteverfahren über die Klassengrenzendurchgangszählung mit anschließender Anpassung der Auszählergebnisse durch die Rice-Funktion ergeben sich die Parameter für diese Funktion. Mit diesen Parametern ist es möglich, Werte für beliebige Wiederkehrperioden zu bestimmen und somit in Näherung zu ermitteln, mit welcher mittleren Wiederkehrperiode ein bestimmtes Wertenniveau erreicht wird. Diese Ergebnisse werden zur Eingrenzung der Ergebnisstreuungen wie die charakteristischen Werte verarbeitet (10 Werte, Größt- und Kleinstwert streichen, Mittelwertbildung aus den verbleibenden 8 Werten).

3.7 Betrachtete Kennwerte

Für die Untersuchungen werden folgende Kennwerte betrachtet:

- Stützmoment am Mittelaufleger bzw. am ersten Mittelaufleger der Dreifeldsysteme,
- Feldmoment im ersten Feld,
- Auflagerkraft am Anfangsaufleger,
- Auflagerkraft am Mittelaufleger bzw. am ersten Mittelaufleger der Dreifeldsysteme,
- Auflagerquerkraft am Mittelaufleger bzw. am ersten Mittelaufleger der Dreifeldsysteme.

Die Kennwerte beziehen sich dabei stets auf einen Hauptträger des betrachteten Querschnittes.

3.8 Lastmodelle als Vergleichsbasis

Für die durch das Auswertungsverfahren ermittelten charakteristischen Kennwerte ist eine Vergleichsbasis erforderlich. Hierzu werden das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes 101 (2009), das Lastmodell „BK60/30“ und „BK30/30“ der DIN 1072 (1985), das Lastmodell „BK60“ der DIN 1072 (1967) sowie das Lastmodell „BK45“ herangezogen.

Die Grundwerte und angepassten Grundwerte sind für das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes 101 (2009) in Tabelle 11 aufgeführt und die Struktur des Lastmodells in Bild 15 dargestellt. In den Tabellen 12 bis 15 sind die verschiedenen Lastmodelle der DIN 1072 aufgeführt.

Stellung	Doppelachse			Gleichmäßig verteilte Last		
	Grundwert	α_{Qi}	angepasster Grundwert	Grundwert	α_{qi}	angepasster Grundwert
	Achslast Q_{ik} in kN		Achslast $\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$ in kN			q_{ik} in kN/m ²
Fahrstreifen 1	300	0,8	240	9,0	1,0	9,0
Fahrstreifen 2	200	0,8	160	2,5	1,0	2,5
Fahrstreifen 3	0	-	0	2,5	1,0	2,5
andere Fahrstreifen	0	-	0	2,5	1,0	2,5

Tab. 11: Grundwerte und angepasste Grundwerte LM 1 DIN FB 101 (2009)

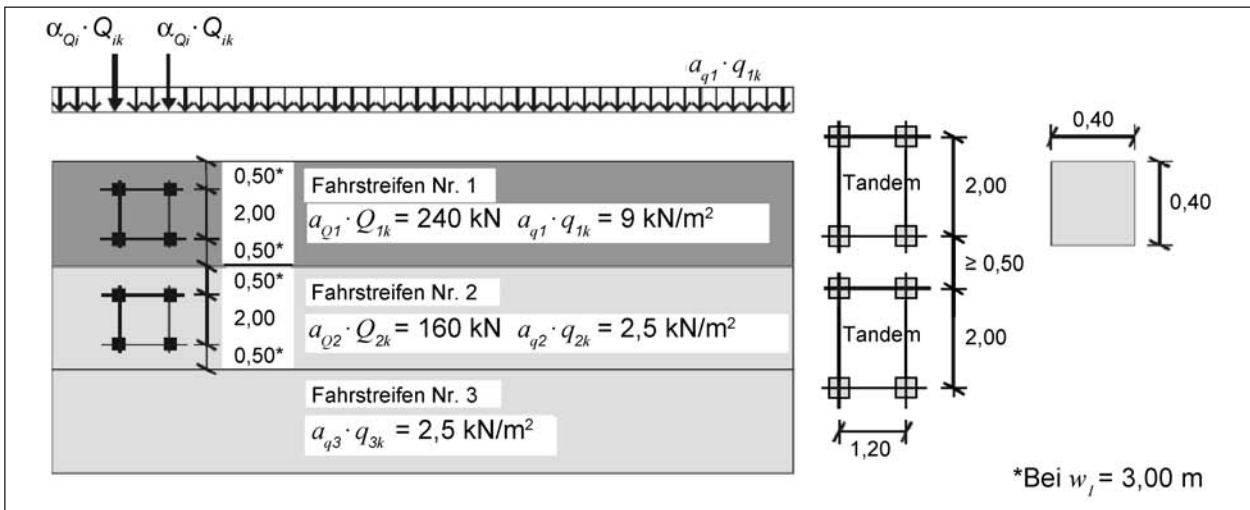


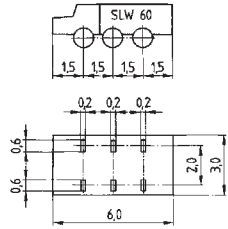
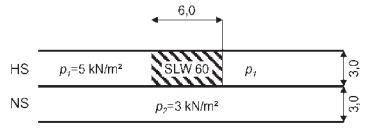
Bild 15: Lastmodell 1 – DIN Fachbericht 101 (2009)

Brückenklasse 60/30			
1	Schwerlastwagen (SLW) SLW 60 in HS / SLW 30 in NS		
Mit Schwingbeiwert ϕ in der Hauptspur			
Gesamtlast:	600 kN	Gesamtlast:	300 kN
Radlast:	100 kN	Radlast:	50 kN
Aufstandsfläche:	0,2 x 0,6 (m ²)	Aufstandsfläche:	0,2 x 0,4 (m ²)
2	Lastschema für die Fahrbahnflächen zwischen den Schrammborden		
Restflächen $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ ohne Schwingbeiwert ϕ			
$\phi = 1,4 - 0,008 \cdot l_0$ (Bauwerke ohne Überschlüftung)			

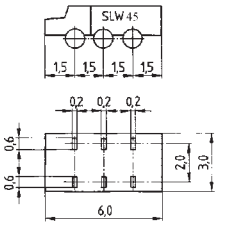
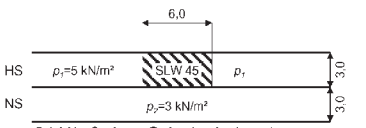
Tab. 12: Lastmodell „BK60/30“ – DIN 1072 (12-1985)

Brückenklasse 30/30			
1	Schwerlastwagen (SLW) SLW 30 in HS / SLW 30 in NS		
Mit Schwingbeiwert ϕ in der Hauptspur			
Gesamtlast:	300 kN	Gesamtlast:	300 kN
Radlast:	50 kN	Radlast:	50 kN
Aufstandsfläche:	0,2 x 0,4 (m ²)	Aufstandsfläche:	0,2 x 0,4 (m ²)
2	Lastschema für die Fahrbahnflächen zwischen den Schrammborden		
Restflächen $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ ohne Schwingbeiwert ϕ			
$\phi = 1,4 - 0,008 \cdot l_0$ (Bauwerke ohne Überschlüftung)			

Tab. 13: Lastmodell „BK30/30“ – DIN 1072 (12-1985)

	Brückenklasse 60
	Mit Schwingbeiwert ϕ in der Hauptspur
	
	Gesamtlast: 600 kN Radlast: 100 kN Aufstandsfläche: 0,2 x 0,6 (m ²)
2	Lastschema für die Fahrbahnflächen zwischen den Schrammborden
	
	Restflächen $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ ohne Schwingbeiwert ϕ
	$\phi = 1,4 - 0,008 \cdot l_0$ (Bauwerke ohne Überschüttung)

Tab. 14: Lastmodell „BK60“ – DIN 1072 (06-1967)

	Brückenklasse 45
	Mit Schwingbeiwert ϕ in der Hauptspur
	
	Gesamtlast: 450 kN Radlast: 75 kN Aufstandsfläche: 0,2 x 0,6 (m ²)
2	Lastschema für die Fahrbahnflächen zwischen den Schrammborden
	
	Restflächen $p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$ ohne Schwingbeiwert ϕ
	$\phi = 1,4 - 0,008 \cdot l_0$ (Bauwerke ohne Überschüttung)

Tab. 15: Lastmodell „BK45“

Diese Lastmodelle werden auf die verschiedenen untersuchten Tragsysteme für die jeweiligen Schnittgrößen an ungünstiger Stelle angesetzt. Die sich so für die einzelnen Schnittgrößen ergebenden Werte werden als Vergleichsbasis zur Gegenüberstellung zu den aus den Simulationsrechnungen ermittelten charakteristischen Werten (1.000 Jahre

Wiederkehrperiode) bzw. zu den ermittelten Werten mit niedrigeren Wiederkehrperioden herangezogen.

Die Zahlenwerte, die sich aus der Anwendung der verschiedenen Lastmodelle für die jeweiligen Systeme und Kennwerte ergeben, sind im Anhang A, Tabelle A 1 aufgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Vorbetrachtungen

4.1.1 Allgemeines

In den vorherigen Kapiteln wurden Erläuterungen zur technischen Umsetzung der durchzuführenden Untersuchungen gegeben und die verwendeten Eingangsdaten zusammengefasst. Nachfolgend werden die erzielten Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen dargestellt. Für eine übersichtliche Darstellung ist hierbei eine Zusammenfassung notwendig. Umfangreiche Ergebnisdaten sind in den Anhängen B und C aufgeführt, auf die an den entsprechenden Stellen in den nachfolgenden Absätzen verwiesen wird. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt getrennt nach den vorgenannten Untersuchungsschwerpunkten für das Bundesfernstraßennetz (Richtungsverkehr) und das untergeordnete Netz (Begegnungsverkehr).

Die dargestellten Untersuchungen beziehen sich generell auf die Tragwerkslängsrichtung. Für die Querrichtung des Tragwerkes ist es von untergeordneter Bedeutung, welche Fahrzeuge sich in welchem Abstand hintereinander auf dem Tragwerk befinden. Vielmehr ist es hier relevant, in welcher Weise die Fahrzeuge nebeneinander stehen. Daher wird ergänzend am Ende des Kapitels 4 eine wahrscheinlichkeitstheoretische Betrachtung von Einzelachslasten und einzelnen Fahrzeuggesamtgewichten durchgeführt. Ähnliche Untersuchungen wurden bereits in [1] durchgeführt. Die dort angewendete Methodik wird hier aufgegriffen und erweitert. Für detaillierte Erläuterungen wird auf Kapitel 4.4 verwiesen.

In Kapitel 4.1.2 wird zunächst erläutert, in welcher Weise eine angenommene reduzierte Restnutzungsdauer eines Tragwerkes in den Untersuchungen berücksichtigt wird. Anschließend erfolgen die Ergebniszusammenfassung für die beiden Untersuchungsschwerpunkte Richtungsverkehr und Begegnungsverkehr sowie abschließend die Betrachtungen für die Tragwerksquerrichtung.

4.1.2 Berücksichtigung von Restnutzungsdauern

Grundlage der vorliegenden Untersuchungen sind Verkehrssimulationsrechnungen, aus denen Kennwert-Zeit-Verläufe für verschiedene Tragsysteme und Schnittgrößen berechnet werden. Diese Zeitverläufe werden anschließend statistisch ausgewertet und durch Extrapolation Kennwerte mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren bestimmt. In der DIN EN 1991-2 ist für die Verkehrslast der charakteristische Wert als Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren definiert. Des Weiteren wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die Lebensdauer eines Brückenbauwerkes 100 Jahre beträgt. Die ermittelten charakteristischen Werte (aus Simulationsrechnung) werden den Werten gegenübergestellt, die sich aus der Anwendung der verschiedenen betrachteten Lastmodelle ergeben. Diese Lastmodellwerte sind charakteristische Werte (LM 1 des DIN FB 101) bzw. werden als solche angenommen (Lastmodelle der DIN 1072). Die theoretische Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode m_{Tr} innerhalb eines Betrachtungszeitraumes j auftritt, ergibt sich nach Gleichung 4.1.

$$F_{Tr}(j) = 1 - \left(1 - \frac{1}{m_{Tr}}\right)^j \quad (4.1)$$

mit:

m_{Tr} - mittlere Wiederkehrperiode

j - Betrachtungszeitraum

Hieraus ergibt sich für den charakteristischen Wert (1.000 Jahre mittlere Wiederkehrperiode) eine Auftretenswahrscheinlichkeit innerhalb der Lebensdauer (100 Jahre) von ca. 9,52 %.

In den nachfolgenden Ergebniszusammenfassungen werden drei verschiedene Restnutzungsdauern betrachtet. Zunächst wird von einer uneingeschränkten Restnutzungsdauer ausgegangen. Hierfür ist zu ermitteln, welches der betrachteten Lastmodelle die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen abdeckt. Das Ergebnis aus der Simulationsrechnung für eine konkrete Verkehrsvariante und ein konkretes Tragwerk (Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren) muss demnach kleiner sein als der Wert, der sich aus der Anwendung des entsprechenden Lastmodells ergibt. Ist das der Fall, so werden die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen

j [a]	m_{Tr} [a]	$F_{Tr}(j)$ [-]
100	1.000	9,521 %
<i>20</i>	<i>1.000</i>	<i>1,981 %</i>
<i>10</i>	<i>1.000</i>	<i>0,996 %</i>
20	200	9,539 %
10	100	9,562 %

Tab. 16: Auftretenswahrscheinlichkeiten für Werte mit verschiedenen Wiederkehrperioden in verschiedenen Betrachtungszeiträumen

durch dieses identifizierte Lastmodell für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer abgedeckt.

Weiterführend werden zwei reduzierte Restnutzungsdauern von 20 Jahren und 10 Jahren betrachtet. In Tabelle 16 sind für diese beiden Betrachtungszeiträume die Auftretenswahrscheinlichkeiten eines Wertes mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren (m_{Tr}) innerhalb dieser Betrachtungszeiträume (j) aufgeführt (kursiv geschrieben). Es wird ersichtlich, dass die resultierenden Wahrscheinlichkeiten deutlich kleiner sind (ca. 1,981 % bzw. 0,996 %), als es für den Neubau durch die Definition von Lebensdauer (100 Jahre) und mittlerer Wiederkehrperiode (1.000 Jahre) vorgesehen ist. In Tabelle 16 ist außerdem aufgeführt, dass sich bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren bzw. 10 Jahren und einer mittleren Wiederkehrperiode von 200 Jahren bzw. 100 Jahren Auftretenswahrscheinlichkeiten ergeben, die nahezu mit der für den Neubau verwendeten übereinstimmen.

Für die Bestimmung, welches der betrachteten Lastmodelle die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehr für eine begrenzte Restnutzungsdauer (20 Jahre, 10 Jahre) abdeckt, wird daher wie folgt vorgegangen: Zunächst wird ausgehend von den statistischen Auswertungen der Simulationsrechnungen ermittelt, mit welcher mittleren Wiederkehrperiode die Niveaus der einzelnen betrachteten Lastmodelle erreicht werden. Ist diese Wiederkehrperiode für ein einzelnes Lastmodell größer als 200 Jahre, so deckt dieses Lastmodell die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen für eine Restnutzungsdauer von maximal 20 Jahren ab. Ist die Wiederkehrperiode größer als 100 Jahre, so beträgt analog die maximale Restnutzungsdauer 10 Jahre.

4.2 Untersuchungsschwerpunkt Richtungsverkehr

4.2.1 Allgemeines

Im Kapitel 4.2 werden die erzielten Ergebnisse für den Untersuchungsschwerpunkt Richtungsverkehr dargestellt. Der Richtungsverkehr wird als Basis für das Bundesfernstraßennetz angenommen. Aufbauend auf den im vorhergehenden Projekt ermittelten Ergebnissen [2] werden die Auswirkungen der ergänzend betrachteten Verkehrsvarianten (Variation des Stauabstandes) kurz aufgezeigt und anschließend die erzielten Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Hierbei werden zunächst Lastmodelle identifiziert, durch die für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer und zwei verschiedene reduzierte Restnutzungsdauern (20 Jahre, 10 Jahre) die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen ohne Anwendung der betrachteten Kompensationsmaßnahmen abgedeckt sind. Anschließend wird zusammengefasst, welche der betrachteten Kompensationsmaßnahmen erforderlich sind, damit die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen für eine begrenzte Restnutzungsdauer durch das Lastmodell BK 60/30 bzw. das Lastmodell BK 60 abgedeckt werden.

Zur Erhaltung der Übersichtlichkeit werden innerhalb dieses Kapitels nur Zusammenfassungen der Ergebnisse, vorwiegend in Tabellenform, hinsichtlich der aufgezeigten Fragestellungen dargestellt. Aufgrund der Vielzahl von betrachteten Varianten des Verkehrs, der Tragsysteme und Kennwerte können die reinen Ergebnisdaten hier nicht in sinnvoller, übersichtlicher Form aufgeführt werden. Im Anhang B sind die für die Zusammenstellung der nachfolgend aufgeführten Ergebniszusammenfassungen verwendeten Tabellen der Untersuchungsergebnisse aufgeführt. Auch diese Tabellen stellen eine Aufbereitung der eigentlichen Rohdaten dar. Erläuterungen zu den Tabellen sind zu Beginn des Anhangs B gegeben.

Für das 2 x 20 m System ergeben sich hier unplausible Ergebnisse für den fließenden Verkehr. Für die niedrigeren betrachteten DTSV-Werte sind die Ergebnisse für den fließenden Verkehr deutlich größer als die Ergebnisse für den Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit. Für größere Stützweiten sind die Ergebnisse für den fließenden Verkehr, je nach betrachteter Schnittgröße, entweder deutlich niedriger als für den Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit oder in sehr ähnli-

cher Größenordnung. Es ist plausibel, dass sich mit geringer werdender Stützweite die Ergebnisse aus fließendem Verkehr und Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit annähern und zum Teil die Ergebnisse aus fließendem Verkehr leicht höher sind als aus Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit. In einer Testrechnung konnte festgestellt werden, dass bei einer deutlichen Vergrößerung des Betrachtungszeitraumes (Faktor 20) das Ergebnis für den Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit im Vergleich zum kurzen Betrachtungszeitraum nur sehr geringe Änderungen aufweist, während für den fließenden Verkehr das Ergebnis im Vergleich zum kurzen Betrachtungszeitraum deutlich niedriger ist und sich, für die Tragsysteme mit kurzen Einzelstützweiten, dem Ergebnis für den Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit annähert. Aus den im Anhang B aufgeführten Tabellen wurden daher für die nachfolgende Ergebniszusammenstellung nur die Resultate aus dem Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit herangezogen.

4.2.2 Auswirkungen der verschiedenen betrachteten Kompensationsmaßnahmen

Die Analysen der Auswirkungen der verschiedenen betrachteten Kompensationsmaßnahmen wurden im vorhergehenden Forschungsprojekt durchgeführt [2]. Hierauf wird an dieser Stelle verwiesen. Ergänzend zu den bisher durchgeführten Untersuchungen wurde im vorliegenden Projekt eine erweiterte Betrachtung des Stauabstandes vorgenommen.

Bisher wurde in den Simulationsrechnungen stets ein konstanter Abstand zwischen den Fahrzeugen im Stauverkehr von 5 m angesetzt. Als zusätzliche Variation wird nunmehr davon ausgegangen, dass die Stauabstände, ebenso wie die Fahrzeugabstände im fließenden Verkehr, zufällig sind. In Kapitel 2.1 wurde erläutert, welche Möglichkeiten der Abbildung zufälliger Stauabstände bestehen. In Kapitel 3.3 wurde erläutert, dass in den vorliegenden Ergebnissen der Simulationsrechnungen hierbei zwei Untervarianten Berücksichtigung fanden. In der ersten Untervariante werden die Stauabstände als gleichverteilt zwischen 5 m und 15 m und in der zweiten Untervariante als gleichverteilt zwischen 5 m und 25 m angenommen.

In Bild 16 ist die Auswirkung dieser Änderung der Stauabstände exemplarisch für das 2 x 40 m Tragsystem und den Kennwert Stützmoment am Mittelaufleger dargestellt. Generell wird hierin ersichtlich, dass die Änderung der angenommenen Schwer-

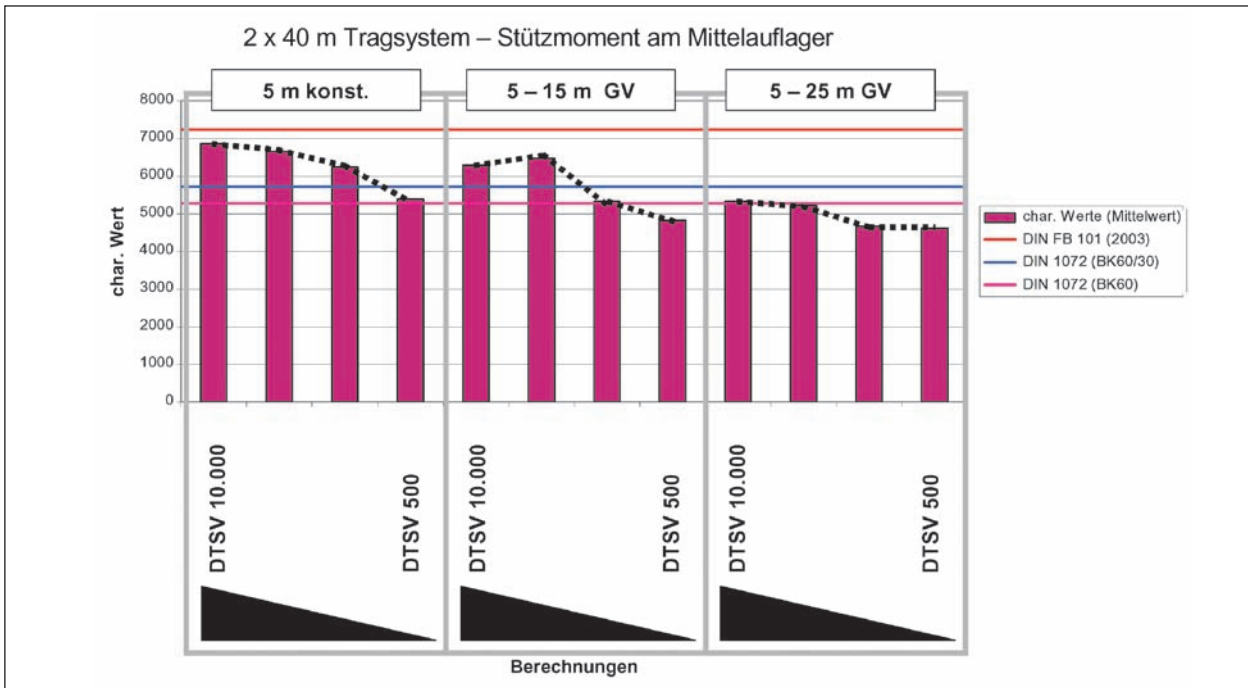


Bild 16: Auswirkung der Variation des Stauabstandes auf die charakteristischen Werte (2 x 40 m Tragsystem, Stützmoment am Mittelaufleger, Richtungsverkehr ohne Überholverbot und Abstandsbeschränkung, ohne genehmigungspflichtigen Schwerverkehr)

verkehrsstärke (DTSV) einen erheblichen Einfluss auf die resultierenden charakteristischen Werte hat. Der Vergleich zwischen den drei verschiedenen Varianten des Stauverkehrs bestätigt die deutliche Auswirkung der erweiterten Staubetrachtung, die bereits in [2] im Rahmen von Tastuntersuchungen festgestellt werden konnte.

Dieses unterschiedliche Abstandsverhalten der Fahrzeuge im Stau kann entweder als objektbezogener Kennwert (aus entsprechenden Verkehrserfassungen) oder als zusätzliche Kompensationsmaßnahme interpretiert werden. Die Umsetzung solch einer Abstandsregulierung im Stauverkehr erfordert aber eine entsprechende Beschilderung und Überwachung. Wie solch eine Maßnahme in die Realität umgesetzt werden kann, ist dabei aber noch offen.

4.2.3 Ergebnisse für uneingeschränkte Restnutzungsdauer ohne Kompensationsmaßnahmen

In Tabelle 17 sind die Lastmodelle aufgeführt, durch die das aktuelle Verkehrsaufkommen ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer abgedeckt ist. Aus den Tabellen im Anhang B wurde hierzu für alle betrachteten Kennwerte das Lastmodell bestimmt,

DTSV	Zweifeldsysteme				Dreifeldsysteme	
	2 x 20	2 x 30	2 x 40	2 x 60	3 x 40	3 x 60
500	BK 60	BK 60	LM 1	LM 1	BK 60/30	LM 1
1000	BK 60/30	BK 60/30	LM 1	LM 1	BK 60/30	LM 1
5000	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1
10000	BK 60/30	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1

Tab. 17: Identifizierte Lastmodelle zur Abdeckung des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens ohne Kompensationsmaßnahmen für uneingeschränkte Restnutzungsdauer

DTSV	8 m FB	12 m FB
< 1000	LM 1	LM 1
	LM 1	LM 1
> 1000 < 10000	LM 1	LM 1
	LM 1	LM 1

Tab. 18: Ergebniszusammenfassung – uneingeschränkte Restnutzungsdauer

dessen Niveau mit einer Wiederkehrperiode größer 1.000 Jahre erreicht wird. Die zugrunde gelegten Simulationsrechnungen beinhalten dabei den unbeschränkten Überholverkehr (Aufteilung des Schwerverkehrs auf zwei Spuren im Verhältnis 80 zu 20) ohne Abstandsbeschränkung im fließenden

Verkehr und mit einem Stauabstand von 5 m. Außerdem wird der genehmigungspflichtige Großraum- und Schwerverkehr mit Dauergenehmigung oder ohne Routenbeschränkung durch den 48t-Mobilkran ersatzweise abgebildet. Aus den Ergebnissen für die einzelnen Kennwerte wurde das „ungünstigste“ Lastmodell ausgewählt. Tabelle 17 gibt somit differenziert nach untersuchtem Tragsystem, Einzelstützweite und Verkehrsstärke die jeweils ermittelten Lastmodelle wieder.

Es wird ersichtlich, dass für den Großteil der betrachteten Tragsysteme das Lastmodell LM 1 des DIN Fachberichtes 101 zur Abdeckung des aktuellen Verkehrsaufkommens erforderlich ist. Dies wurde auch im vorhergehenden Projekt [2] festgestellt, auf dessen Ergebnisse hier im Wesentlichen zurückgegriffen wird. Reduziert man die Differenzierung der Einzelstützweiten und der Verkehrsstärken, so ergibt sich die in Tabelle 18 aufgeführte Zusammenfassung. Bei uneingeschränkter Restnutzungsdauer und ohne den Ansatz von Kompensationsmaßnahmen ist somit für den Richtungsverkehr, durch den hier das Verkehrsaufkommen auf den Bundesfernstraßen abgebildet wird, stets das aktuell gültige Lastmodell des DIN Fachberichtes 101 anzusetzen, um die Einwirkungen aus einem aktuellen Verkehrsaufkommen, das hinsichtlich der Verkehrszusammensetzung und der Gesamtgewichtsverteilungen ähnlich dem an der A 61 ermittelten Verkehrsaufkommens ist, abzudecken.

4.2.4 Ergebnisse für 20 Jahre Restnutzungsdauer ohne Kompensationsmaßnahmen

In Tabelle 19 sind die Lastmodelle aufgeführt, durch die das aktuelle Verkehrsaufkommen ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen, jedoch für eine reduzierte Restnutzungsdauer von 20 Jahren abgedeckt ist. Die Niveaus der Lastmodelle werden hier mit einer Wiederkehrperiode größer 200 Jahre er-

DTSV	Zweifeldsysteme				Dreifeldsysteme	
	2 x 20	2 x 30	2 x 40	2 x 60	3 x 40	3 x 60
500	BK 60	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	LM 1
1000	BK 60/30	BK 60/30	LM 1	LM 1	BK 60/30	LM 1
5000	BK 60/30	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1
10000	BK 60/30	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1

Tab. 19: Identifizierte Lastmodelle zur Abdeckung des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens ohne Kompensationsmaßnahmen für 20 Jahre Restnutzungsdauer

reicht. Es wird ersichtlich, dass im Vergleich zur uneingeschränkten Restnutzungsdauer für einzelne Tragsysteme und Verkehrsstärken das nächstniedrigere Lastmodell angesetzt werden kann. Nach Auflösung der Differenzierung hinsichtlich der Einzelstützweiten und einer Zusammenfassung der Schwerverkehrsstärken ergibt sich aber auch hier wieder die Zusammenfassung nach Tabelle 18. Somit ist also auch für eine reduzierte Restnutzungsdauer ohne weitere Kompensationsmaßnahmen stets das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes 101 anzusetzen, um die Einwirkungen aus dem beschriebenen Verkehrsaufkommen abzudecken.

4.2.5 Ergebnisse für 10 Jahre Restnutzungsdauer ohne Kompensationsmaßnahmen

Unter Berücksichtigung einer weiter reduzierten Restnutzungsdauer von 10 Jahren und einer damit verbundenen Wiederkehrperiode der Lastmodellniveaus größer 100 Jahre ergeben sich in der Zusammenfassung in Tabelle 20 keine Änderungen der identifizierten Lastmodelle im Vergleich zu 20 Jahren Restnutzungsdauer (Tabelle 19). Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen auch bei Berücksichtigung eingeschränkter Restnutzungsdauern für den Richtungsverkehr, der für Bundesfernstraßen angesetzt wird, keine „Erleichterung“ hinsichtlich des anzusetzenden Lastmodells für die Nachrechnung von Brückenbauwerken begründet werden kann.

Die für die Ermittlung dieser Ergebnisse herangezogenen Annahmen stellen eine sehr extreme Verkehrssituation dar. Die Datenbestände zur Beschreibung des Verkehrsaufkommens (Fahrzeugtypenverteilung, Gesamtgewichtsverteilungen) stammen aus Messungen an einem Abschnitt der A 61 der durch eine sehr hohe Verkehrsbelegung, nicht nur bezüglich der Fahrzeuganzahl, gekennzeichnet ist. Des Weiteren wird durch die Modellierung des

DTSV	Zweifeldsysteme				Dreifeldsysteme	
	2 x 20	2 x 30	2 x 40	2 x 60	3 x 40	3 x 60
500	BK 60	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	LM 1
1000	BK 60/30	BK 60/30	LM 1	LM 1	BK 60/30	LM 1
5000	BK 60/30	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1
10000	BK 60/30	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1	LM 1

Tab. 20: Identifizierte Lastmodelle zur Abdeckung des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens ohne Kompensationsmaßnahmen für 10 Jahre Restnutzungsdauer

Stauverkehrs mit einem Stauabstand von 5 m ebenfalls eine sehr extreme Situation dargestellt.

Nachfolgend wird die Vergrößerung des Stauabstandes (Mittelwerte der Gleichverteilungen) als Kompensationsmaßnahme oder objektbezogene Kenngröße interpretiert zur Identifizierung von Lastmodellen herangezogen. Für eine generelle, also nicht objektbezogene Festlegung eines größeren Stauabstandes fehlen entsprechende Datengrundlagen, sodass hier die denkbar ungünstigste Situation abgebildet wurde.

4.2.6 Ergebnisse für eingeschränkte Restnutzungsdauer mit Kompensationsmaßnahmen

In den nachfolgenden Tabellen ist dargestellt, welche der betrachteten Lastmodelle unter zusätzlichem Ansatz der betrachteten Kompensationsmaßnahmen das aktuelle Verkehrsaufkommen für eine begrenzte Restnutzungsdauer abdecken. Als Mittel zwischen den oben aufgeführten 20 Jahren und 10 Jahren wurde hier eine maximale Restnutzungsdauer von 15 Jahren angesetzt. Damit verbunden ist eine Wiederkehrperiode der Lastmodellniveaus größer 150 Jahre. Zur Darstellung der anzusetzenden Kompensationsmaßnahmen werden in den Tabellen folgende Abkürzungen verwendet:

- Abkürzung: A
Abstandsbeschränkung auf 70 m (angesetzt im fließenden Verkehr),
- Abkürzung: B
Lkw-Überholverbot (mit Annahme das 5 % der Lkw-Fahrzeuge verbotswidrig die zweite Spur nutzen),
- Abkürzung: C
Lkw-Überholverbot (mit Annahme, dass durch entsprechende Kontrollmaßnahmen kein Lkw-Fahrzeug die zweite Spur nutzt),
- Abkürzung: SV
Einschränkung des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs ohne Routenbeschränkung oder mit Dauergenehmigung),
- Abkürzung: ST10
Vergrößerung des Stauabstandes auf 10 m im Mittel (5-15 m gleichverteilt),
- Abkürzung: ST15
Vergrößerung des Stauabstandes auf 15 m im Mittel (5-25 m gleichverteilt).

Sind entsprechend den Untersuchungsergebnissen keine der Kompensationsmaßnahmen A bis C erforderlich, so ist an der entsprechenden Stelle in der Tabelle eine 0 eingetragen. Reichen entsprechend den Untersuchungsergebnissen keine der betrachteten Kompensationsmaßnahmen aus, so ist an der entsprechenden Stelle in der Tabelle ein N eingetragen. Besteht entsprechend den Untersuchungsergebnissen die Möglichkeit, entweder die Kompensationsmaßnahme Abstandsbeschränkung A oder die Kompensationsmaßnahme Überholverbot B einzusetzen, so ist an der entsprechenden Stelle in der Tabelle A/B eingetragen. Ist entsprechend den Untersuchungsergebnissen eine Verknüpfung von zwei oder mehr Kompensationsmaßnahmen erforderlich, so ist an der entsprechenden Stelle in der Tabelle z. B. A + B eingetragen.

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse für die Modellierung des Stauverkehrs mit konstant 5 m Stauabstand aufgeführt. Des Weiteren sind hier alle betrachteten Kennwerte zusammengefasst. Wenn sich zum Beispiel für eine konkrete Verkehrsvariante und ein konkretes Tragsystem für das Stützmoment am Mittelaufleger die Kompensationsmaßnahme B ergibt und für die Auflagerkraft am Mittelaufleger die Kompensationsmaßnahme C, so ist in den nachfolgenden Tabellen C eingetragen. Die Basisdaten zur Zusammenstellung dieser und der folgenden Tabellen sind im Anhang B aufgeführt. Die Einschränkung des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs ist in diesen Tabellen zunächst nicht als Kompensationsmaßnahme, sondern als zusätzliche Spalte („m. gen. SV“) enthalten. In der Tabelle wird ersichtlich, dass insbesondere für die Systeme mit den größeren Stützweiten und der geringeren Fahrbahnbreite (Zweifeldsysteme) bei 5 m Stauabstand keine der betrachteten Kompensationsmaßnahmen ausreichend ist, um die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen durch die Lastmodelle BK 60 und BK 60/30 abzudecken (Eintragung „N“ in der Tabelle).

In Tabelle 22 sind die Ergebnisse für die Annahme eines zwischen 5 m und 15 m gleichverteilten zufälligen Stauabstandes aufgeführt. Für die Systeme mit 12 m Breite zwischen den Schrammborden wurden keine erweiterten Untersuchungen hinsichtlich der Änderung des Stauabstandes durchgeführt. Daher sind diese Systeme hier nicht enthalten. Es wird aber in Tabelle 21 ersichtlich, dass

5 m Stau	2 x 20 m						2 x 30 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	A / B	0	0	0	0	A / B	C	0	0	0	0
5000	0	A + B	0	0	0	0	A + B	A + C	B	B	0	0
10000	A / B	N	0	0	0	0	C	A + C	B	B	0	0
5 m Stau	2 x 40 m						2 x 60 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	N	N	0	0	0	0	N	N	N	N	0	0
1000	N	N	B	A + C	0	0	N	N	N	N	0	0
5000	N	N	A + C	N	0	0	N	N	N	N	0	0
10000	N	N	A + C	N	0	0	N	N	N	N	0	0
5 m Stau	3 x 40 m						3 x 60 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	0	0	0	0	0	0	C	N	0	B	0	0
1000	B	B	0	0	0	0	C	N	B	A / B	0	0
5000	C	C	B	B	0	0	N	N	C	C	0	0
10000	C	C	B	B	0	0	N	N	C	N	0	0

Tab. 21: Identifizierte Kombination aus Lastmodellen und zugehörig erforderlichen Kompensationsmaßnahmen für Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit und konstantem Stauabstand von 5 m

die Kompensationsmaßnahmen für diese Systeme „unter“ den Kompensationsmaßnahmen für die Systeme 2 x 40 m bzw. 2 x 60 m (8 m Breite zwischen den Schrammborden) liegen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Auswirkung einer Erhöhung des mittleren Stauabstandes ebenfalls analog zum 2 x 40 m bzw. 2 x 60 m System ist.

Es wird ersichtlich, dass im Vergleich zur Annahme eines konstanten Stauabstandes von 5 m bei der Annahme eines zufälligen Stauabstandes zwischen 5 m und 15 m deutlich weniger bzw. keine zusätzlichen Kompensationsmaßnahmen erforderlich sind, um die Einwirkungen aus dem Verkehrsaufkommen durch die betrachteten Lastmodelle abzudecken. Würde man die hier getroffene Annahme des Stauabstandes nicht als objektbe-

zogene Kennwert bzw. Kompensationsmaßnahme (umgesetzt durch Beschilderungen) annehmen, sondern durch entsprechende Datenerhebungen des Verkehrsaufkommens davon ausgehen können, dass solch ein Abstandsverhalten im Stauverkehr generell gilt, so würden sich die in den vorherigen Kapiteln 4.2.3 bis 4.2.5 vorgestellten Ergebnisse relativieren. Auch ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen (Überholverbote, Abstandsbeschränkungen im fließenden Verkehr) könnte dann, je nach Verkehrsstärke und Tragsystem, das aktuelle Verkehrsaufkommen zumindest durch das Lastmodell BK 60/30 abgedeckt werden. Da solche Datenerhebungen aber aktuell nicht vorliegen, kann hier solch eine generelle Aussage nicht getroffen werden.

In Tabelle 23 sind weiterführend die Ergebnisse für die identifizierten Kombinationen aus Lastmodellen und zugehörigen Kompensationsmaßnahmen unter Annahme eines gleichverteilten Stauabstandes zwischen 5 m und 25 m aufgeführt. Im Vergleich zur

Tabelle 22 wird hier eine weitere Reduzierung der erforderlichen zusätzlichen Kompensationsmaßnahmen ersichtlich. Für alle betrachteten Tragssysteme ist hier durch Einzelanwendung oder Kombination der Kompensationsmaßnahmen Abstands-

5-15 m Stau	2 x 20 m						2 x 30 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	A	0	0	0	0	A / B	B	0	0	0	0
10000	A / B	A + C	0	0	0	0	B	B	0	0	0	0

5-15 m Stau	2 x 40 m						2 x 60 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	0	0	0	0	0	0	0	A + B	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	A + B	A + B	0	0	0	0
5000	A + B	C	A / B	0	0	0	N	N	A + B	B	0	0
10000	A + B	A + B	A / B	A + B	0	0	N	N	C	A + C	0	0

Tab. 22: Identifizierte Kombination aus Lastmodellen und zugehörig erforderlichen Kompensationsmaßnahmen für Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit und gleichverteiltem Stauabstand zwischen 5 m und 15 m

5-25 m Stau	2 x 20 m						2 x 30 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	A	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	A / B	A / B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10000	A / B	A	0	A	0	0	B	A	0	0	0	0

5-25 m Stau	2 x 40 m						2 x 60 m					
	BK 60		BK 60/30		LM 1		BK 60		BK 60/30		LM 1	
	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
DTSV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV	o. gen. SV	m. gen. SV
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	A / B	0	A / B	0	0	B	A + B	0	A / B	0	0
10000	A / B	B	0	A / B	0	0	A + B	A + B	A	A + B	0	0

Tab. 23: Identifizierte Kombination aus Lastmodellen und zugehörig erforderlichen Kompensationsmaßnahmen für Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit und gleichverteiltem Stauabstand zwischen 5 m und 25 m

beschränkung im fließenden Verkehr und Überholverbot (weniger restriktiv, Schwerverkehrsaufteilung 95 zu 5) der Ansatz der Lastmodelle BK 60 und BK 60/30 möglich, um die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen abzudecken.

Die in den Tabellen 21 bis 23 aufgeführten Ergebnisse sind sehr stark differenziert. Für die Weiterverarbeitung der Resultate sind eine gewisse Zusammenfassung und Vereinfachung erforderlich. Hierzu werden zunächst die Ergebnisse für die Verkehrsstärken 500 und 1.000 bzw. 5.000 und 10.000 zusammengefasst. Außerdem wird die in den oberen Tabellen noch getrennte Betrachtung des Verkehrs mit genehmigungspflichtigem Schwerverkehr (Dauergenehmigung, ohne Routenbeschränkung) zusammengeführt. In den Fällen, in denen die Varianten mit genehmigungspflichtigem Schwerverkehr „höhere“ Kompensationsmaßnahmen erfordern als die Varianten ohne genehmigungspflichtigen Schwerverkehr, werden in den Tabellen 24 bis 27 die Kompensationsmaßnahmen durch die Abkürzung „+ SV“ ergänzt. In diesen Fällen ist also zusätzlich zu den Kompensationsmaßnahmen A bis C auch die Einschränkung des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs als ergänzende Kompensationsmaßnahme erforderlich. In den Tabellen 24 bis 26 sind die Ergebnisse dieser Zusammenfassung aufgeführt.

Für den nächsten Schritt der Zusammenfassung wird davon ausgegangen, dass entweder durch eine entsprechende Beschilderung und zugehörige Kontrollmaßnahmen der Stauabstand vergrößert werden kann oder erweiterte Kenntnisse der objektbezogenen Verkehrssituation die Annahme eines größeren Stauabstandes als konstant 5 m rechtfertigen. Unter dieser Voraussetzung wird in Tabelle 27 die Regulierung des Stauabstandes als zusätzliche Maßnahme eingeführt. In den in Tabelle 24 aufgeführten Fällen, in denen keine der übrigen Kompensationsmaßnahmen ausreichend ist (Zellen sind mit „N“ beschriftet), wird die zugehörige Kompensationsmaßnahme aus Tabelle 25 bzw. Tabelle 26 übernommen und zusätzlich durch „ST10“ bzw. „ST15“ gekennzeichnet. Für die betrachteten Systeme mit 12 m Breite zwischen den Schrammborden liegen keine Ergebnisse für die erweiterte Staubetrachtung vor. Für den Fall des 3 x 60 m Systems und einer Verkehrsstärke > 1.000 ergibt sich aus den Untersuchungen unter Verwendung eines konstanten Stauabstandes von 5 m keine Kompensationsmaßnahme, unter der das Niveau des Lastmodells BK 60 die Einwirkung aus

dem Verkehrsaufkommen abdeckt. Der Vergleich mit den Ergebnissen für das 2 x 60 m System mit 8 m Breite zwischen den Schrammborden zeigt hier aber deutlich „niedrigere“ Kompensationsmaßnah-

5 m	2 x 20 m			2 x 30 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	0 + SV	0	0	A / B + SV	0	0
> 1000	A / B + SV	0	0	C + SV	B	0

5 m	2 x 40 m			2 x 60 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	N	B + SV	0	N	N	0
> 1000	N	A + C + SV	0	N	N	0

5 m	3 x 40 m			3x 60 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	B	0	0	C + SV	B	0
> 1000	C	B	0	N	C + SV	0

Tab. 24: Ergebniszusammenfassung für konstanten Stauabstand von 5 m

5-15 m	2 x 20 m			2 x 30 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	0	0	0	0	0	0
> 1000	A / B + SV	0	0	B	0	0

5-15 m	2 x 40 m			2 x 60 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	0	0	0	A + B	0	0
> 1000	A + B + SV	A / B + SV	0	N	C + SV	0

Tab. 25: Ergebniszusammenfassung für gleichverteilten Stauabstand zwischen 5 m und 15 m

5-25 m	2 x 20 m			2 x 30 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	A	0	0	0	0	0
> 1000	A / B + SV	0 + SV	0	B + SV	0	0

5-25 m	2 x 40 m			2 x 60 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	0	0	0	0	0	0
> 1000	A / B + SV	0 + SV	0	A + B	A + SV	0

Tab. 26: Ergebniszusammenfassung für gleichverteilten Stauabstand zwischen 5 m und 25 m

	2 x 20 m			2 x 30 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	0 + SV	0	0	A / B + SV	0	0
> 1000	A / B + SV	0	0	C + SV	B	0

	2 x 40 m			2 x 60 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	0 + ST10	B + SV	0	A + B + ST10	0 + ST10	0
> 1000	A + B + SV + ST10	A + C + SV	0	A + B + ST15	C + SV + ST10	0

	3 x 40 m			3x 60 m		
DTSV	BK 60	BK 60/30	LM 1	BK 60	BK 60/30	LM 1
< 1000	B	0	0	C + SV	B	0
> 1000	C	B	0	(A + B + ST10)**	C + SV	0

Tab. 27: Ergebniszusammenfassung

men. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass eine entsprechende Regulierung des Stauabstandes für das 3 x 60 m System gleichfalls wirkungsvoll ist. Es wird daher angenommen, dass für dieses System die Kompensationsmaßnahme A + B + ST10 ausreichend ist. In Tabelle 27 ist dies durch „***“ gekennzeichnet.

4.3 Untersuchungsschwerpunkt Begegnungsverkehr

4.3.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die für den Untersuchungsschwerpunkt Begegnungsverkehr ermittelten Ergebnisse dargestellt. Der Begegnungsverkehr (zwei Fahrspuren, eine Spur pro Verkehrsrichtung) stellt das Verkehrsaufkommen im untergeordneten Straßennetz (Landstraßen, Kreisstraßen usw.) dar. Im Vergleich zu den in Kapitel 4.2 zusammengefassten Ergebnissen für den Begegnungsverkehr, der das Verkehrsaufkommen im Bundesfernstraßennetz abbildet, wird hier entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 3 zusätzlich zur Variation der Verkehrsstärke (DTSV-Wert) eine Variation der Verkehrszusammensetzung (Häufigkeit verschiedener Fahrzeugtypen im Schwerverkehr) und der Gesamtgewichtsverteilung der einzelnen Fahrzeugtypen vorgenommen. Die Annahmen für die Verkehrszusammensetzung wurden dabei analog zu den Zahlenwerten des Lastmodells 4 für Ermüdungsberechnungen der DIN EN 1991-2 gewählt. Hierin wird zwischen drei verschiedenen Verkehrscharakteristiken unterschieden (Langstreckenverkehr, Mittelstreckenverkehr, Ortsverkehr). Jeder Verkehrscharakteristik wurden Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeuge zugeordnet. Basis dieser Gesamtgewichtsverteilungen sind dabei Daten von Verkehrsmessungen an verschiedenen Autobahnabschnitten. Die Projizierung dieser Messdaten an Autobahnen auf die Betrachtung des untergeordneten Straßennetzes stellt dabei eine Annahme dar, da abgesehen von Daten aus automatisierten Dauerzählstellen für dieses Netz gegenwärtig keine detaillierten Datenbestände (Erfassung Gesamtgewicht, differenzierte Fahrzeugtypenerfassung) vorliegen.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen für das Bundesfernstraßennetz (Richtungsverkehr) werden hier keine zusätzlichen Kompensationsmaßnahmen betrachtet. Eine Abstandsbeschränkung im fließenden Verkehr hat, wie die Ergebnisse in [2] aufzeigen, für den Begegnungsverkehr eine sehr

begrenzte Auswirkung und wird deshalb nachfolgend nicht weiter betrachtet. Entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 3 wird der genehmigungspflichtige Schwerverkehr mit Dauergenehmigung oder ohne Routenbeschränkung ebenfalls nicht betrachtet. Des Weiteren kann ein Überholverbot in der Form, wie es für den Richtungsverkehr berücksichtigt wurde, im Begegnungsverkehr nicht angesetzt werden, da pro Fahrtrichtung nur eine Fahrspur genutzt wird. Überholvorgänge können bei entsprechender Streckenfreiheit der Gegenrichtung zwar trotzdem stattfinden, solche Verkehrssituationen wurden aber generell nicht betrachtet.

Für das Abstandsverhalten der Fahrzeuge im Stauverkehr wurde ein zwischen 5 m und 25 m gleichverteilter Stauabstand angesetzt. Da in den durchgeführten Simulationsrechnungen in diesem Untersuchungsschwerpunkt auf die aktive Simulation von Pkw verzichtet wurde, sind die Stauabstände damit die Abstände zwischen den Schwerverkehrsfahrzeugen. Erläuterungen hierzu sind in Kapitel 3 gegeben.

Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse stellen eine tabellarische Zusammenfassung hinsichtlich der aufgezeigten Fragestellung dar. In Anhang C sind die hierfür herangezogenen Ergebnistabellen aufgeführt. Erläuterungen zum Aufbau dieser Tabellen sind zu Beginn des Anhangs C gegeben. Im Gegensatz zum Richtungsverkehr wurde für die Zusammenstellung der Tabellen im Anhang C auch der fließende Verkehr berücksichtigt. Die Eintragungen in den Tabellen stellen damit jeweils den Maximalwert zwischen fließendem Verkehr und Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit dar. Durch den größeren angewendeten Betrachtungszeitraum in diesem Untersuchungsschwerpunkt (vgl. Kapitel 3.6) traten hier die in Kapitel 4.2 beschriebenen unplausiblen Ergebnisse für den fließenden Verkehr bei Tragsystemen mit kürzeren Einzelstützweiten nicht auf. In den Fällen, in denen die ermittelten Werte aus fließendem Verkehr größer waren als diejenigen aus Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit, war der Werteabstand zueinander im Allgemeinen gering. In der Gesamtbetrachtung würde eine isolierte Betrachtung des Verkehrs mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit, wie es in Kapitel 4.2 vorgenommen wurde, hier zu keinen anderen Ergebnissen führen.

Das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes 101 ist in den Tabellen im Anhang C nicht aufgeführt, wird aber in den nachfolgenden Zusammenfassungen

verwendet. Hintergrund hierzu ist, dass Überschreitungen des Niveaus des Lastmodells 1 durch die ermittelten charakteristischen Werte nur in einem isolierten Fall vorgekommen sind. Die Größenordnung der Überschreitung lag hier bei unter 1 %. Es wird daher für die nachfolgenden Ergebnisse davon ausgegangen, dass durch das Lastmodell 1 stets die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen abgedeckt sind, ohne dass hierzu im Anhang C die konkreten Zahlenwerte aufgeführt sind.

4.3.2 Ergebnisse für uneingeschränkte Restnutzungsdauer

In Tabelle 28 sind, differenziert nach Verkehrsstärke (DTSV-Wert) und Verkehrscharakteristik, die Lastmodelle aufgeführt, durch die das aktuelle Verkehrsaufkommen für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer abgedeckt ist. Aus den Tabellen im Anhang C wurde hierzu für alle betrachteten Kennwerte und jede betrachtete Verkehrscharakteristik (Modelle A 61, LS, MS, OV – vgl. Kapitel 3.2.2) das Lastmodell bestimmt, dessen Niveau mit einer Wiederkehrperiode größer 1.000 Jahre erreicht wird. In Tabelle 28 sind dabei die Ergebnisse für die Modelle A 61 und LS zur Abbildung der Verkehrscharakteristik Langstreckenverkehr zusammengefasst, da die Ergebnisse hier untereinander insgesamt wenig variierten. In der Tabelle wird die Differenzierung der Ergebnisse ersichtlich. So ist zum Beispiel für die Verkehrscharakteristik Ortsverkehr und Verkehrsstärken bis zu 1.000 (DTSV) das Lastmodell BK 30/30 ausreichend, um die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen abzudecken. Insgesamt zeigt sich eine Abhängigkeit der Ergebnisse zu allen drei betrachteten Differenzierungsschwerpunkten (Verkehrsaufkommen, Verkehrscharakteristik, Tragsystem).

Analog zum Vorgehen im Untersuchungsschwerpunkt für den Richtungsverkehr ist auch hier eine weitere Zusammenfassung der Ergebnisse in Tabelle 28 sinnvoll. Tabelle 29 gibt diese Zusammenfassung wieder. Die Differenzierung der Tragsysteme wurde hier aufgehoben und die betrachteten Verkehrsstärken zusammengefasst. Für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer ergibt sich somit für das untergeordnete Straßennetz die Möglichkeit einer umfassenden Differenzierung bezüglich des anzusetzenden Lastmodells. Für ein konkretes Bauwerk müssen dabei aber Kenntnisse des objektbezogenen Verkehrsaufkommens vorliegen, um dieses Verkehrsaufkommen den betrachteten Verkehrscharakteristiken zuordnen zu können.

Automatische Dauerzählstellen im Straßennetz ermöglichen, je nach technischer Ausstattung der Zählstellen, neben der Erfassung der Fahrzeuganzahl pro Zeiteinheit auch eine Klassierung der Fahrzeuge in 8 + 1 Fahrzeugarten. Diese Fahrzeugarten beinhalten unter anderem Lkw, Lkw mit Anhänger und Sattelkraftfahrzeuge. Liegen diese Angaben vor, so sollten sie mit den im Lastmodell 4 für Ermüdungsberechnungen der DIN EN 1991-2 aufgeführten Zahlenwerte verglichen werden, um eine Einordnung der objektbezogenen Verkehrszusammensetzung zu den in Tabelle 33 aufgeführten Ver-

DTSV	A61/LS	MS	OV
< 1000	BK 60/30	BK 60	BK30/30
> 1000	LM 1	BK 60/30	BK 60
< 10000			

Tab. 29: Ergebniszusammenfassung – uneingeschränkte Restnutzungsdauer

DTSV	2 x 20			2 x 30			2 x 40			2 x 60		
	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV
500	BK 60	BK 60	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30
1000	BK 60	BK 60	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60/30	BK 30/30	BK 30/30
5000	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 60/30	BK 60	BK 60	LM 1	BK 60	BK 30/30	LM 1	BK 60	BK 30/30
10000	LM 1	BK 60/30	BK 60	LM 1	BK 60	BK 60	LM 1	BK 60	BK 30/30	LM 1	BK 60/30	BK 30/30

Tab. 28: Identifizierte Lastmodelle zur Abdeckung des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens im untergeordneten Straßennetz für uneingeschränkte Restnutzungsdauer

kehrskarakteristiken zu erhalten. Zusammen mit Angaben zum Schwerverkehrsaufkommen ist damit die Auswahl des geeigneten Lastmodells aus Tabelle 29 möglich. Wie zuvor bereits angemerkt, wurden alle aufgeführten Berechnungen für die Längsrichtung der Tragsysteme durchgeführt. Für die Querrichtung wird auf die in Kapitel 4.4 gegebenen Erläuterungen verwiesen.

4.3.3 Ergebnisse für 20 Jahre Restnutzungsdauer

Analog zum Vorgehen in Kapitel 4.2 erfolgt eine weiterführende Betrachtung hinsichtlich einer reduzierten Restnutzungsdauer. In Tabelle 31 sind dementsprechend die Lastmodelle aufgeführt, die die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen im untergeordneten Straßennetz für eine Restnutzungsdauer von maximal 20 Jahren abdecken. Aus den Tabellen im Anhang C wurden hierfür die Lastmodelle ausgewählt, deren Niveaus mit einer Wiederkehrperiode von mindesten 200 Jahren erreicht werden. Vergleicht man die Ergebnisse in Tabelle 31 mit denen in Tabelle 28, so zeigt sich an vielen Punkten eine „Reduzierung“ des anzusetzenden Lastmodells.

DTSV	A61/LS	MS	OV
< 1000	BK 60	BK 45	BK30/30
> 1000	LM 1	BK 60	BK 60
< 10000			

Tab. 30: Ergebniszusammenfassung – 20 Jahre Restnutzungsdauer

In Tabelle 30 ist die Zusammenfassung der in Tabelle 31 aufgeführten Ergebnisse dargestellt. Im Vergleich zu Tabelle 29 zeigt sich, dass unter Annahme einer eingeschränkten Restnutzungsdauer von maximal 20 Jahren das in Tabelle 29 aufgeführte Lastmodell BK 60/30 hier durch das Lastmodell BK 60 ersetzt werden kann. Das bei uneingeschränkter Restnutzungsdauer für den Mittelstreckenverkehr und Schwerverkehrsstärken kleiner 1.000 anzusetzende Lastmodell BK 60 kann hier durch das Lastmodell BK 45 ersetzt werden. Im Gegensatz zum Richtungsverkehr hat also im Begegnungsverkehr die Reduzierung der Restnutzungsdauer auf die Endergebnisse einen deutlichen Einfluss.

4.3.4 Ergebnisse für 10 Jahre Restnutzungsdauer

Für die Annahme einer maximalen Restnutzungsdauer von 10 Jahren sind in Tabelle 32 die identifizierten Lastmodelle aufgeführt. Die Niveaus der Lastmodelle werden entsprechend mit einer Wiederkehrperiode von mindesten 100 Jahren erreicht. Der Vergleich zu Tabelle 31 zeigt an einigen wenigen Punkten eine weitere Reduzierung des anzusetzenden Lastmodells. Diese Unterschiede sind aber im Vergleich zum Übergang zwischen uneingeschränkter Restnutzungsdauer (100 Jahre) und maximal 20 Jahren Restnutzungsdauer deutlich geringer ausgeprägt. Hintergrund hierzu ist die Tatsache, dass in den ermittelten Ergebnissen der Unterschied zwischen einem Wert mit 200 Jahren Wiederkehrperiode (20 Jahre Restnutzung) und 100 Jahren Wiederkehrperiode (10 Jahre Restnutzung) sehr gering ist, die Abstände der Niveaus der verschiedenen betrachteten Lastmodelle zueinander jedoch im Vergleich dazu recht groß sind. Aufgründdessen lässt sich hier durch die Abminderung der Restnutzungsdauer und

DTSV	2 x 20			2 x 30			2 x 40			2 x 60		
	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV
500	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 45	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 45	BK 30/30	BK 30/30
1000	BK 60	BK 45	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30
5000	LM 1	BK 60	BK 60	BK 60/30	BK 45	BK 45	BK 60/30	BK 45	BK 30/30	LM 1	BK 60	BK 30/30
10000	LM 1	BK 60	BK 60	LM 1	BK 60	BK 60	LM 1	BK 60	BK 30/30	LM 1	BK 60	BK 30/30

Tab. 31: Identifizierte Lastmodelle zur Abdeckung des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens im untergeordneten Straßennetz für 20 Jahre Restnutzungsdauer

DTSV	2 x 20			2 x 30			2 x 40			2 x 60		
	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV	A61/LS	MS	OV
500	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 45	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30	BK 30/30
1000	BK 60	BK 45	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30
5000	BK 60/30	BK 60	BK 60	BK 60/30	BK 45	BK 30/30	BK 60/30	BK 30/30	BK 30/30	LM 1	BK 30/30	BK 30/30
10000	LM 1	BK 60	BK 45	BK 60/30	BK 60	BK 45	BK 60/30	BK 45	BK 30/30	LM 1	BK 60	BK 30/30

Tab. 32: Identifizierte Lastmodelle zur Abdeckung des aktuellen Schwerverkehrsaufkommens im untergeordneten Straßennetz für 10 Jahre Restnutzungsdauer

der damit korrespondierenden minimalen Wiederkehrperiode im Allgemeinen der Ansatz eines niedrigeren Lastmodells nicht begründen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse in Tabelle 32 führt zu den in Tabelle 30 dargestellten Ergebnissen. Auf eine zusätzliche Darstellung wurde daher verzichtet.

4.4 Analytische Betrachtungen zu Gesamtgewichten und Achslasten

4.4.1 Allgemeines

In den bisher dargestellten Untersuchungen wurden Lastmodelle identifiziert, die die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen abdecken. Hierbei sind die Ergebnisse differenziert für die Streckenart (Bundesfernstraßen, untergeordnetes Netz), das Verkehrsaufkommen (DTSV-Werte), die Verkehrscharakteristik (Langstrecken-, Mittelstrecken- und Ortsverkehr), zusätzliche Kompensationsmaßnahmen (Überholverbot, Abstandsbeschränkung) und eingeschränkte Restnutzungsdauern. Die Kennwerte, anhand derer die entsprechenden Berechnungen durchgeführt wurden, beziehen sich auf die Längsrichtung der Tragsysteme. Für die Betrachtung der Querrichtung (z. B. Feldmoment in der Fahrbahnplatte eines Hohlkastenquerschnittes) ist eine weiterführende Untersuchung erforderlich. Schwerpunkt dieser nachfolgend dargestellten Untersuchungen ist dabei die Klärung folgender Fragen:

- Wie hoch ist das maximale Gesamtgewicht eines einzelnen Fahrzeuges (innerhalb einer definierten Wiederkehrperiode)?
- Wie hoch ist die maximale Achslast einer einzelnen Fahrzeugachse (innerhalb einer definierten Wiederkehrperiode)?

- Wie hoch ist die maximale Summe der Gesamtgewichte zweier nebeneinander stehender Fahrzeuge (innerhalb einer definierten Wiederkehrperiode)?
- Wie hoch ist die maximale Summe der Achslasten zweier nebeneinander stehender einzelner Fahrzeugachsen (innerhalb einer definierten Wiederkehrperiode)?

Die Fragestellungen werden nachfolgend bearbeitet. Ähnliche Untersuchungen wurden bereits in [1] durchgeführt, nachfolgend werden die dort enthaltenen Betrachtungen aber erweitert und verallgemeinert. Die Untersuchungen erfolgen vordergründig analytisch anhand der in Kapitel 3.2 aufgeführten Datenbasis zur Beschreibung des Schwerverkehrsaufkommens. Die Differenzierung zwischen den verschiedenen Verkehrscharakteristiken wird hierbei ebenso beibehalten wie die Unterscheidung zwischen Richtungsverkehr und Begegnungsverkehr. Für eine analytische Betrachtung ist zunächst eine funktionelle Beschreibung erforderlich. In Kapitel 3.2 wurden Parameter für die Gesamtgewichtsverteilungen der verschiedenen betrachteten Fahrzeugtypen aufgeführt. Außerdem wurden Zahlenwerte für die Anteile dieser Fahrzeugtypen am gesamten Schwerverkehrsaufkommen bzw. in den Betrachtungen des Richtungsverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen angegeben. Angaben zur Verteilung der Gesamtgewichte auf die einzelnen Achsen der verschiedenen betrachteten Fahrzeugtypen liegen ebenfalls vor. Diese Daten werden für die Erstellung der funktionellen Beschreibungen verwendet.

In den Kapiteln 4.4.2 und 4.4.3 werden zunächst die funktionellen Beschreibungen der Gesamtgewichtsverteilungen für Einzelfahrzeuge und Achslastverteilungen für Einzelachsen hergeleitet und

dargestellt. Diese bilden die Grundlage zur Klärung der ersten beiden Fragestellungen.

In den Kapiteln 4.4.4 und 4.4.5 werden dann die Verteilungen der Summe der Gesamtgewichte von zwei nebeneinander stehenden Fahrzeugen und die Verteilungen der Summe der Achslasten zweier nebeneinander stehender Fahrzeugachsen hergeleitet. Diese bilden die Grundlage zur Klärung der weiteren Fragestellungen.

In Kapitel 4.4.6 werden dann die gesuchten Werte unter Berücksichtigung der aufgeführten Differenzierungen aus den in den Kapiteln 4.4.2 bis 4.4.5 ermittelten Verteilungen abgeleitet.

4.4.2 Gesamtgewichtsverteilungen – Einzelfahrzeuge

Die Gesamtgewichtsverteilungen der einzelnen Fahrzeuge werden zu einer Gesamtverteilung zusammengefasst. Es wird hiermit also nicht mehr die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Gesamtgewichte eines bestimmten Fahrzeugtyps beschrieben, sondern generell die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Gesamtgewichte. Die Dichtefunktion dieser Gesamtverteilung des Gesamtgewichtes x ($GGD(x)$) ergibt sich aus den Parametern der einzelnen Gesamtgewichtsverteilungen der Fahrzeuge nach nachfolgender Gleichung 4.2. Diese Gleichung lässt sich zu Gleichung 4.3 ($GGD_2(x)$) zusammenfassen.

$$GGD(x) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \sum_{j=1}^m \xi_{i,j} \cdot \frac{1}{\sigma_{i,j}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{i,j}}{\sigma_{i,j}}\right) \quad (4.2)$$

mit:

- n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen
- m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
- α_i Anteil des Fahrzeugtyps i am gesamten Schwerverkehrsaufkommen
- $\xi_{i,j}$ Anteil der Normalverteilung j an der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i
- $\mu_{i,j}/\sigma_{i,j}$ Erwartungswert/Standardabweichung der Normalverteilung j innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i
- $\varphi()$ Dichtefunktion der Standardnormalverteilung

$$GGD_2(x) = \sum_{k=1}^{n \cdot m} \xi_k \cdot \frac{1}{\sigma_k} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_k}{\sigma_k}\right) \quad (4.3)$$

mit:

- n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen
- m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
- ξ_k Anteil der Normalverteilung k an der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge (aus α_i und $\xi_{i,j}$ in GL 4.2 mit $n = 5$ und $m = 3$):
 - $\xi_{k=1} = \alpha_{i=1} \cdot \xi_{i=1, j=1}$
 - $\xi_{k=2} = \alpha_{i=1} \cdot \xi_{i=1, j=2}$
 - $\xi_{k=3} = \alpha_{i=1} \cdot \xi_{i=1, j=3}$
 - $\xi_{k=4} = \alpha_{i=2} \cdot \xi_{i=2, j=1}$
 - ...
 - $\xi_{k=15} = \alpha_{i=5} \cdot \xi_{i=5, j=3}$
- μ_k/σ_k Erwartungswert/Standardabweichung der Normalverteilung k innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge (aus $\mu_{i,j}/\sigma_{i,j}$ in GL 4.2 mit $n = 5$ und $m = 3$):
 - $\mu_{k=1} = \mu_{i=1, j=1}$
 - $\mu_{k=2} = \mu_{i=1, j=2}$
 - $\mu_{k=3} = \mu_{i=1, j=3}$
 - $\mu_{k=4} = \mu_{i=2, j=1}$
 - ...
 - $\mu_{k=15} = \mu_{i=5, j=3}$
 - $\sigma_{k=1} = \sigma_{i=1, j=1}$
 - $\sigma_{k=2} = \sigma_{i=1, j=2}$
 - $\sigma_{k=3} = \sigma_{i=1, j=3}$
 - $\sigma_{k=4} = \sigma_{i=2, j=1}$
 - ...
 - $\sigma_{k=15} = \sigma_{i=5, j=3}$
- $\varphi()$ Dichtefunktion der Standardnormalverteilung

Aus der allgemeinen Formulierung der Dichtefunktion der Gesamtgewichtsverteilung in Gl. 4.3 ergeben sich unter Anwendung der in Kapitel 3.2 aufgeführten Parameter die in Bild 17a bis Bild 17f dargestellten Funktionsverläufe. Die Diagramme in den Bildern 17a bis 17d sind die Verläufe der Dichtefunktionen der Gesamtgewichte für die Modelle zur Abbildung verschiedener Verkehrscharakteristiken (vgl. Kapitel 3.2.2), die sich hinsichtlich der angenommenen Fahrzeugtypenzusammensetzung und der Gesamtgewichtsverteilungen der einzelnen Fahrzeugtypen unterscheiden. In den Bildern 17e und 17f sind die Gesamtgewichtsverteilungen für die zweite Fahrspur im Untersuchungsschwerpunkt Richtungsverkehr gegeben. Bild 17e stellt die Dichtefunktion dar, die sich ohne Berücksichtigung eines Überholverbotes ergibt (20 % der Schwerverkehrsfahrzeuge nutzen die Spur, 80 % der Fahrzeuge auf der Spur sind Pkw). Die Dichtefunktion in Bild 17f entspricht analog dazu der Situation mit dem weniger restriktiven

Überholverbot (5 % der Schwerverkehrsfahrzeuge nutzen verbotswidrig die Spur, 94,117 % der Fahrzeuge auf der Spur sind Pkw). Erläuterungen hierzu sind in Kapitel 3.2 gegeben. Die Situation mit einem kompletten Überholverbot (keine Schwerverkehrsfahrzeuge nutzen die Spur) wird nachfolgend nicht weiter betrachtet. Für die Pkw wird ein konstantes Gesamtgewicht von 10 kN (1 t) angenommen. Dieser Sachverhalt ist in einer Dichtefunktion nicht darstellbar, da der Ordinatenwert für $x = 10$ unendlich sein müsste. Vergleicht man die Bilder 17e und 17f mit dem Bild 17a, so wird ersichtlich, dass zwar der prinzipielle Funktionsverlauf identisch ist, die Werte an der Ordinatenachse allerdings unterschiedlich sind. Ursache hierfür ist der Anteil an Pkw. In Bild 18a und 18b sind zur weiteren Erläuterung die zu Bild 17e bzw. 17f zugehörigen Verteilungsfunktionen dargestellt. Der Sprung in den Funktionen bei $x = 10$ kN wird deutlich, die Sprunghöhe entspricht dem angesetzten Anteil von Pkw (80 % bzw. 94,117 %).

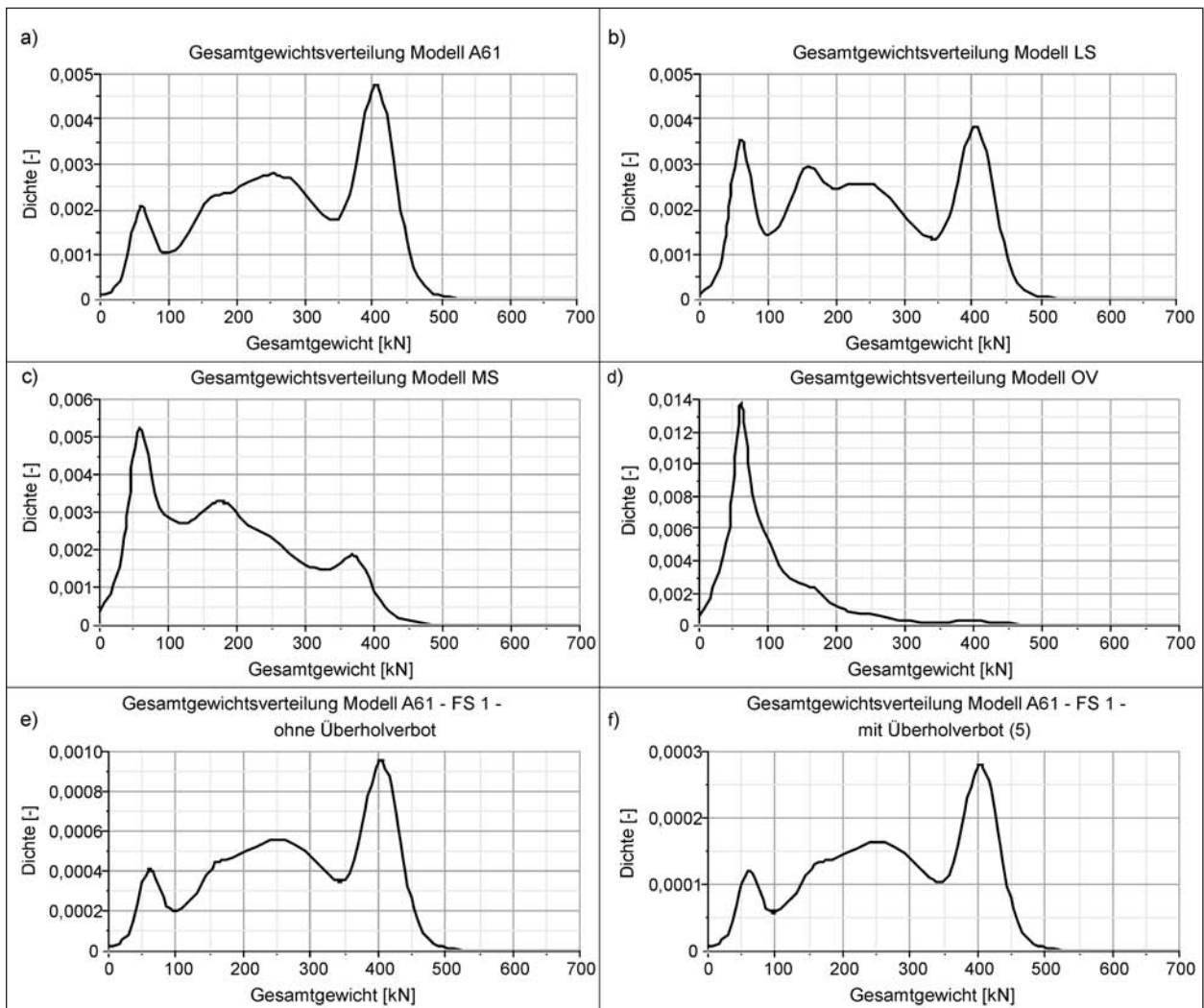


Bild 17: Dichtefunktion der Gesamtgewichte aller Fahrzeuge – Modelle A 61 (a), LS (b), MS (c), OV (d), A 61 – FS 1 oÜV (e), A 61 – FS 1 mÜV5 (f)

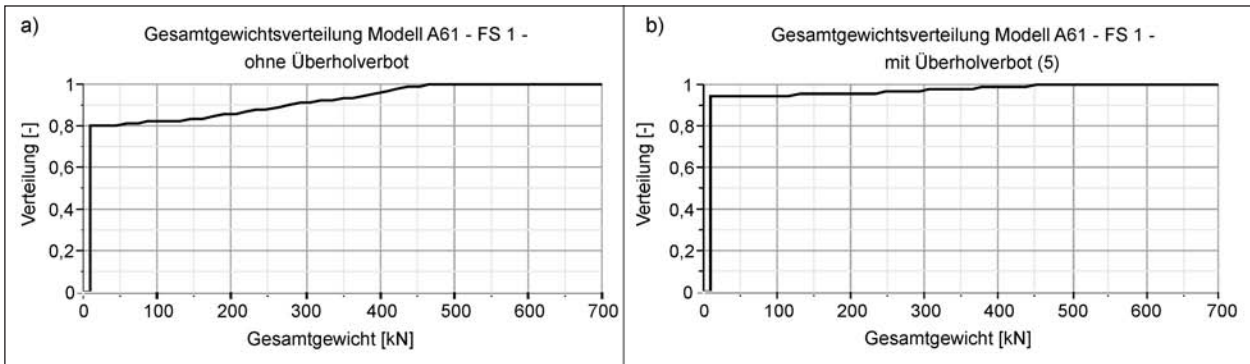


Bild 18: Verteilungsfunktion der Gesamtgewichte aller Fahrzeuge – Modelle A 61 – FS1 oÜV (a), A 61 – FS1 mÜV5 (b)

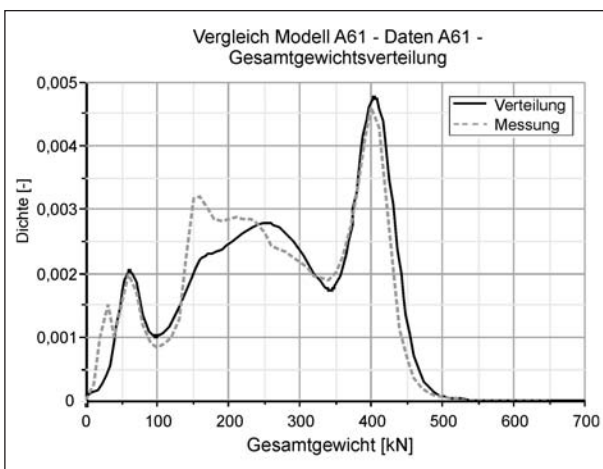


Bild 19: Vergleich der Dichtefunktion aus Modell A 61 mit tatsächlichen Messdaten (Gesamtgewicht)

Für die Modellierung des Schwerverkehrsaufkommens werden generell nur einige ausgewählte, anhand der Messdaten als häufig vorkommend identifizierte Fahrzeugtypen herangezogen. Des Weiteren stellen die über die Verteilungsparameter definierten Gesamtgewichtsverteilungen eine Annäherung an die tatsächlich erfassten Verteilungen dar. In Bild 18 ist hierzu ein Vergleich zwischen der Gesamtgewichtsverteilung des Modells A 61 (vgl. Bild 17a) und einer aus den vorliegenden Messdaten ermittelten Gesamtgewichtsverteilung (Messzeitraum Februar 2005) dargestellt. Im Allgemeinen liegen die beiden Verteilungen recht nahe zueinander. Insbesondere bei den sehr kleinen Gesamtgewichten und im mittleren Gesamtgewichtsbereich zeigen sich Abweichungen, die einerseits durch die Reduzierung der betrachteten Fahrzeugtypen und andererseits durch gewisse Abweichungen bei den Anpassungen der ermittelten Gesamtgewichtsverteilungen durch die multimodalen Normalverteilungen hervorgerufen werden.

4.4.3 Achslastverteilungen – Einzelachsen

Analog zum Vorgehen für die Gesamtgewichtsverteilung ergibt sich nach Gleichung 4.4 die Verteilungsfunktion der Achslast ($ALD(x)$). Die Gleichung 4.2 wird hierin um den Parameter für die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die einzelnen Achsen eines Fahrzeugtyps erweitert ($b_{i,k}$). Gleichung 4.5 ($ALD_2(x)$) stellt eine Zusammenfassung von Gleichung 4.4 dar.

Voraussetzung für Formulierung dieser Funktionen ist die Annahme, dass die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die Achsen über den kompletten Gesamtgewichtsbereich konstant ist. Diese Annahme wird auch in den Simulationsrechnungen vorausgesetzt. Abweichungen von dieser Annahme sind für die Untersuchungen der Tragwerkslängsrichtung mit zunehmender Einzelstützweitenlänge der Systeme von untergeordneter Bedeutung. Für die Betrachtung der einzelnen Achslasten kann sich hier aber ein Einfluss ergeben. Eine weitere Voraussetzung zur funktionellen Definition einer Verteilung der Achslasten ist die statistische Unabhängigkeit untereinander. Auch hier ist es offensichtlich, dass diese Voraussetzung nicht durchgehend gegeben sein kann, da die einzelnen Achslasten eines Fahrzeuges eine gewisse Korrelation zueinander aufweisen werden. Zunächst wird aber dennoch mit den dargestellten Annahmen fortgefahren, ein Schwerpunkt für eine weiterführende Untersuchung ist aber hier durchaus gegeben.

$$ALD(x) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \sum_{k=1}^o \sum_{j=1}^m \xi_{i,j} \cdot b_{i,k} \cdot \frac{1}{\sigma_{i,j} \cdot b_{i,k}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{i,j} \cdot b_{i,k}}{\sigma_{i,j} \cdot b_{i,k}}\right) \quad (4.4)$$

mit:		μ_z/σ_z	Erwartungswert/Standardabweichung der Normalverteilung z innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge
n	Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen		
m	Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge		(aus $\mu_{i,j}/\sigma_{i,j}$ und $b_{i,k}$ in GL 4.2 mit $n = 5$ und $m = 3$):
o	Maximale Anzahl der Einzelachsen der Fahrzeuge	$\mu_{z=1} = \mu_{i=1,j=1} \cdot b_{i=1,k=1}$	
α_i	Anteil des Fahrzeugtyps i am gesamten Schwerverkehrsaufkommen	$\mu_{z=2} = \mu_{i=1,j=2} \cdot b_{i=1,k=1}$	
$b_{i,k}$	Anteil der Achslast k des Fahrzeugtyps i am Gesamtgewicht	$\mu_{z=3} = \mu_{i=1,j=3} \cdot b_{i=1,k=1}$	
$\xi_{i,j}$	Anteil der Normalverteilung j an der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i	$\mu_{z=4} = \mu_{i=1,j=1} \cdot b_{i=1,k=2}$	
$\mu_{i,j}/\sigma_{i,j}$	Erwartungswert/Standardabweichung der Normalverteilung j innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i	...	
$\varphi()$	Dichtefunktion der Standardnormalverteilung	$\mu_{z=15} = \mu_{i=1,j=3} \cdot b_{i=1,k=5}$	
		$\mu_{z=16} = \mu_{i=2,j=1} \cdot b_{i=2,k=1}$	
		...	
		$\mu_{z=75} = \mu_{i=5,j=3} \cdot b_{i=1,k=5}$	
		$\sigma_{z=1} = \sigma_{i=1,j=1} \cdot b_{i=1,k=1}$	
		$\sigma_{z=2} = \sigma_{i=1,j=2} \cdot b_{i=1,k=1}$	
		$\sigma_{z=3} = \sigma_{i=1,j=3} \cdot b_{i=1,k=1}$	
		$\sigma_{z=4} = \sigma_{i=1,j=1} \cdot b_{i=1,k=2}$	
		...	
		$\sigma_{z=15} = \sigma_{i=1,j=3} \cdot b_{i=1,k=5}$	
		$\sigma_{z=16} = \sigma_{i=2,j=1} \cdot b_{i=2,k=1}$	
		...	
		$\sigma_{z=75} = \sigma_{i=5,j=3} \cdot b_{i=1,k=5}$	
		$\varphi()$	Dichtefunktion der Standardnormalverteilung
			Analog zur Betrachtung der Gesamtgewichtsverteilungen in Kapitel 4.4.2 ergeben sich unter Anwendung der gegebenen Parameter aus der allgemeinen Formulierung der Dichtefunktion in Gl. 4.5 die in den nachfolgenden Bildern 20a bis 20f dargestellten Funktionsverläufe. Wie bei den Dichtefunktionen des Gesamtgewichtes für den Fahrstreifen 1 im Richtungsverkehr (Überholfahrstreifen) sind auch in den Dichtefunktionen in den Bildern 20e und 20f die Achslasten der Pkw nicht dargestellt. In den zugehörigen Verteilungsfunktionen in Bild 21a und 21 b werden diese aber im vorhandenen Sprung der Funktion bei $x = 5$ kN ersichtlich.
			Wie oben beschrieben werden in den vorliegenden Untersuchungen Annahmen bezüglich einer konstanten Achslastverteilung und einer statistischen

$$ALD_2(x) = \sum_{z=1}^{n \cdot m \cdot o} \xi_z \cdot \frac{1}{\sigma_z} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_z}{\sigma_z}\right) \quad (4.5)$$

mit:

- n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen
- m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
- o Maximale Anzahl der Einzelachsen der Fahrzeuge
- ξ_z Anteil der Normalverteilung z an der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge (aus α_i , $b_{i,k}$ und $\xi_{i,j}$ in GL 4.4 mit $n = 5$, $m = 3$ und $o = 5$):

$$\xi_{z=1} = \xi_{i=1,j=1} \cdot b_{i=1,k=1} \cdot \alpha_1$$

$$\xi_{z=2} = \xi_{i=1,j=2} \cdot b_{i=1,k=1} \cdot \alpha_1$$

$$\xi_{z=3} = \xi_{i=1,j=3} \cdot b_{i=1,k=1} \cdot \alpha_1$$

$$\xi_{z=4} = \xi_{i=1,j=1} \cdot b_{i=1,k=2} \cdot \alpha_1$$

...

$$\xi_{z=15} = \xi_{i=1,j=3} \cdot b_{i=1,k=5}$$

$$\xi_{z=16} = \xi_{i=2,j=1} \cdot b_{i=2,k=1} \cdot \alpha_2$$

...

$$\xi_{z=75} = \xi_{i=5,j=3} \cdot b_{i=1,k=5} \cdot \alpha_5$$

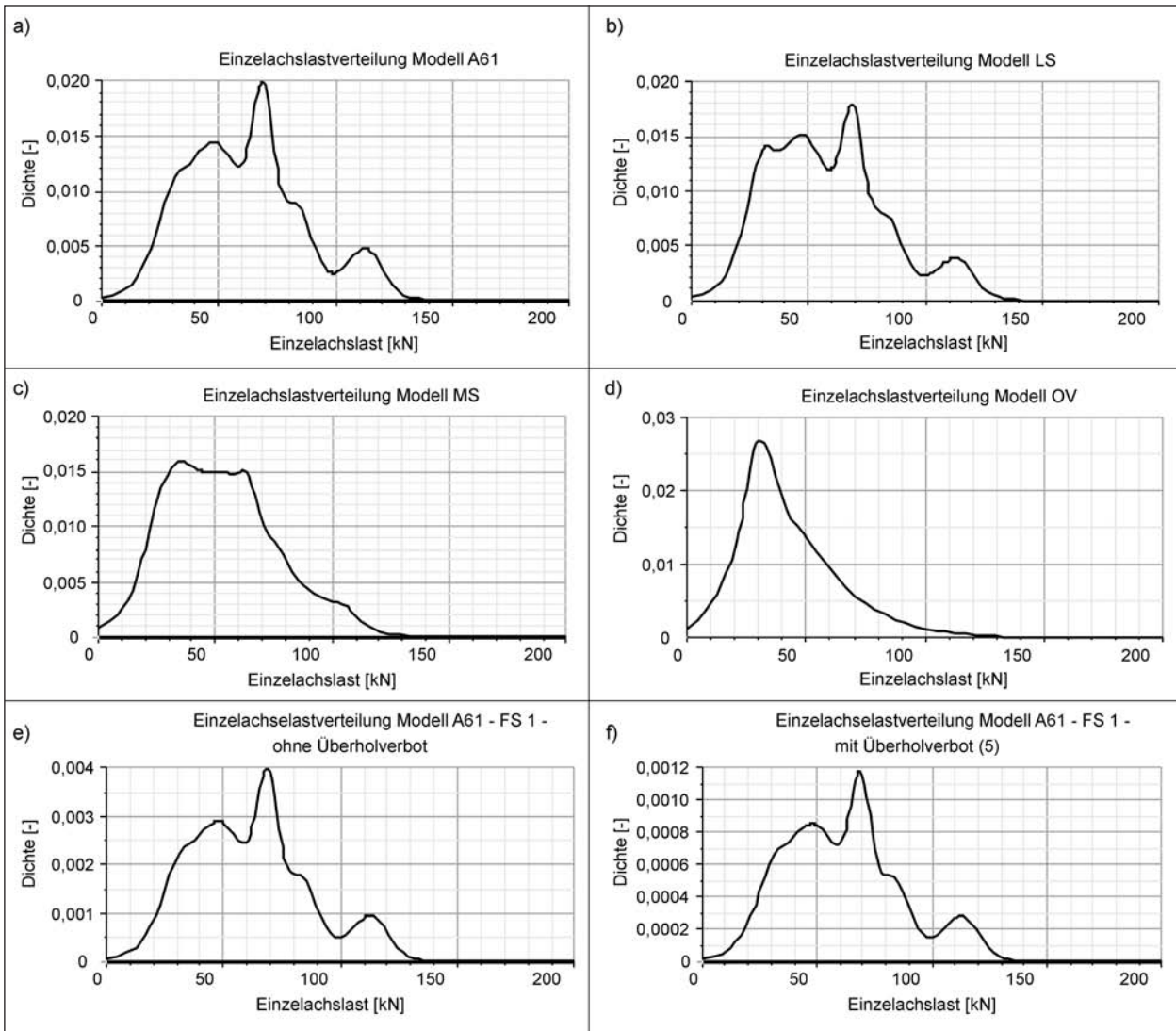


Bild 20: Dichtefunktion der Einzelachslasten aller Fahrzeuge – Modelle A 61 (a), LS (b), MS (c), OV (d), A 61 – FS 1 oÜV (e), A 61 – FS 1 mÜV5 (f)

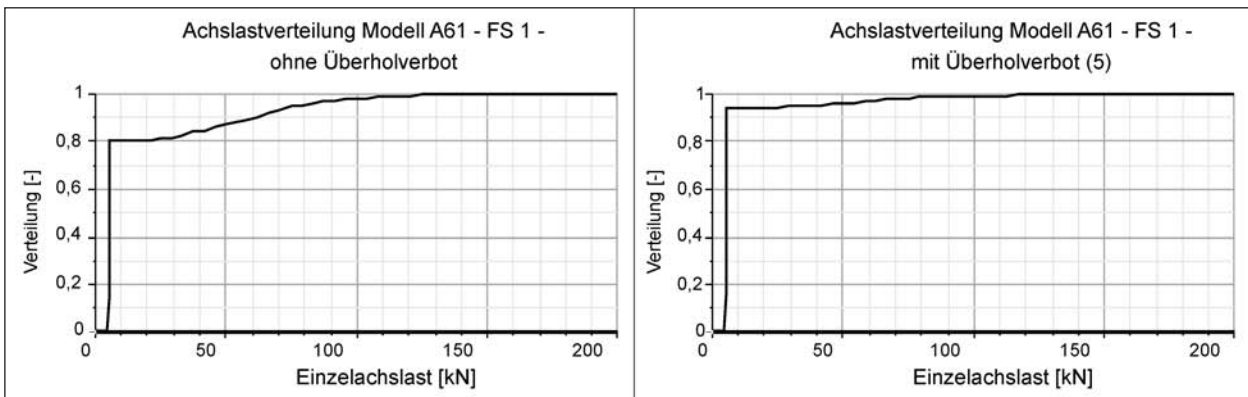


Bild 21: Verteilungsfunktion der Einzelachslasten aller Fahrzeuge – Modelle A 61 – FS1 oÜV (a), A 61 – FS 1 mÜV5 (b)

Unabhängigkeit zwischen den Achslasten getroffen. Um die Auswirkungen dieser Annahmen in einem ersten Schritt beurteilen zu können, wird in Bild 22 die aus Gl. 4.5 mit den gegebenen Parametern

für das Modell A 61 ermittelte Dichtefunktion der aus Messdaten bestimmten Dichtefunktion gegenübergestellt. Im Gegensatz zum Vergleich der Dichtefunktion des Gesamtgewichtes in Bild 19 zeig-

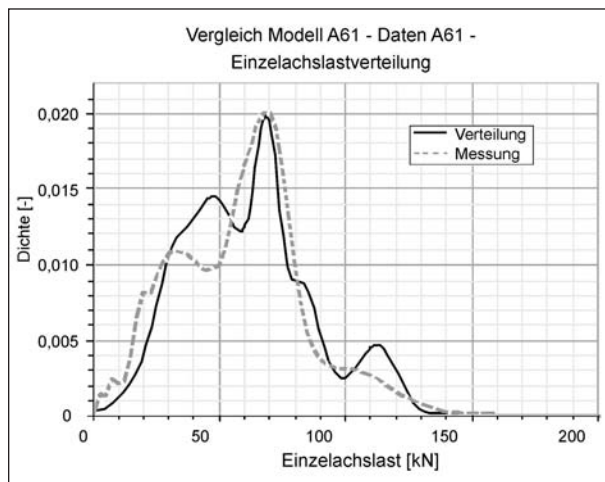


Bild 22: Vergleich der Dichtefunktion aus Modell A 61 mit tatsächlichen Messdaten (Einzelachslast)

gen sich hier etwas deutlichere Abweichungen. Die Gründe hierfür sind neben den bereits beim Gesamtgewicht aufgeführten auch die hier genannten Annahmen. Welchen Einfluss diese verschiedenen Ursachen detailliert haben, kann im vorliegenden Projekt nicht weiterführend analysiert werden. Die in den Bildern 20a bis 20f dargestellten Funktionen werden dennoch nachfolgend verwendet.

4.4.4 Gesamtgewichtsverteilungen – zwei Fahrzeuge

In Kapitel 4.4.2 wurden die funktionellen Beschreibungen der Gesamtgewichtsverteilung von Einzelfahrzeugen hergeleitet und dargestellt. Zusätzlich ist nun noch von Interesse, welche funktionelle Beschreibung für die Summe der Gesamtgewichte von zwei Fahrzeugen gilt.

Für die Abbildung der Gesamtgewichtsverteilungen wurden multimodale Normalverteilungen verwendet. Normalverteilungen sind invariant gegenüber der Faltung, die Summe unabhängiger normalverteilter Zufallszahlen ist also wieder normalverteilt. In Gleichung 4.3 wird die Gesamtgewichtsverteilung eines einzelnen Fahrzeuges durch die Parameter μ_k , σ_k und ξ_k beschrieben. Die Parameter der Verteilung der Summe der Gesamtgewichte zweier Fahrzeuge können daraus mit den Gleichungen 4.6 bis 4.8 ermittelt werden. Die Gleichungen sind dabei für jeden der k_1 Parameter der Funktion für das erste Fahrzeug mit jedem der k_2 -Parameter der Funktion für das zweite Fahrzeug anzuwenden. Es ergeben sich somit also $k_1 \cdot k_2$ -Parametersätze (μ , σ , ξ) für die Funktion des gemeinsamen Gesamtgewichtes.

$$\mu_{ges} = \mu_{k_1} + \mu_{k_2} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\sigma_{k_1}^2 + \sigma_{k_2}^2} \quad (4.7)$$

$$\xi_{ges} = \xi_{k_1} \cdot \xi_{k_2} \quad (4.8)$$

Gleichung 4.9 liefert die allgemeine Formulierung der funktionellen Beschreibung der Dichtefunktion für das Gesamtgewicht zweier Fahrzeuge, von denen die Dichtefunktion der einzelnen Fahrzeuge Gleichung 4.3 folgt. Es wird deutlich, dass die Anzahl der Parametersätze bereits hier sehr groß wird. So ergeben sich zum Beispiel ausgehend von 5 betrachteten Fahrzeugtypen und 3 Einzelverteilungen zur Beschreibung des Gesamtgewichtes pro Fahrzeug $(5 \cdot 3) \cdot (5 \cdot 3) = 225$ Parametersätze. In den vorliegenden Untersuchungen reduziert sich aber diese Zahl etwas, da nicht für alle Fahrzeugtypen drei Einzelverteilungen zur Beschreibung des Gesamtgewichtes herangezogen wurden.

$$GGD_{Begeg}(x) = \sum_{f=1}^{n_1 \cdot m_1 \cdot n_2 \cdot m_2} \xi_{ges,f} \cdot \frac{1}{\sigma_{ges,f}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{ges,f}}{\sigma_{ges,f}}\right) \quad (4.9)$$

In den Bildern 23a bis 23f sind die Dichtefunktionen der Gesamtgewichtsverteilung für die Summe aus zwei Fahrzeuggesamtgewichten nach GL. 4.9 dargestellt. Die Bilder 23a bis 23d stehen dabei für den Begegnungsverkehr (2 Fahrspuren, entgegengesetzte Fahrtrichtung). Für eine Fahrtrichtung gelten, je nach betrachtetem Modell (A 61, LS, MS, OV), die Dichtefunktionen aus den Bildern 17a bis 17d. Für die entgegengesetzte Fahrtrichtung gelten diese Funktionen ebenfalls. Entsprechend der vorgenannten Erläuterungen müssen diese Funktionen also miteinander kombiniert werden.

Die Dichtefunktionen für den Richtungsverkehr (2 Fahrspuren, gleiche Fahrtrichtung) sind in den Bildern 23e (ohne Überholverbot) und 23f (mit Überholverbot) dargestellt. Für die erste Fahrspur gilt die Dichtefunktion aus Bild 17a und für die zweite Fahrspur die Dichtefunktion aus Bild 17e (ohne Überholverbot) bzw. Bild 17f (mit Überholverbot). Diese Funktionen müssen miteinander kombiniert werden. Es wird ersichtlich, dass die Dichtefunktionen in den Bildern 23e und 23f der Dichtefunktion für die erste Fahrspur (vgl. Bild 17a) sehr ähnlich sind. Die Ursache hierfür liegt darin, in der zweiten Spur ein wesentlicher Anteil der Fahrzeuge Pkw mit einem kon-

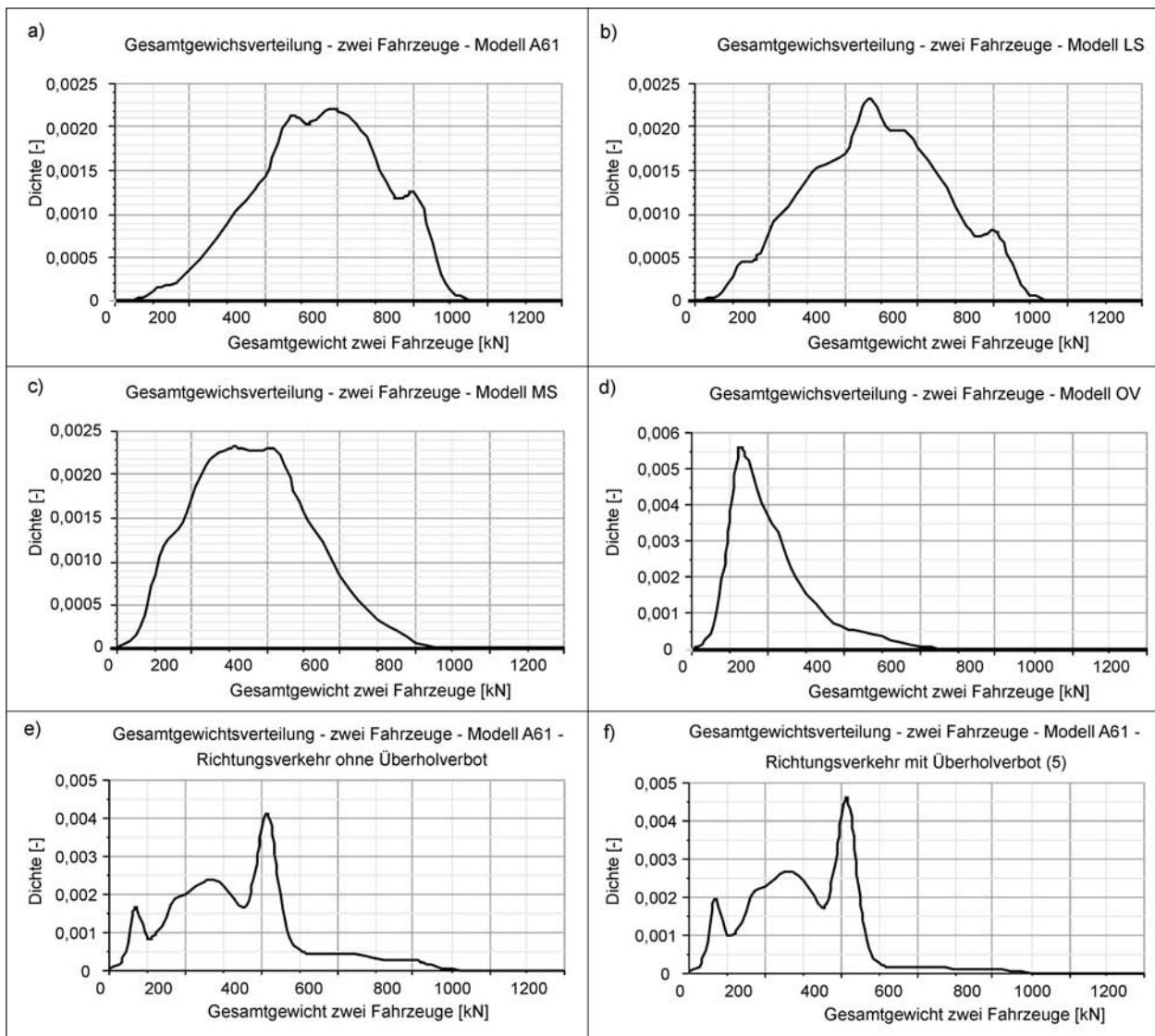


Bild 23: Dichtefunktion der Gesamtgewichte für zwei Fahrzeuge – Modelle A 61 (a), LS (b), MS (c), OV (d), A 61 – RV oÜV (e), A 61 – RV mÜV5 (f)

stanten Gesamtgewicht von 10 kN sind. Die Kombination aus einem relativ kleinen Gesamtgewicht in der zweiten Spur und der Gesamtgewichtsverteilung der ersten Spur ergibt eine um den Wert des kleinen Gesamtgewichtes verschobene Dichtefunktion für die Summe der beiden Gesamtgewichte. Da in der zweiten Spur zusätzlich noch ein gewisser Anteil von Schwerverkehrsfahrzeugen berücksichtigt wird, ergibt sich der optische Unterschied zwischen der Dichtefunktion in Bild 17a und den Dichtefunktionen in den Bildern 23e bzw. 23f.

Nachdem in Kapitel 4.4.2 die Dichtefunktionen für das Gesamtgewicht eines einzelnen Fahrzeuges erstellt wurden, sind nunmehr auch die Dichtefunktionen für die Summe der Gesamtgewichte zweier Fahrzeuge definiert. Die Weiterverwendung erfolgt in Kapitel 4.4.6.

4.4.5 Achslastverteilungen – zwei Achsen

Analog zur Bestimmung der funktionellen Beschreibung der Verteilung der Summe der Gesamtgewichte zweier Fahrzeuge in Kapitel 4.4.4 erfolgt nachfolgend die Bestimmung der Verteilung der Summe aus zwei Achslasten (zweier Fahrzeuge) mit Gleichung 4.10. Wie für das Gesamtgewicht ist hierfür die Kombination aus zwei Verteilungen für die Einzelachslast erforderlich. Die Gleichungen 4.6 bis 4.8 werden hierzu verwendet, um die in Gleichung 4.10 aufgeführten Parametersätze ($\mu_{ges, g}$, $\sigma_{ges, g}$ und $\xi_{ges, g}$ zusammenzustellen. Die Anzahl dieser Parametersätze wird dabei sehr groß. Ausgehend von dem in Kapitel 4.4.4 verwendeten Beispiel (5 Fahrzeugtypen, 3 Verteilungen zur Beschreibung des Gesamtgewichtes), erweitert um die Annahme, dass jedes Fahrzeug 5 Achsen

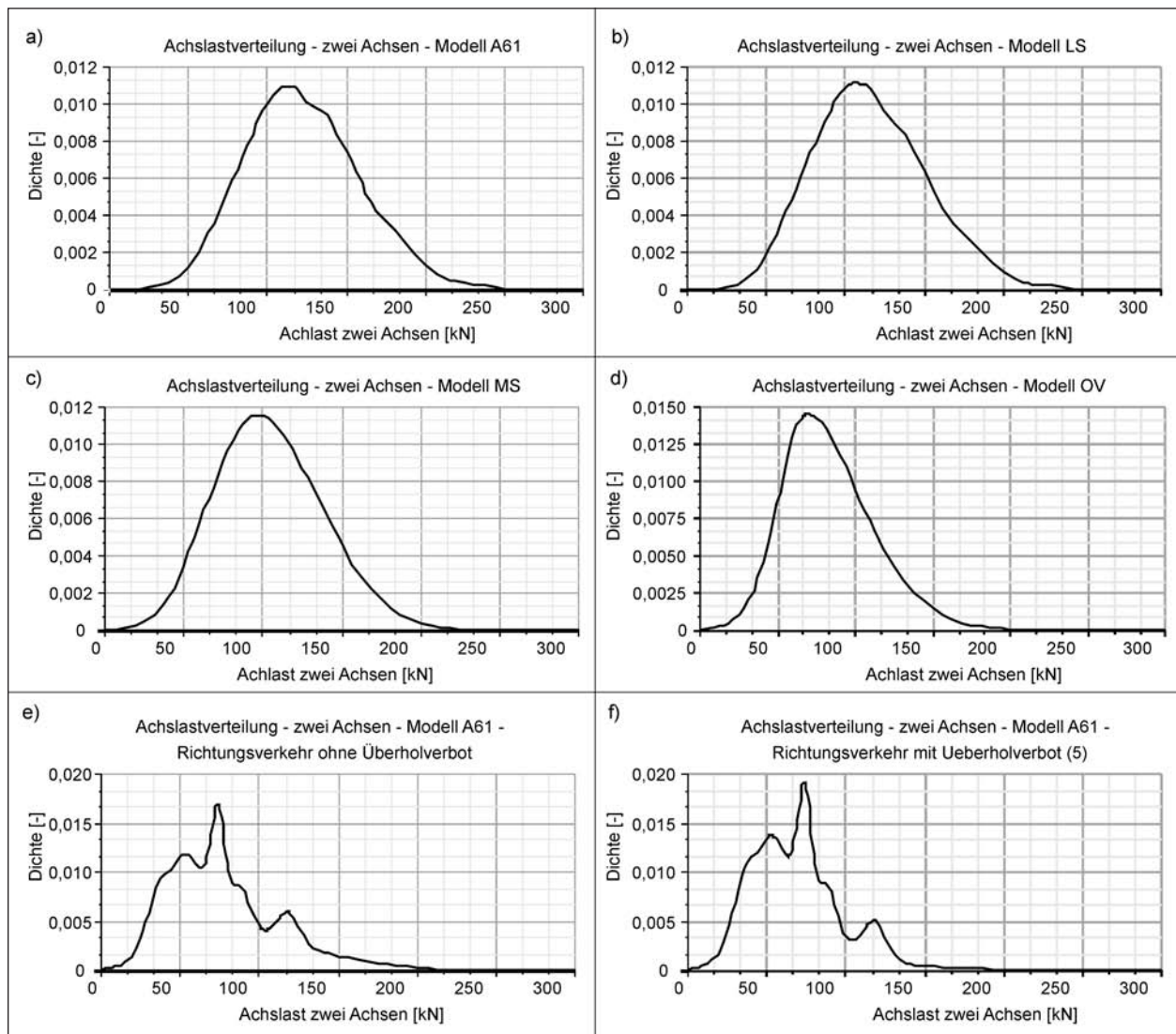


Bild 24: Dichtefunktion der Einzelachslasten für zwei Achsen – Modelle A 61 (a), LS (b), MS (c), OV (d), A 61 – RV oÜV (e), A 61 – RV mÜV5 (f)

hat, ergeben sich $(5 \cdot 3 \cdot 5) \cdot (5 \cdot 3 \cdot 5) = 5.625$ Parametersätze. In den vorliegenden Untersuchungen reduziert sich diese Anzahl zwar etwas, die funktionelle Beschreibung bleibt aber dennoch recht umfangreich.

$$ALD_{Begeg}(x) = \sum_{g=1}^{n_1 \cdot m_1 \cdot o_1 \cdot n_2 \cdot m_2 \cdot o_2} \xi_{ges,g} \cdot \frac{1}{\sigma_{ges,g}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{ges,g}}{\sigma_{ges,g}}\right) \quad (4.10)$$

In den Bildern 24a bis 24f sind die resultierenden Dichtefunktionen für die Summe aus zwei Achslasten dargestellt. Die Weiterverwendung dieser Funktionen erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

4.4.6 Bestimmung von Maximalwerten der Gesamtgewichte und Achslasten

In den Kapiteln 4.4.2 bis 4.4.5 wurden die funktionalen Beschreibungen der Verteilung der Gesamtgewichte und Achslasten sowie der Summe aus zwei Gesamtgewichten und zwei Achslasten hergeleitet.

Entsprechend den in Kapitel 4.4.1 aufgeführten Fragestellungen ist nunmehr zu ermitteln, welches maximale Niveau diese Werte erreichen können. Hierzu ist zunächst eine zeitliche Zuordnung erforderlich. In den Untersuchungen für die Längsrichtung der Tragsysteme (vgl. Kapitel 4.2 und 4.3) wurden aus den Simulationsrechnungen durch statistische Auswertungen Werte bestimmt, die mit einer definierten mittleren Wiederkehrperiode auftreten. Dieser Ansatz wird hier ebenfalls verwendet

und die Werte der Gesamtgewichte (ein Fahrzeug, Summe aus zwei Fahrzeugen) und Achslasten (eine Achslast, Summe aus zwei Achslasten) bestimmt, die mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren auftreten. Die in den Kapiteln 4.4.2 bis 4.4.5 vorgestellten Dichtefunktionen beschreiben die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Werte bei einem Einzelereignis. Für die Bestimmung von Werten mit definierten mittleren Wiederkehrperioden ist aber die Verteilung des Maximalwertes aus mehreren dieser Einzelereignisse gesucht. Prinzipiell ist diese Verteilung eine Extremwertverteilung, die sich aus der Potenzierung der Ausgangsverteilung (Einzelereignis) ergibt. Der Exponent in dieser Potenzierung beschreibt dabei die Anzahl der Ereignisse (n_E) innerhalb eines Betrachtungszeitraumes (t_{ref}). Nimmt man zum Beispiel einen Betrachtungszeitraum von $t_{ref} = 1$ Jahr und $n_E = 10$ Ereignisse pro Jahr an, so ergibt sich die Verteilungsfunktion (Integral der Dichtefunktion) des Jahresmaximalwertes durch Potenzierung der Verteilungsfunktion des Einzelereignisses mit dem Exponenten $n_E = 10$. Ein Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren tritt innerhalb eines Jahres mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,1 % auf bzw. mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 % nicht auf (vgl. Gl 4.1). Der 99,9 % Fraktilwert der Jahresextremwertverteilung (0,999 auf der y-Achse der Verteilungsfunktion) entspricht somit dem Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren.

Hieraus ergibt sich, dass der 99,9 % Fraktilwert der Jahresextremwertverteilung dem Fraktilwert der Verteilungsfunktion des Einzelereignisses entspricht. Um den Schritt der Potenzierung der Verteilungen der Einzelereignisse zu umgehen, wird dieser Zusammenhang nachfolgend verwendet. Die noch zu bestimmenden Größen sind dabei die Häufigkeiten der Einzelereignisse in einem definierten Betrachtungszeitraum.

Der Betrachtungszeitraum wird mit einem Jahr angesetzt und es wird von 250 Verkehrstagen pro Jahr ausgegangen. Für die Fragestellungen hinsichtlich des maximalen Gesamtgewichtes eines einzelnen Fahrzeuges und der maximalen Achslast einer einzelnen Achse müssen die Anzahl der Fahrzeugübergänge und die Anzahl der Achsübergänge (jeweils in einer Spur) ermittelt werden. In nachfolgender Tabelle 33 sind diese Zahlenwerte enthalten. Aus den Annahmen für das Verkehrsaufkommen für die verschiedenen betrachteten Verkehrs-

charakteristiken wird unter der Annahme von 250 Verkehrstagen pro Jahr die in Spalte 4 enthaltenen Zahlenwerte für die Fahrzeuganzahl pro Jahr ermittelt. Je nach betrachteter Verkehrszusammensetzung ergeben sich unterschiedliche Werte für die mittlere Achsanzahl pro Fahrzeug (vgl. Spalte 6 in Tabelle 33). Das Produkt aus Fahrzeuganzahl pro Jahr und mittlerer Achsanzahl ergibt die Anzahl der Achsübergänge pro Jahr (Spalte 7 in Tabelle 33). Wie oben beschrieben werden aus diesen Zahlenwerten die Fraktilwerte der Verteilungen der Einzelereignisse berechnet, mit denen die Werte mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren bestimmt werden können. Für eine übersichtlichere Darstellung sind die Fraktilwerte in der Tabelle nicht in der Form „0,999...9.“ eingetragen, sondern in der Form „1 – x,xxx · 10^{-xx}“. Je kleiner der Subtrahend ist, desto größer ist demnach der Fraktilwert.

$$y_E = 0,999^{\frac{1}{n_E=10}} = 0,9999 = 99,99 \%$$

Für die Fragestellungen hinsichtlich der maximalen Summe der Gesamtgewichte zweier nebeneinander stehender Fahrzeuge bzw. zweier nebeneinander stehender Achsen muss analog zur Einzelfahrzeug- bzw. Einzelachsbehandlung die Anzahl dieser Ereignisse (zwei Fahrzeuge stehen nebeneinander bzw. zwei Achsen stehen nebeneinander) ermittelt werden. In [1] wurde hierzu für die Ermittlung der Häufigkeit, dass zwei Fahrzeuge nebeneinander stehen, ein analytischer Weg beschritten. Für die Ermittlung dieser Begegnungshäufigkeit zeigte dieser analytische Weg für den fließenden Verkehr auch recht gute Übereinstimmungen mit Ergebnissen von Simulationsrechnungen. Für den Verkehr mit erhöhter Stauwahrscheinlichkeit wird eine analytische Betrachtung aber sehr komplex. Für die Ermittlung der Begegnungshäufigkeiten wird daher generell auf Simulationsrechnungen zurückgegriffen. Die simulierten Verkehrsbänder werden dazu analysiert und die Anzahl der Fälle ermittelt, in denen in zwei Spuren zwei Fahrzeuge bzw. zwei Achsen nebeneinander stehen. Als „nebeneinander“ werden hierbei für die Fahrzeuge ein Versatz von bis zu 1 m und für die Achsen ein Versatz von bis zu 0,25 m angesetzt. In den Tabellen 34 und 35 sind die so ermittelten Begegnungshäufigkeiten zusammenfassend aufgeführt. Im Anhang D ist eine Tabelle enthalten, die vollständige Daten dieser Auswertungen von simulierten Verkehrsbändern enthält. Die Zählungen sind darin noch zusätzlich dahingehend differenziert, in welchem Verkehrszustand

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Verkehrsbelegung	Modell	Fahrzeuge pro Tag (DTSV/DTV)	Fahrzeuge pro Jahr (n _{E,FZ})	Fraktilwert $\frac{1}{y_{i,A}^{n_{E,FZ}}}$ $y_{i,A}^{n_{E,FZ}} = 0,999^{\frac{n_{E,FZ}}{i}}$	Mittlere Achszahl	Achsen pro Jahr (n _{E,A})	Fraktilwert $\frac{1}{y_{i,A}^{n_{E,A}}}$ $y_{i,A}^{n_{E,A}} = 0,999^{\frac{n_{E,A}}{i}}$
1	Begegnungsverkehr	A 61	500	125.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	4,540	567.500	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-9}$
2			1.000	250.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-9}$		1.135.000	$1 - 8,814981 \cdot 10^{-10}$
3			5.000	1.250.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-10}$		5.675.000	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-10}$
4			10.000	2.500.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$		11.350.000	$1 - 8,814982 \cdot 10^{-11}$
5		LS	500	125.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	4,150	518.750	$1 - 1,928675 \cdot 10^{-9}$
6			1.000	250.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-9}$		1.037.500	$1 - 9,643377 \cdot 10^{-10}$
7			5.000	1.250.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-10}$		5.187.500	$1 - 1,928675 \cdot 10^{-10}$
8			10.000	2.500.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$		10.375.000	$1 - 9,643375 \cdot 10^{-11}$
9		MS	500	125.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	3,450	431.250	$1 - 2,320001 \cdot 10^{-9}$
10			1.000	250.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-9}$		862.500	$1 - 1,160000 \cdot 10^{-9}$
11			5.000	1.250.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-10}$		4.312.500	$1 - 2,320001 \cdot 10^{-10}$
12			10.000	2.500.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$		8.625.000	$1 - 1,160000 \cdot 10^{-10}$
13		OV	500	125.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	2,450	306.250	$1 - 3,266940 \cdot 10^{-9}$
14			1.000	250.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-9}$		612.500	$1 - 1,633470 \cdot 10^{-9}$
15			5.000	1.250.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-10}$		3.062.500	$1 - 3,266940 \cdot 10^{-10}$
16			10.000	2.500.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$		6.125.000	$1 - 1,633470 \cdot 10^{-10}$
17	Richtungverkehr	A 61 – FS 0 (oÜV)	400	100.000	$1 - 1,000500 \cdot 10^{-8}$	4,540	454.000	$1 - 2,203745 \cdot 10^{-9}$
18			800	200.000	$1 - 5,002502 \cdot 10^{-9}$		908.000	$1 - 1,101873 \cdot 10^{-9}$
19			4.000	1.000.000	$1 - 1,000500 \cdot 10^{-9}$		4.540.000	$1 - 2,203745 \cdot 10^{-10}$
20			8.000	2.000.000	$1 - 5,002502 \cdot 10^{-10}$		9.080.000	$1 - 1,101873 \cdot 10^{-10}$
21		A 61 – FS 0 (mÜV(5))	475	118.750	$1 - 8,425266 \cdot 10^{-9}$	4,540	539.125	$1 - 1,855785 \cdot 10^{-9}$
22			950	237.500	$1 - 4,212633 \cdot 10^{-9}$		1.078.250	$1 - 9,278928 \cdot 10^{-10}$
23			4.750	1.187.500	$1 - 8,425266 \cdot 10^{-10}$		5.391.250	$1 - 1,855786 \cdot 10^{-10}$
24			9.500	2.375.000	$1 - 4,212632 \cdot 10^{-10}$		10.782.500	$1 - 9,278922 \cdot 10^{-11}$
25		A 61 – FS 0 (mÜV(0))	500	125.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	4,540	567.500	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-9}$
26			1.000	250.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-9}$		1.135.000	$1 - 8,814981 \cdot 10^{-10}$
27			5.000	1.250.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-10}$		5.675.000	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-10}$
28			10.000	2.500.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$		11.350.000	$1 - 8,814982 \cdot 10^{-11}$
29		A 61 – FS 1 (oÜV)	500	125.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	2,508	313.500	$1 - 3,191389 \cdot 10^{-9}$
30			1.000	250.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-9}$		627.000	$1 - 1,595694 \cdot 10^{-9}$
31			5.000	1.250.000	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-10}$		3.135.000	$1 - 3,191388 \cdot 10^{-10}$
32			10.000	2.500.000	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$		6.270.000	$1 - 1,595695 \cdot 10^{-10}$
33	A 61 – FS 1 (mÜV(5))	425	106.250	$1 - 9,416474 \cdot 10^{-9}$	2,149	228.331	$1 - 4,381793 \cdot 10^{-9}$	
34		850	212.500	$1 - 4,708237 \cdot 10^{-9}$		456.663	$1 - 2,190897 \cdot 10^{-9}$	
35		4.250	1.062.500	$1 - 9,416474 \cdot 10^{-10}$		2.283.310	$1 - 4,381794 \cdot 10^{-10}$	
36		8.500	2.125.000	$1 - 4,708237 \cdot 10^{-10}$		4.566.630	$1 - 2,190896 \cdot 10^{-10}$	

Tab. 33: Anzahl von Fahrzeugen und Achsen pro Jahr sowie daraus abgeleitete Fraktilwerte für die verschiedenen Verkehrsvarianten und Verkehrscharakteristiken

(Stau oder fließender Verkehr) sich die beiden begegnenden Fahrzeuge bzw. Achsen befinden. In den Tabellen 34 und 35 sind diese Einzelwerte auf-

addiert. Analog zu Tabelle 33 sind in den Tabellen 34 und 35 die Fraktilwerte enthalten, die sich aus den ermittelten Begegnungszahlen ergeben.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Verkehrsbelegung	Modell	Fließender Verkehr/ Stauverkehr	Fahrzeuge pro Tag und Richtung (DTSV)	Fahrzeugbegegnungen pro Jahr ($n_{E,FZB}$)	Fraktilwert $y_{i,FZ} = 0,999^{\frac{n_{i,FZ}}{n_{E,FZB}}}$	Achsbegegnungen pro Jahr ($n_{E,AB}$)	Fraktilwert $y_{i,A} = 0,999^{\frac{n_{i,AB}}{n_{E,AB}}}$
1	Begegnungsverkehr	A 61	fließend	500	29	$1 - 3,479941 \cdot 10^{-5}$	168	$1 - 5,973118 \cdot 10^{-6}$
2				1.000	135	$1 - 7,411086 \cdot 10^{-6}$	710	$1 - 1,409154 \cdot 10^{-6}$
3				5.000	3.463	$1 - 2,889531 \cdot 10^{-7}$	20.463	$1 - 4,889433 \cdot 10^{-8}$
4				10.000	14.500	$1 - 6,900002 \cdot 10^{-8}$	81.725	$1 - 1,224228 \cdot 10^{-8}$
5		Stau	500	74	$1 - 1,356601 \cdot 10^{-5}$	454	$1 - 2,204957 \cdot 10^{-6}$	
6			1.000	298	$1 - 3,363021 \cdot 10^{-6}$	1.678	$1 - 5,964233 \cdot 10^{-7}$	
7			5.000	8.238	$1 - 1,214568 \cdot 10^{-7}$	41.663	$1 - 2,401441 \cdot 10^{-8}$	
8			10.000	26.400	$1 - 3,789774 \cdot 10^{-8}$	136.800	$1 - 7,313599 \cdot 10^{-9}$	
9		LS	fließend	500	35	$1 - 2,858532 \cdot 10^{-5}$	194	$1 - 5,163859 \cdot 10^{-6}$
10				1.000	143	$1 - 7,021030 \cdot 10^{-6}$	703	$1 - 1,424199 \cdot 10^{-6}$
11				5.000	3.825	$1 - 2,615687 \cdot 10^{-7}$	16.400	$1 - 6,100612 \cdot 10^{-8}$
12				10.000	14.100	$1 - 7,095747 \cdot 10^{-8}$	70.350	$1 - 1,422175 \cdot 10^{-8}$
13		Stau	500	96	$1 - 1,039475 \cdot 10^{-5}$	400	$1 - 2,501248 \cdot 10^{-6}$	
14			1.000	350	$1 - 2,858568 \cdot 10^{-6}$	1.590	$1 - 6,292453 \cdot 10^{-7}$	
15			5.000	7.975	$1 - 1,254546 \cdot 10^{-7}$	34.975	$1 - 2,860616 \cdot 10^{-8}$	
16			10.000	25.100	$1 - 3,986057 \cdot 10^{-8}$	111.750	$1 - 8,953023 \cdot 10^{-9}$	
17		MS	fließend	500	40	$1 - 2,501220 \cdot 10^{-5}$	119	$1 - 8,425230 \cdot 10^{-6}$
18				1.000	140	$1 - 7,146405 \cdot 10^{-6}$	483	$1 - 2,073574 \cdot 10^{-6}$
19				5.000	3.525	$1 - 2,838298 \cdot 10^{-7}$	11.825	$1 - 8,460890 \cdot 10^{-8}$
20				10.000	15.350	$1 - 6,517917 \cdot 10^{-8}$	46.375	$1 - 2,157413 \cdot 10^{-8}$
21		Stau	500	98	$1 - 1,026149 \cdot 10^{-5}$	289	$1 - 3,464930 \cdot 10^{-6}$	
22			1.000	373	$1 - 2,685903 \cdot 10^{-6}$	1.088	$1 - 9,199999 \cdot 10^{-7}$	
23			5.000	7.700	$1 - 1,299351 \cdot 10^{-7}$	23.425	$1 - 4,271079 \cdot 10^{-8}$	
24			10.000	25.625	$1 - 3,904391 \cdot 10^{-8}$	81.675	$1 - 1,224977 \cdot 10^{-8}$	
25		OV	fließend	500	45	$1 - 2,223309 \cdot 10^{-5}$	76	$1 - 1,312123 \cdot 10^{-5}$
26				1.000	190	$1 - 5,265777 \cdot 10^{-6}$	245	$1 - 4,083666 \cdot 10^{-6}$
27				5.000	3.713	$1 - 2,694950 \cdot 10^{-7}$	5.888	$1 - 1,699363 \cdot 10^{-7}$
28				10.000	14.625	$1 - 6,841028 \cdot 10^{-8}$	23.575	$1 - 4,243904 \cdot 10^{-8}$
29		Stau	500	79	$1 - 1,270469 \cdot 10^{-5}$	141	$1 - 7,083163 \cdot 10^{-6}$	
30			1.000	468	$1 - 2,140105 \cdot 10^{-6}$	595	$1 - 1,681512 \cdot 10^{-6}$	
31			5.000	7.738	$1 - 1,293054 \cdot 10^{-7}$	11.438	$1 - 8,747544 \cdot 10^{-8}$	
32			10.000	26.225	$1 - 3,815063 \cdot 10^{-8}$	40.350	$1 - 2,479555 \cdot 10^{-8}$	

Tab. 34: Anzahl von Fahrzeugbegegnungen und Achsbegegnungen pro Jahr sowie daraus abgeleitete Fraktilwerte (Begegnungsverkehr)

Mit den in den Tabellen 34 und 35 angegebenen Fraktilwerten und den entsprechenden Verteilungsfunktionen lassen sich nunmehr die gesuchten Werte bestimmen. Im Anhang D sind die entsprechenden Verteilungsfunktionen zusammenfassend dargestellt. Die Ergebnisse werden tabellarisch, aufgeteilt für den Begegnungsverkehr und den Richtungsverkehr, aufgeführt. Es wird sich darauf beschränkt, lediglich für die jeweils kleinsten und größten Fraktilwerte die Ergebnisse zu ermitteln.

In Tabelle 36 sind die Ergebnisse für den Begegnungsverkehr aufgeführt. Die zugehörigen Verteilungsfunktionen sind im Anhang D, Bild D 1 bis Bild D 6, dargestellt. Aus Tabelle 36 wird ersichtlich, dass die Ergebnisse für die Modelle A 61 und LS bzw. MS und OV jeweils nur gering voneinander abweichen. Für den Wert des Gesamtgewichtes eines Einzelfahrzeuges mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren liegen die Ergebnisse für die Modelle A 61 und LS je nach betrachtetem Verkehrsaufkommen zwischen 760 kN und 814 kN und für die Modelle MS und OV zwischen 598 kN und 633 kN. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen für das kleinste betrachtete Verkehrsaufkommen (DTSV-Wert 500) und für das größte

Verkehrsaufkommen (DTSV-Wert 500) und für das größte

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Verkehrsbelegung	Modell	Fließender Verkehr/ Stauverkehr	Fahrzeuge pro Tag und Richtung (DTSV)	Fahrzeugbegegnungen pro Jahr ($n_{E,FZB}$)	Fraktilwert $\frac{1}{y_{E,FZB}} = 0,999$	Achsbegegnungen pro Jahr ($n_{E,AB}$)	Fraktilwert $\frac{1}{y_{E,AB}} = 0,999$
1	Richtungsverkehr	A 61 oÜV	fließend	500	23	$1 - 4,446569 \cdot 10^{-5}$	76	$1 - 1,312123 \cdot 10^{-5}$
2				1.000	98	$1 - 1,026149 \cdot 10^{-5}$	323	$1 - 3,102322 \cdot 10^{-6}$
3				5.000	3.325	$1 - 3,009023 \cdot 10^{-7}$	10.063	$1 - 9,942860 \cdot 10^{-8}$
4				10.000	12.850	$1 - 7,785995 \cdot 10^{-8}$	38.575	$1 - 2,593650 \cdot 10^{-8}$
5			Stau	500	1.033	$1 - 9,690071 \cdot 10^{-7}$	3.696	$1 - 2,706798 \cdot 10^{-7}$
6				1.000	1.895	$1 - 5,279684 \cdot 10^{-7}$	5.790	$1 - 1,727980 \cdot 10^{-7}$
7				5.000	11.588	$1 - 8,634307 \cdot 10^{-8}$	39.888	$1 - 2,508305 \cdot 10^{-8}$
8				10.000	32.075	$1 - 3,119253 \cdot 10^{-8}$	106.650	$1 - 9,381156 \cdot 10^{-9}$
9		A 61 mÜV (5)	fließend	500	38	$1 - 2,667965 \cdot 10^{-5}$	79	$1 - 1,270469 \cdot 10^{-5}$
10				1.000	128	$1 - 7,847031 \cdot 10^{-6}$	308	$1 - 3,253654 \cdot 10^{-6}$
11				5.000	3.075	$1 - 3,253659 \cdot 10^{-7}$	7.788	$1 - 1,284752 \cdot 10^{-7}$
12				10.000	13.525	$1 - 7,397414 \cdot 10^{-8}$	34.825	$1 - 2,872937 \cdot 10^{-8}$
13			Stau	500	1.169	$1 - 8,560427 \cdot 10^{-7}$	2.353	$1 - 4,252923 \cdot 10^{-7}$
14				1.000	2.430	$1 - 4,117284 \cdot 10^{-7}$	7.095	$1 - 1,410148 \cdot 10^{-7}$
15				5.000	16.000	$1 - 6,253127 \cdot 10^{-8}$	45.600	$1 - 2,194080 \cdot 10^{-8}$
16				10.000	37.225	$1 - 2,687711 \cdot 10^{-8}$	109.100	$1 - 9,170489 \cdot 10^{-9}$
17		A 61 mÜV (0)	fließend	500	38	$1 - 2,667965 \cdot 10^{-5}$	85	$1 - 1,177052 \cdot 10^{-5}$
18				1.000	133	$1 - 7,550917 \cdot 10^{-6}$	338	$1 - 2,964441 \cdot 10^{-6}$
19				5.000	3.013	$1 - 3,321162 \cdot 10^{-7}$	7.113	$1 - 1,406679 \cdot 10^{-7}$
20				10.000	11.800	$1 - 8,478816 \cdot 10^{-8}$	31.750	$1 - 3,151182 \cdot 10^{-8}$
21			Stau	500	1.918	$1 - 5,217732 \cdot 10^{-7}$	3.471	$1 - 2,882248 \cdot 10^{-7}$
22				1.000	2.720	$1 - 3,678309 \cdot 10^{-7}$	5.280	$1 - 1,894887 \cdot 10^{-7}$
23				5.000	13.988	$1 - 7,152817 \cdot 10^{-8}$	45.050	$1 - 2,220866 \cdot 10^{-8}$
24				10.000	38.200	$1 - 2,619111 \cdot 10^{-8}$	103.200	$1 - 9,694771 \cdot 10^{-9}$

Tab. 35: Anzahl von Fahrzeugbegegnungen und Achsbegegnungen pro Jahr sowie daraus abgeleitete Fraktilwerte (Richtungsverkehr)

		Modelle Begegnungsverkehr			
		A 61	LS	MS	OV
Einzelfahrzeug	Fraktil von	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$			
	Fraktil bis	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$			
	Ergebnis von	762 kN	760 kN	608 kN	598 kN
	Ergebnis bis	807 kN	814 kN	633 kN	617 kN
Einzelachse	Fraktil von	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-9}$	$1 - 1,928675 \cdot 10^{-9}$	$1 - 2,320001 \cdot 10^{-9}$	$1 - 3,266940 \cdot 10^{-9}$
	Fraktil bis	$1 - 8,814982 \cdot 10^{-11}$	$1 - 9,643375 \cdot 10^{-11}$	$1 - 1,160000 \cdot 10^{-10}$	$1 - 1,633470 \cdot 10^{-10}$
	Ergebnis von	222 kN	215 kN	185 kN	183 kN
	Ergebnis bis	238 kN	227 kN	193 kN	195 kN
Summe zwei Fahrzeuge	Fraktil von	$1 - 3,479941 \cdot 10^{-5}$	$1 - 2,858532 \cdot 10^{-5}$	$1 - 2,501220 \cdot 10^{-5}$	$1 - 2,223309 \cdot 10^{-5}$
	Fraktil bis	$1 - 3,789774 \cdot 10^{-8}$	$1 - 3,986057 \cdot 10^{-8}$	$1 - 3,904391 \cdot 10^{-8}$	$1 - 3,815063 \cdot 10^{-8}$
	Ergebnis von	1.015 kN	1.010 kN	900 kN	900 kN
	Ergebnis bis	1.170 kN	1.160 kN	1.000 kN	1.015 kN
Summe zwei Achsen	Fraktil von	$1 - 5,973118 \cdot 10^{-6}$	$1 - 5,163859 \cdot 10^{-6}$	$1 - 8,425230 \cdot 10^{-6}$	$1 - 1,312123 \cdot 10^{-5}$
	Fraktil bis	$1 - 7,313599 \cdot 10^{-9}$	$1 - 8,953023 \cdot 10^{-9}$	$1 - 1,224977 \cdot 10^{-8}$	$1 - 2,479555 \cdot 10^{-8}$
	Ergebnis von	282 kN	278 kN	258 kN	245 kN
	Ergebnis bis	328 kN	320 kN	295 kN	282 kN

Tab. 36: Ergebnisse Begegnungsverkehr

betrachtete Verkehrsaufkommen liegt im einstelligen Prozentbereich. Für den Wert der Einzelachslast sind die Zusammenhänge vergleichbar. Auch für die ermittelten Werte der Summe aus zwei Fahrzeuggesamtgewichten und zwei Achslasten zeigt sich der geringe Unterschied zwischen den Modellen A 61 und LS bzw. MS und OV. Die Auswirkung der verschiedenen Verkehrsaufkommen ist hier etwas stärker und liegt bei ca. 15 %. Des Weiteren kann an den Ergebnissen ermittelt werden, dass der Faktor zwischen den Werten der Einzelereignisse (Gesamtgewicht Einzelfahrzeug und Einzelachslast) und den Werten der Summe aus zwei Ereignissen (Summe aus zwei Gesamtgewichten bzw. Summe aus zwei Achslasten) bei etwa 1,5 liegt.

In Tabelle 37 sind analog zu Tabelle 36 die Ergebnisse für den Richtungsverkehr aufgeführt. Hierbei ist die Unterscheidung zwischen den drei betrachteten Varianten des Überholverkehrs enthalten (vgl. Kapitel 3.2.1). Im Unterschied zum Begegnungsverkehr sind hier für die Einzelereignisse die Ergebnisse für die erste Fahrspur (FS 0 – Lkw-Fahrspur) und den Überholfahrstreifen (FS 1) getrennt ausgewiesen. Es zeigt sich, dass für den ersten Fahrstreifen (FS 0) unabhängig von der Variante des Überholverkehrs annähernd die gleichen Werte ermittelt werden. Für den Überholfahrstreifen sind

im Vergleich zwischen der Variante ohne Überholverbot und der Variante mit einem weniger restriktiven Überholverbot (5 % der Schwerverkehrsfahrzeuge nutzen FS 1) die resultierenden Werte ebenfalls sehr ähnlich. In der Variante mit dem restriktiven Überholverbot (kein Schwerverkehrsfahrzeug nutzt FS 1) ergeben sich durch die Annahme eines konstanten Fahrzeuggewichtes von 10 kN für die Pkw für den Überholfahrstreifen als Ergebnis 10 kN für das Gesamtgewicht und 5 kN für die Achslast. Die Ergebnisse für die Summe aus zwei Fahrzeuggesamtgewichten bzw. die Summe aus zwei Achslasten sind für die Variante ohne Überholverbot und die Variante mit weniger restriktivem Überholverbot ebenfalls annähernd gleich. Da für die Variante mit restriktivem Überholverbot auf dem zweiten Fahrstreifen (FS 1) Pkw mit einem konstanten Gesamtgewicht von 10 kN angenommen werden, ergeben sich die Werte für die Summe aus zwei Fahrzeuggesamtgewichten bzw. zwei Achslasten aus der Verteilungsfunktion des Einzelereignisses für den ersten Fahrstreifen (mit entsprechendem Fraktilwert laut Tabelle 37) plus 10 kN (Gesamtgewicht) bzw. plus 5 kN (Achslast). Die Ergebnisse sind somit deutlich niedriger als für die anderen beiden Varianten des Überholverkehrs. Der Faktor zwischen den Werten der Einzelereignisse und der Summe aus zwei Ereignissen liegt für die ersten

		Verkehrsvarianten Richtungsverkehr					
		ohne Überholverbot		mit Überholverbot (5)		mit Überholverbot (0)	
		FS 0	FS 1	FS 0	FS 1	FS 0	FS 1
Einzelfahrzeug	Fraktil von	$1 - 1,000500 \cdot 10^{-8}$	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	$1 - 8,425266 \cdot 10^{-9}$	$1 - 9,416474 \cdot 10^{-9}$	$1 - 8,004003 \cdot 10^{-9}$	---
	Fraktil bis	$1 - 5,002502 \cdot 10^{-10}$	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$	$1 - 4,212632 \cdot 10^{-10}$	$1 - 4,708237 \cdot 10^{-10}$	$1 - 4,002001 \cdot 10^{-10}$	---
	Ergebnis von	760 kN	730 kN	762 kN	710 kN	762 kN	10 kN
	Ergebnis bis	805 kN	785 kN	807 kN	765 kN	807 kN	10 kN
Einzelachse	Fraktil von	$1 - 2,203745 \cdot 10^{-9}$	$1 - 3,191389 \cdot 10^{-9}$	$1 - 1,855785 \cdot 10^{-9}$	$1 - 4,381793 \cdot 10^{-9}$	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-9}$	---
	Fraktil bis	$1 - 1,101873 \cdot 10^{-10}$	$1 - 1,595695 \cdot 10^{-10}$	$1 - 9,278922 \cdot 10^{-11}$	$1 - 2,190896 \cdot 10^{-10}$	$1 - 8,814982 \cdot 10^{-11}$	---
	Ergebnis von	220 kN	211 kN	222 kN	202 kN	222 kN	5 kN
	Ergebnis bis	235 kN	227 kN	238 kN	218 kN	238 kN	5 kN
Summe zwei Fahrzeuge	Fraktil von	$1 - 4,446569 \cdot 10^{-5}$		$1 - 2,667965 \cdot 10^{-5}$		$1 - 2,667965 \cdot 10^{-5}$	
	Fraktil bis	$1 - 3,119253 \cdot 10^{-8}$		$1 - 2,687711 \cdot 10^{-8}$		$1 - 2,6191111 \cdot 10^{-8}$	
	Ergebnis von	970 kN		950 kN		607 kN + 10 kN	
	Ergebnis bis	1.140 kN		1.110 kN		742 kN + 10 kN	
Summe zwei Achsen	Fraktil von	$1 - 1,312123 \cdot 10^{-5}$		$1 - 1,270469 \cdot 10^{-5}$		$1 - 1,177052 \cdot 10^{-5}$	
	Fraktil bis	$1 - 9,381156 \cdot 10^{-9}$		$1 - 9,170489 \cdot 10^{-9}$		$1 - 9,694771 \cdot 10^{-9}$	
	Ergebnis von	264 kN		254 kN		172 kN + 5 kN	
	Ergebnis bis	318 kN		309 kN		212 kN + 5 kN	

Tab. 37: Ergebnisse Richtungsverkehr

beiden Varianten des Überholverkehrs wiederum bei rund 1,5. Für die Variante mit restriktivem Überholverbot sind hier die Werte für die Summen aus zwei Fahrzeugesamtgewichten bzw. zwei Achslasten niedriger als für das einzelne Fahrzeug und die einzelne Achse im ersten Fahrstreifen. Dies ist nachvollziehbar, da die Fraktilwerte für die Einzelereignisse deutlich größer sind und die Verteilungsfunktionen der Doppelereignisse der um 10 kN (Gesamtgewicht) bzw. 5 kN (Achslast) verschobenen Verteilungsfunktion für den ersten Fahrstreifen entspricht.

Mit den in den Tabellen 36 und 37 dargestellten Ergebnissen sind nunmehr die Werte mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren für das Fahrzeugesamtgewicht eines einzelnen Fahrzeuges, für die Achslast einer einzelnen Achse, für die Summe aus zwei Fahrzeugesamtgewichten und für die Summe aus zwei Achslasten bestimmt. Hinsichtlich der Werte für die Summe aus zwei Fahrzeugesamtgewichten und zwei Achslasten ist noch von Interesse, welchen Anteil die beiden einzelnen Fahrzeuge bzw. die beiden einzelnen Achsen am Gesamtwert haben. Diese Aufteilung ist nicht zwangsläufig 50:50, sondern folgt vielmehr wiederum einer Dichtefunktion. Das nachfolgend dargestellte Vorgehen wurde prinzipiell bereits in [1]

angewendet und wird hier entsprechend erweitert. Die Dichtefunktion für die Aufteilung des Wertes der Summe aus zwei Fahrzeugesamtgewichten lässt sich aus den Dichtefunktionen des Gesamtgewichtes des Einzelfahrzeuges ermitteln. In Bild 25 ist dies exemplarisch dargestellt. Beispielhaft wird ein Wert für die Summe aus zwei Fahrzeugesamtgewichten von 1.100 kN angenommen. Der Anteil des ersten Fahrzeugs kann hier zumindest theoretisch zwischen 0 und 1 liegen. Der Anteil des zweiten Fahrzeugs muss dann dementsprechend genau umgekehrt zwischen 1 und 0 liegen. Die Dichtefunktion des Anteils des ersten Fahrzeugs am gemeinsamen charakteristischen Gesamtgewicht wird gebildet, indem die Dichtefunktion des Gewichtes des zweiten Fahrzeuges beim 0,5fachen Wert des gemeinsamen Gewichtes gespiegelt wird. Aus dem Produkt der Dichtefunktion des Gewichtes des ersten Fahrzeugs und der gespiegelten Dichtefunktion des Gewichtes des zweiten Fahrzeuges ergibt sich die Dichtefunktion des Anteils des ersten Fahrzeuges am gemeinsamen charakteristischen Gewicht. In dieser in Bild 25 dargestellten Dichtefunktion („Spur 1 x Spur 2“) werden Extremwerte bei 0,4 und 0,6 deutlich. Weiterführend wird aus dieser Dichtefunktion das Integral über drei verschiedene Intervalle gebildet. Das erste Intervall reicht von 0,35 bis 0,45, das zweite Intervall von 0,45 bis 0,55 und das

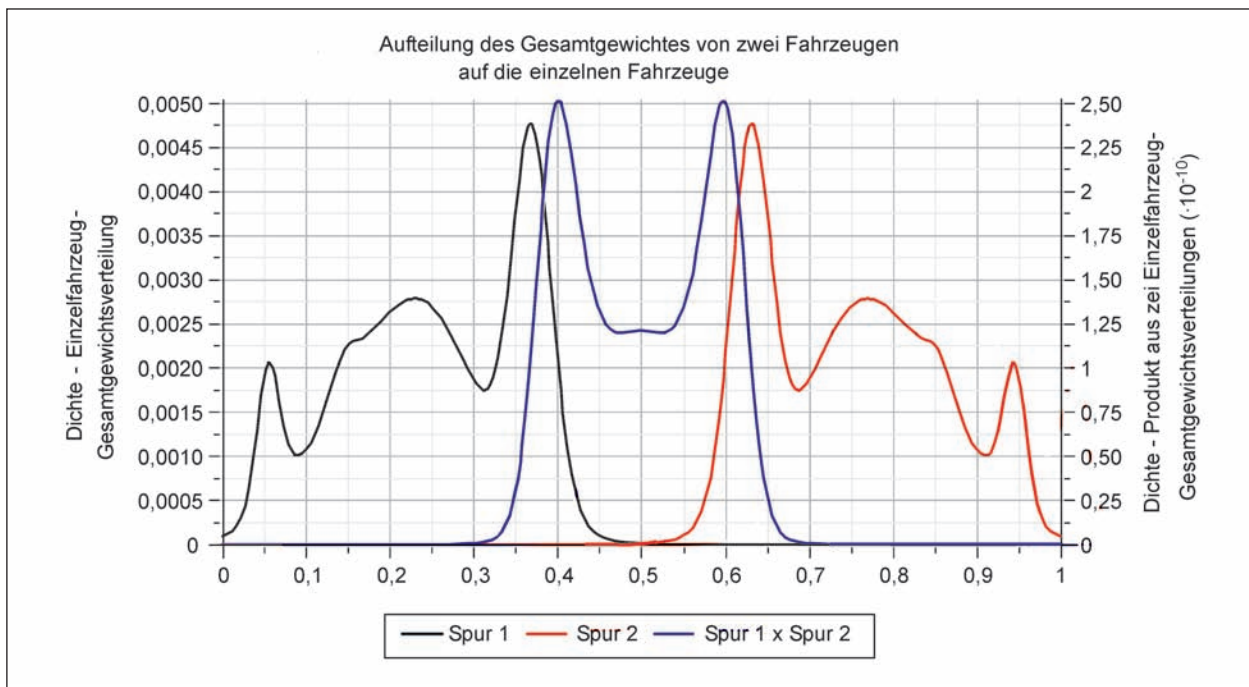


Bild 25: Dichtefunktion der Wahrscheinlichkeit des Anteils eines Fahrzeuggewichtes an der Summe aus zwei Fahrzeuggesamtgewichten (Begegnungsverkehr)

dritte Intervall von 0,55 bis 0,65. Die Intervallgrenzen wurden so festgelegt, um zu ermitteln, wie das Verhältnis zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Aufteilung 50:50 und der Wahrscheinlichkeit einer Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 ist. Im dargestellten Beispiel in Bild 25 liegt der Wert des Integrals der Dichtefunktion über dem Intervall 0,35 bis 0,45 bei $1,696 \cdot 10^{-11}$, über dem Intervall 0,45 bis 0,55 bei $1,222 \cdot 10^{-11}$ und über dem Intervall 0,55 bis 0,65 wieder bei $1,696 \cdot 10^{-11}$. Fasst man die Wahrscheinlichkeiten des Intervalls 0,35 bis 0,45 und 0,55 bis 0,65 zusammen und bildet das Verhältnis zwischen diesem Wert und dem Wert der Wahrscheinlichkeit des Intervalls 0,45 bis 0,55, so ergibt sich als Ergebnis ein Wert von 2,776. Vereinfacht ist es demnach um den Faktor 2,776 wahrscheinlicher, dass eine Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 vorliegt als eine Aufteilung 50:50.

Entsprechend diesem exemplarisch dargestellten Vorgehen wurde das in Bild 26 aufgeführte Diagramm erstellt. Differenziert für die vier verschiedenen betrachteten Verkehrscharakteristiken im Begegnungsverkehr wurde für verschiedene Werte für die Summe aus zwei Fahrzeuggesamtgewichten der Wert für das beschriebene Verhältnis ermittelt. In Tabelle 36 kann der mögliche Wertebereich dieser Summe abgelesen werden. Im Diagramm in Bild 26 wird ersichtlich, dass über den maximalen Wertebereich der Modelle A 61 und LS (Minimum

1.010 kN für LS, Maximum 1.170 kN für A 61) für die Modelle A 61 und LS das aufgeführte Verhältnis stets größer als 1 ist (vgl. Linie A 61 und LS im o. g. Wertebereich in Bild 26). Hier ist somit eine Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 wahrscheinlicher als eine Aufteilung 50:50. Für die Modelle MS und OV (Wertebereich entsprechend Tabelle 36 von 900 kN bis 1.015 kN) kann hingegen eine Aufteilung 50:50 als wahrscheinlicher als eine Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 identifiziert werden (vgl. Linie MS und OV im o. g. Wertebereich in Bild 26).

Analog zum für das Gesamtgewicht beschriebenen Vorgehen wurde das in Bild 27 dargestellte Diagramm für die Aufteilung der Achslast erstellt. Grundsätzlich ergeben sich hier die analogen Aussagen. Für die Modelle A 61 und LS ist eine Aufteilung 40:60 bzw. 60:60 wahrscheinlicher, für die Modelle MS und OV hingegen eine Aufteilung 50:50.

Für den Untersuchungsschwerpunkt Richtungsverkehr wurde auf eine detaillierte grafische Darstellung im vorliegenden Bericht verzichtet. Zusammenfassend kann aber hierzu festgestellt werden, dass für die betrachteten Varianten des Überholverkehrs in den Varianten ohne Überholverbot und mit weniger restriktivem Überholverbot sowohl für die Summe zweier Gesamtgewichte als auch die Summe zweier Achslasten eine Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 eher gegeben ist als eine Aufteilung

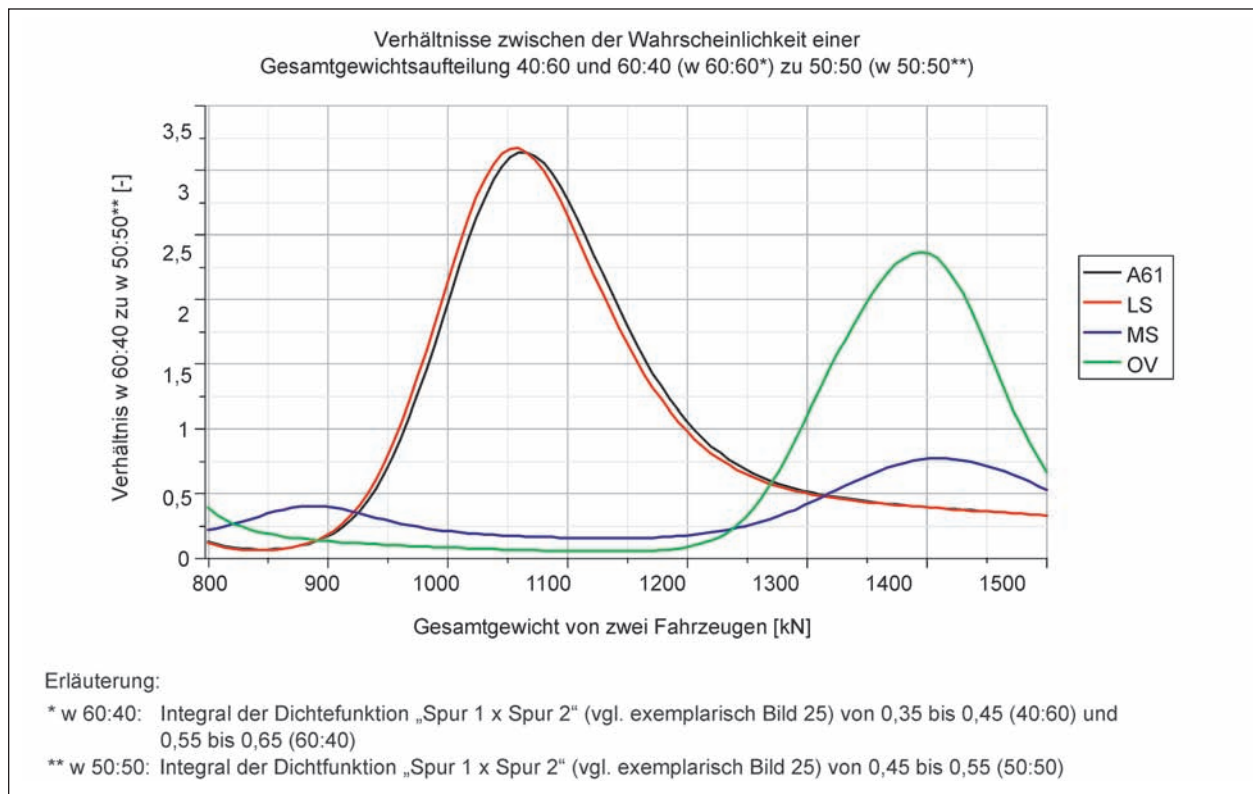


Bild 26: Verhältnisse zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 und einer Aufteilung 50:50 (Gesamtgewicht – Begegnungsverkehr)

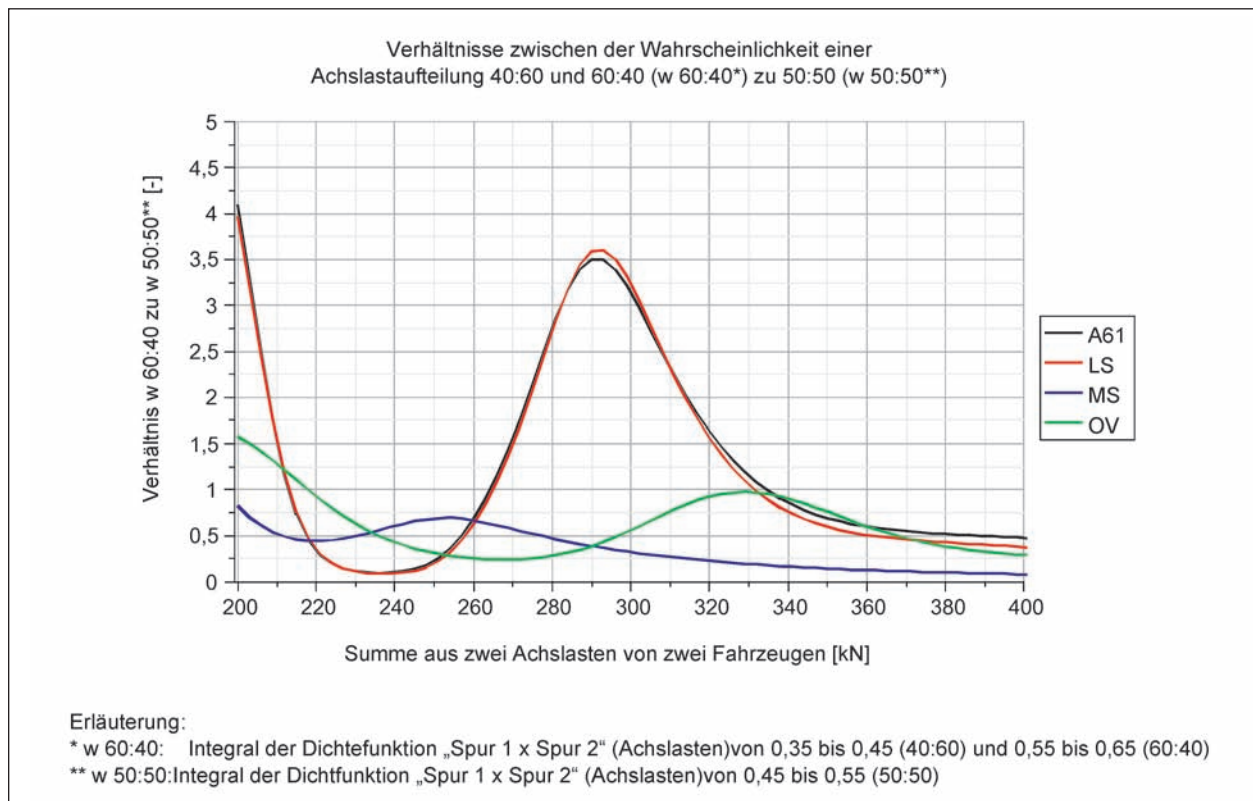


Bild 27: Verhältnisse zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 und einer Aufteilung 50:50 (Achslast – Begegnungsverkehr)

50:50. Die Variante mit vollständigem Überholverbot nimmt hier eine Sonderstellung ein. Da für die zweite Spur davon ausgegangen wird, dass nur Pkw vorhanden sind und deren Gesamtgewicht konstant 10 kN beträgt, ergibt sich eine Aufteilung von ca. 98:2.

Die in den vorhergehenden Erläuterungen aufgeführten Werte sind nunmehr den Werten der verschiedenen betrachteten Lastmodelle gegenüberzustellen. Das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes 101 (2009) weist für das Tandemsystem im ersten Fahrstreifen eine Achslast von 240 kN aus. Das Lastmodell 2 des DIN Fachberichtes gibt eine Achslast $0,8 \cdot 240 \text{ kN} = 192 \text{ kN}$ vor. Vergleicht man diese Zahlenwerte mit den ermittelten Werten für den Begegnungsverkehr und den Richtungsverkehr (Einzelachse – vgl. Tabelle 36 und Tabelle 37), so zeigt sich für den Begegnungsverkehr mit den Verkehrscharakteristiken A 61 (max. 238 kN) und LS (max. 227 kN) sowie für den Richtungsverkehr (max. 238 kN) eine recht gute Übereinstimmung mit der im Lastmodell 1 festgelegten Achslast (240 kN). Das Lastmodell 2 des DIN Fachberichtes (192 kN) deckt hingegen nur die für die Verkehrscharakteristiken MS (max. 193 kN) und OV (max. 195 kN) ermittelten Werte für die Einzelachslasten ab. Die Lastmodelle BK 60/30 und BK 60 decken hinsichtlich der Einzelachslast ebenfalls nur die Werte für die Verkehrscharakteristiken MS und OV ab.

Betrachtet man die Werte für die Summe aus zwei Achslasten, ergeben sich ähnliche Zusammenhänge. Für das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes ergibt sich ein Wert von 360 kN (240 kN TS 1 + 120 kN TS 2). Somit sind die ermittelten Werte für die Summe aus zwei Achslasten (max. 328 kN – Tabelle 36, Modell A 61) gut abgedeckt. Die Aufteilung der beiden Achslasten ergibt sich für das Lastmodell 1 zu ca. 66:34. Auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung, da wie oben dargestellt wurde, für die Verkehrscharakteristiken A 61 und LS eine Aufteilung von 60:40 bzw. 40:60 als wahrscheinlicher identifiziert wurde als eine Aufteilung 50:50. Für die Verkehrscharakteristiken MS und OV wurde zwar eine wahrscheinlichere Aufteilung von 50:50 festgestellt, da der Wert für die Summe aus zwei Achslasten aber niedriger ist als bei den Verkehrscharakteristiken A 61 und LS (max. 295 kN – Tabelle 36, Modell MS) kann die Abdeckung aber dennoch als gegeben angenommen werden.

Für das Lastmodell BK 60/30 ergibt sich die Summe von zwei Achslasten zu 300 kN (200 kN

SLW 60 + 100 kN SLW 30). In der Summe sind hierdurch die Werte für den Begegnungsverkehr und die Verkehrscharakteristiken MS und OV abgedeckt (maximal 295 kN – vgl. Tabelle 36, Modell MS). Die Aufteilung der beiden Achslasten des Lastmodells ergibt sich hier, wie beim Lastmodell LM 1, zu 66:34. Dem gegenüber steht wieder die wahrscheinlichere Aufteilung von 50:50 für die Verkehrscharakteristiken MS und OV. Wenngleich die Summe aus zwei Achslasten durch das Lastmodell BK 60/30 abgedeckt ist, so kann aufgrund der Unterschiede hinsichtlich der Aufteilung der Summe auf zwei Achsen (ca. 150 + 150 bei Modell MS zu 200 + 100 bei Lastmodell BK 60/30) insgesamt keine Abdeckung nachgewiesen werden.

In der Summe ergibt sich somit aus den vorliegenden Ergebnissen zunächst die Notwendigkeit, im Allgemeinen das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes 101 (2009) für die Betrachtung der Querrichtung eines Tragsystems heranzuziehen.

Bei den vorhergehenden Betrachtungen wurden die rechnerischen Maximalwerte der Achslasten (Werte mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren) mit den einzelnen Achslasten der Lastmodelle (jeweils eine Achse der beiden Tandemsysteme des Lastmodells LM 1 bzw. jeweils eine Achse der beiden SLW im Lastmodell BK 60/30) verglichen. Die zusätzlichen Achsen der jeweiligen Lastmodelle, die in einem Abstand von 1,2 m (LM 1) bzw. 1,5 m (Lastmodelle der DIN 1072) anzusetzen sind, wurden hier nicht berücksichtigt. Im nachfolgenden Kapitel 4.4.7 wird hierzu eine weiterführende Betrachtung gegeben.

4.4.7 Weiterführende Betrachtung

Die in der vorliegenden Analyse betrachteten Fahrzeugtypen haben sowohl Einzelachsen als auch Doppel- und Dreifachachsen. In den vorhergehenden Kapiteln 4.4.1, 4.4.3, 4.4.5 und 4.4.6 wurden alle Achsen der betrachteten Fahrzeuge als Einzelachsen betrachtet (unabhängig davon, ob sie tatsächliche Einzelsachsen oder Teil einer Doppel- oder Dreifachachsgruppe sind) und einer Lastmodellachse pro Spur gegenübergestellt. Die Einzelachsen der betrachteten Fahrzeugtypen haben dabei einen deutlich größeren Abstand zu den vorhergehenden bzw. folgenden Achsen des Fahrzeuges als die Achsmodelle in den Lastmodellen (1,2 m bei LM 1, 1,5 m bei Lastmodellen der DIN 1072, vgl. Kapitel 3.2.2 zu den Achsabständen der Fahrzeuge). Für die Doppel- und Dreifachachsgruppen

liegen die Achsabstände bei den betrachteten Fahrzeugtypen bei 1,3 m (vgl. Kapitel 3.2.2) und sind somit nahezu deckungsgleich mit den in den Lastmodellen angesetzten Werten. Die Gegenüberstellung einer wirklichen Einzelachse eines Fahrzeuges zu einer Achse des jeweiligen Lastmodells muss daher als sehr ungünstig angesehen werden. In der nachfolgenden weiterführenden Betrachtung zu den bisherigen Ausführungen im Kapitel 4.4 wird hierauf in einem vereinfachten Ansatz eingegangen.

Das prinzipielle Vorgehen wird hierbei beibehalten, jedoch werden alle Doppel- und Dreifachachsgruppen der Fahrzeuge zu jeweils einer idealisierten Einzelachse zusammengefasst. In Bild 28 ist die exemplarisch dargestellt.

Mit den sich hierauf gegebenen neuen Zahlenwerten für die Achslastverteilungen werden in der oben beschriebenen Methode Verteilungsfunktionen der Einzelachslasten (wirkliche Einzelachsen der Fahrzeugtypen und idealisierte Einzelachsen) und der Summe aus zwei Einzelachslasten erstellt. Hierbei wird sich auf die Untersuchung des Begegnungsverkehrs beschränkt, da hier im Vergleich zum Richtungsverkehr in der vorhergehenden Analyse höhere Maximalwerte ermittelt wurden (vgl. Tabelle 36 und Tabelle 37). Die Funktionsverläufe sind im Anhang D in den Bildern D 19 bis D 21 dargestellt. Die Fraktilwerte zur Bestimmung der Werte mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren, die sich aus der Anzahl der Auftretenshäufigkeit der Einzelachsen bzw. der Begegnungsanzahl von zwei Achsen ergeben, werden vereinfacht aus Tabelle 36 übernommen. Aufgrund der Idealisierung von Doppel- und Dreifachachsgruppen zu Ein-

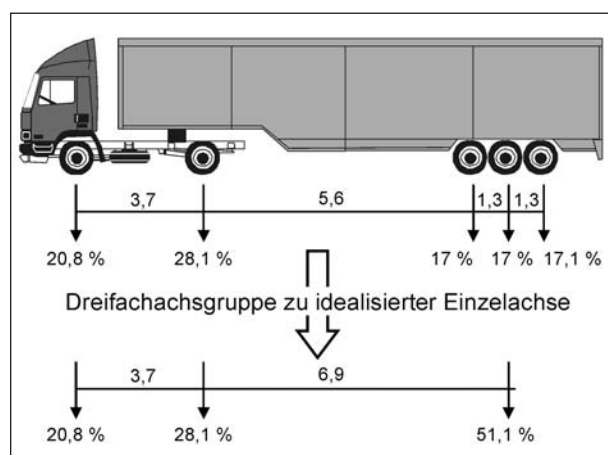


Bild 28: Prinzipielles Vorgehen zur Idealisierung von Mehrfachachsgruppen

zelachsen ändert sich die mittlere Achszahl pro Fahrzeug (vgl. Tabelle 33). Hierdurch reduziert sich die Anzahl der auftretenden Achsen entsprechend und der Fraktilwert wird kleiner. Auch die Anzahl der Achsbegegnungen ändert sich. Die Übernahme der in Tabelle 36 ermittelten Fraktilwerte liegt aber hinsichtlich der Ermittlung der Maximalwerte (mittlere Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren) auf der sicheren Seite und wird daher angewendet.

In Tabelle 38 sind die resultierenden Werte für die Einzelachslasten und die Summe aus zwei Achslasten aufgeführt. Aufgrund der Idealisierung von Doppel- und Dreifachachsgruppen zu Einzelachsen sind diese Werte im Vergleich zu Tabelle 36 höher. Die Gegenüberstellung zu den Achslasten der Lastmodelle erfolgt nunmehr aber nicht zu einer einzelnen Achse in den Lastmodellen, sondern zu der jeweiligen Achsgruppe.

Für das Lastmodell LM 1 des DIN Fachberichtes ergibt sich für das Tandemsystem im ersten Fahrstreifen eine Summe von 480 kN ($2 \cdot 0,8 \cdot 300$ kN). Dieser Wert ist größer als die in Tabelle 38 aufgeführten Werte für die Einzelachse (Maximalwert 422 kN). Die Summe aus den Tandemsystemen des Lastmodells LM 1 in der ersten und der zweiten Fahrspur ergibt sich zu 800 kN (TS 1: 480 kN, TS 2: 320 kN). Auch dieser Wert ist größer als die in Tabelle 38 aufgeführten Werte für die Summe aus zwei Achsen (Maximalwert 604 kN). Im Diagramm in Bild 29 ist analog zu Bild 27 das Verhältnis zwischen den Wahrscheinlichkeiten der Achslastaufteilungen 60:40 bzw. 40:60 zu 50:50 aufgezeigt. Es wird deutlich, dass für den ermittelten Wertebereich der Summe auf zwei Achslasten (vgl. Tabelle 38 – Modelle A 61 und LS 519 kN bis 604 kN, Modelle MS und OV 442 kN bis 509 kN) bei den Modellen A 61 und LS eine Aufteilung 60:40 bzw. 40:60 wahrscheinlicher ist als eine Aufteilung 50:50 und bei den Modellen MS und OV eine Aufteilung 50:50 als wahrscheinlicher identifiziert werden kann. Für das Lastmodell LM 1 ergibt sich eine Aufteilung 60:40, unabhängig davon werden aber für alle Modelle die ermittelten Werte der Einzelachslast als auch der Summe aus zwei Achslasten abgedeckt.

Für das Lastmodell BK 60/30 ergibt sich hierbei dieselbe Aussage, da hier die Summen aus den Achsen der angesetzten SLW mit 600 kN bzw. 300 kN ohnehin höher sind als beim Lastmodell LM 1.

Das Lastmodell BK 60 deckt demnach ebenfalls die ermittelten Werte für die Einzelachslasten ab. Stellt

man des Weiteren den im Lastmodell BK 60 angesetzten SLW 60 der Summe aus zwei Achsen in Tabelle 38 gegenüber, so zeigt sich auch hier, abgesehen vom oberen Wert im Modell A 61 (604 kN), eine Abdeckung.

Der Vergleich der in Tabelle 38 aufgeführten Werte für die Einzelachslasten mit dem sich aus dem Lastmodell BK 30/30 ergebenden Wert von 300 kN zeigt, dass die Einzelachslasten aus den Modellen A 61 und LS nicht abgedeckt werden. Für die Modelle MS und OV zeigen sich nur leichte Überschreitungen (maximal 325 kN für Modell MS). Aus den in Kapitel

4.3 dargestellten Ergebnissen wird aber ersichtlich, dass für die Längsrichtung das Lastmodell BK 30/30 für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer nur für die Verkehrscharakteristik Ortverkehr (Modell OV) bei geringer Schwerverkehrsstärke angewendet werden kann. Hier ergibt sich aus Tabelle 38 ein Wert von 304 kN, der somit nahezu deckungsgleich mit dem Wert aus dem Lastmodell ist.

Für die Summe aus zwei Achslasten ist für die Modelle MS und OV ebenfalls eine Abdeckung gegeben. Entsprechend Bild 29 ist die wahrscheinlichere Aufteilung hier 50:50 statt 60:40 bzw. 40:60. Das

		Modelle Begegnungsverkehr			
		A 61	LS	MS	OV
Einzelachse	Fraktil von	$1 - 1,762996 \cdot 10^{-9}$	$1 - 1,928675 \cdot 10^{-9}$	$1 - 2,320001 \cdot 10^{-9}$	$1 - 3,266940 \cdot 10^{-9}$
	Fraktil bis	$1 - 8,814982 \cdot 10^{-11}$	$1 - 9,643375 \cdot 10^{-11}$	$1 - 1,160000 \cdot 10^{-10}$	$1 - 1,633470 \cdot 10^{-10}$
	Ergebnis von	397 kN	395 kN	310 kN	304 kN
	Ergebnis bis	422 kN	417 kN	325 kN	317 kN
Summe zwei Achsen	Fraktil von	$1 - 5,973118 \cdot 10^{-6}$	$1 - 5,163859 \cdot 10^{-6}$	$1 - 8,425230 \cdot 10^{-6}$	$1 - 1,312123 \cdot 10^{-5}$
	Fraktil bis	$1 - 7,313599 \cdot 10^{-9}$	$1 - 8,953023 \cdot 10^{-9}$	$1 - 1,224977 \cdot 10^{-8}$	$1 - 2,479555 \cdot 10^{-8}$
	Ergebnis von	531 kN	519 kN	451 kN	442 kN
	Ergebnis bis	604 kN	597 kN	508 kN	509 kN

Tab. 38: Ergebnisse Begegnungsverkehr in der weiterführenden Betrachtung

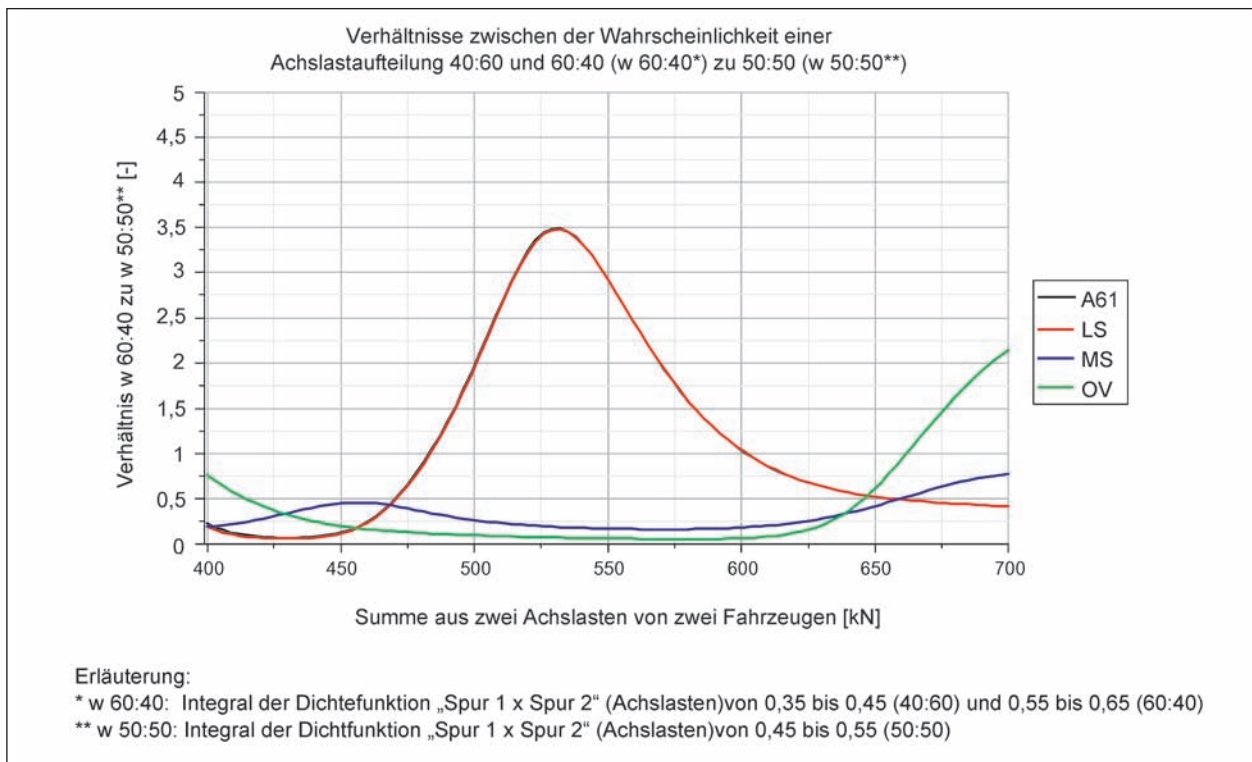


Bild 29: Verhältnisse zwischen der Wahrscheinlichkeit einer Aufteilung 40:60 bzw. 60:40 und einer Aufteilung 50:50 (Achslast – Begegnungsverkehr – Doppel- und Dreifachachsen zu Einzelachsen)

Lastmodell BK 30/30 hat ebenfalls eine Aufteilung von 50:50.

Zusammenfassend zeigt sich also in der weiterführenden Betrachtung, in der Doppel- und Dreifachachsgruppen zu idealisierten Einzelachsen zusammengefasst werden und die ermittelten Maximalwerte (Wiederkehrperiode 1.000 Jahre) der Summe der Achsen den Lastmodellen (Tandemsystem in LM 1, SLW in Lastmodellen der DIN 1072) gegenübergestellt werden, dass die Lastmodelle LM 1 und BK 60/30 alle betrachteten Fälle (Modelle) abdecken. Das Lastmodell BK 60 deckt die Modelle MS und OV sowie die Modelle A 61 und LS für geringere Schwerverkehrsstärken ab. Das Lastmodell BK 30/30 ist ausreichend für die Abdeckung im Modell OV bei geringer Schwerverkehrsstärke.

5 Ergänzende Untersuchungen für den Richtungsverkehr

5.1 Inhalt der Ergänzung

In den Kapiteln 4.2 und 4.3 wurden in zwei Untersuchungsschwerpunkten die Auswirkungen des aktuellen Schwerverkehrs auf Brückenbauwerke im Bundesfernstraßennetz (Schwerpunkt Richtungsverkehr) und im untergeordneten Straßennetz (Schwerpunkt Begegnungsverkehr) betrachtet. Für die Untersuchungen zum untergeordneten Straßennetz wurden dabei drei Beschreibungen des Verkehrsaufkommens betrachtet, die sich hinsichtlich der Verkehrszusammensetzung (Häufigkeit verschiedener Lkw-Fahrzeugtypen am gesamten Schwerverkehrsaufkommen) und der Gesamtgewichtsverteilungen der einzelnen Fahrzeugtypen unterschieden. Für das Bundesfernstraßennetz wurden zur Beschreibung des Verkehrsaufkommens die aus Messungen an der A 61 ermittelten Verkehrsdaten herangezogen und zusätzlich die Auswirkung verschiedener Kompensationsmaßnahmen (z. B. Überholverbot, Abstandsbeschränkung) betrachtet. Als Ergebnis können Empfehlungen für die Nachrechnungsrichtlinie erarbeitet werden, in denen für das untergeordnete Straßennetz differenziert für Verkehrsaufkommen (DTSV-Wert) und Verkehrszusammensetzung Ziellastniveaus (Lastmodelle) festgelegt werden. Für das Bundesfernstraßennetz werden in Abhängigkeit eines festgelegten Ziellastniveaus (Lastmodell älterer Normengeneration) zugehörige erforderliche Kompensationsmaßnahmen für den Verkehr identifiziert.

Generell unterscheiden sich die für die Untersuchungen angenommenen Verkehrsaufkommen im Bundesfernstraßennetz und im untergeordneten Straßennetz dahingehend, dass für das Bundesfernstraßennetz Richtungsverkehr (zwei Fahrspuren in eine Fahrtrichtung) und das untergeordnete Straßennetz Begegnungsverkehr (zwei Fahrspuren in entgegengesetzter Fahrtrichtung) angesetzt werden. Die Ergebnisse für das untergeordnete Straßennetz (Variation der Verkehrsbeschreibung) sind daher nicht direkt auf das Bundesfernstraßennetz übertragbar und aus den vorliegenden Ergebnissen sind keine dahingehend differenzierten Festlegungen für Ziellastniveaus im Bundesfernstraßennetz möglich.

Im Rahmen einer ergänzenden Untersuchung für den Richtungsverkehr wird in diesem Kapitel anhand eines deutlich reduzierten Untersuchungsumfangs der Fragestellung nach einer differenzierten Festlegung des Ziellastniveaus für Bundesfernstraßen nachgegangen. Das Vorgehen wird kurz beschrieben, Ergebnisse dargestellt und Schlussfolgerungen abgeleitet. Auf eine vollständige und detaillierte Darstellung wird hier verzichtet, da durchgehend Methoden und Datengrundlagen verwendet werden, die in den oben aufgeführten Absätzen bereits dokumentiert sind.

5.2 Vorgehen

5.2.1 Ausgewähltes Tragsystem

Anhand der vorliegenden Ergebnisse zeigt sich, dass für den Richtungsverkehr das betrachtete Zweifeldsystem mit 60 m Einzelstützweite am ungünstigsten ist. Die Überschreitungen der Lastmodellniveaus „BK60/30“ und „BK60“ sind hier am häufigsten. Daher wird nachfolgend nur dieses Tragsystem betrachtet.

5.2.2 Mehrspurverkehr

Im Rahmen dieser Ergänzung wird lediglich die Mehrspurvariante ohne Überholverbot betrachtet. Hierin wird das gesamte Schwerverkehrsaufkommen im Verhältnis 80 zu 20 auf die beiden Fahrspuren der Fahrtrichtung aufgeteilt. Für die zweite Fahrspur (Überholfahrspur) werden zusätzlich Pkw berücksichtigt. Das Verhältnis der Anzahl der Pkw zur Anzahl der Lkw in dieser Fahrspur wird mit 80 zu 20 angenommen.

5.2.3 Verkehrszusammensetzungen

Es werden die oben aufgeführten Modelle für die Verkehrszusammensetzungen „A 61“, „LS“, „MS“ und „OV“ betrachtet. Genehmigungspflichtiger Schwerverkehr mit Dauergenehmigung oder ohne Routenbeschränkung wird nicht berücksichtigt.

5.2.4 Gesamtgewichtsverteilungen

Es werden die oben aufgeführten Modelle für die Gesamtgewichtsverteilungen „A 61“, „LS“, „MS“ und „OV“ betrachtet.

5.2.5 Betrachtete Verkehrsstärken

Es werden lediglich die beiden Verkehrsstärken 10.000 und 1.000 (DTSV pro Fahrtrichtung) betrachtet.

5.2.6 Stauabstand

Der Abstand zwischen den Fahrzeugen im Stauverkehr wird mit konstant 5 m angenommen.

5.2.7 Kompensationsmaßnahmen

Kompensationsmaßnahmen werden in diesen ergänzenden Untersuchungen nicht berücksichtigt.

5.2.8 Berücksichtigung reduzierter Restnutzungsdauern

Die Berücksichtigung einer reduzierten Restnutzungsdauer von 20 Jahren wird vorgenommen.

5.2.9 Simulationsumfang

Zur Reduzierung der Ergebnisstreuungen wird ein erhöhter Simulationsumfang angewendet. Für die Verkehrsstärke 10.000 werden 5 Tage Verkehr simuliert, für die Verkehrsstärke 1.000 analog dazu 50 Tage.

5.3 Ergebnisse

Im Bild 30 sind die ermittelten charakteristischen Werte für das Stützmoment am Mittelaufleger des 2 x 60 m Systems dargestellt. Die horizontalen Linien stellen die Niveaus der verschiedenen betrachteten Lastmodelle dar. Auf der horizontalen Achse des Diagramms sind die entsprechenden Kurzbezeichnungen für die verschiedenen betrachteten Verkehre aufgeführt. Analog dazu sind in Bild 31 die Ergebnisse für die Auflagerkraft am Mittelaufleger dieses Systems dargestellt. Die oben aufgeführten Ergebnisse zeigen, dass diese beiden Kenngrößen relevant werden. Auf die Darstellung

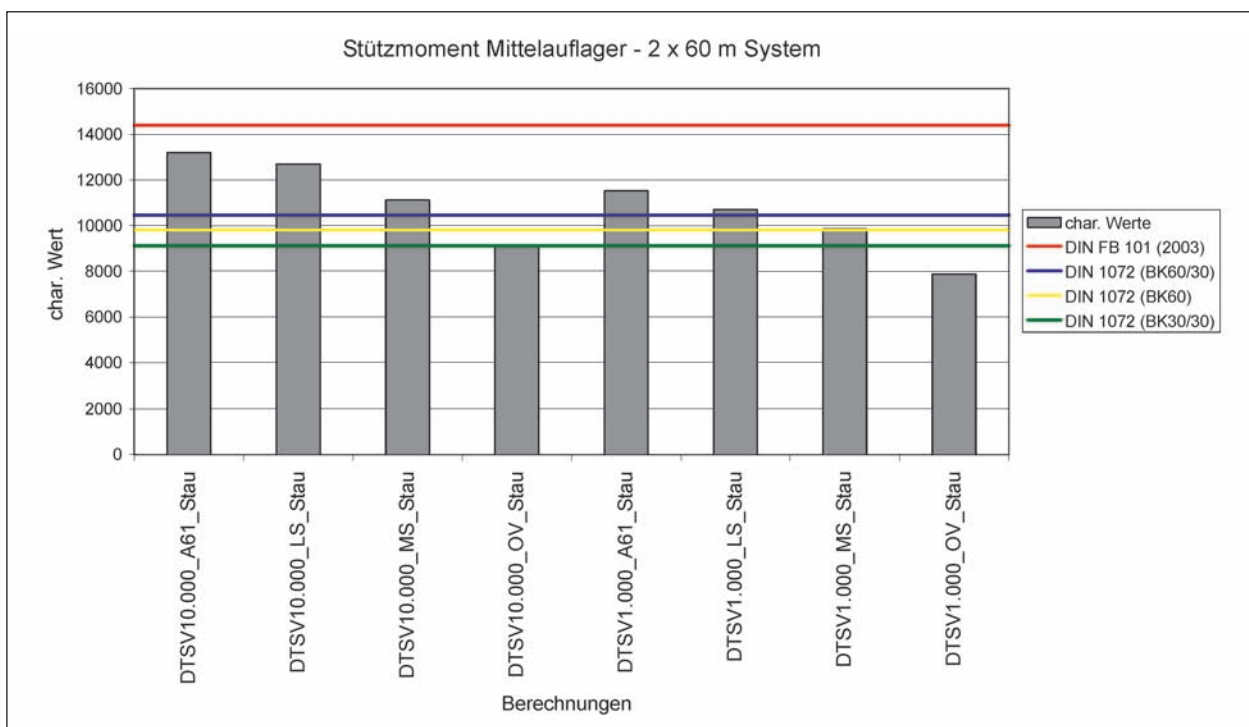


Bild 30: Ermittelte charakteristische Werte für das Stützmoment am Mittelaufleger des 2 x 60 m Systems in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens (DTSV-Wert) und der Verkehrszusammensetzung

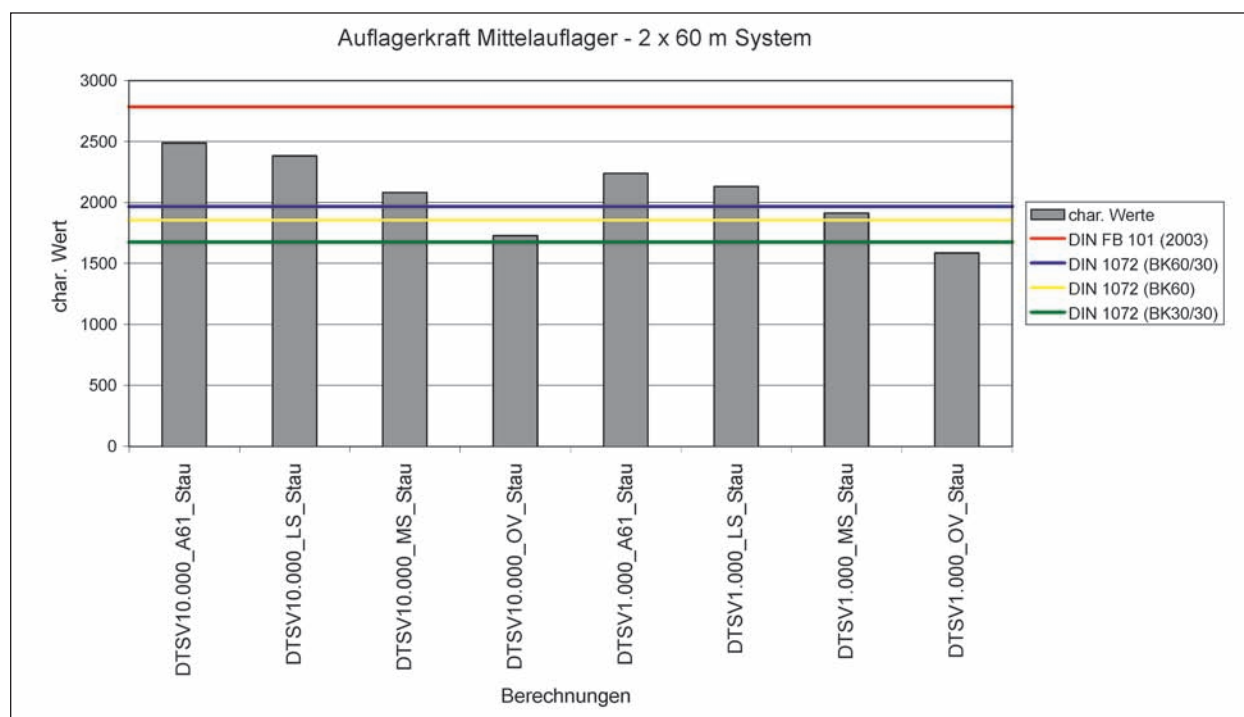


Bild 31: Ermittelte charakteristische Werte für die Auflagerkraft am Mittelaufleger des 2 x 60 m Systems in Abhängigkeit des Verkehrsaufkommens (DTSV-Wert) und der Verkehrszusammensetzung

der Ergebnisse der übrigen betrachteten Kennwerte wird daher verzichtet.

Die Auswirkung der verschiedenen angenommenen Verkehrszusammensetzungen in Kombination mit unterschiedlichen Gesamtgewichtsverteilungen wird in beiden Bildern deutlich. Auch die Differenzierung des Verkehrsaufkommens zeigt sich hier deutlich, obgleich dies in den oben aufgeführten Ergebnissen ebenfalls ersichtlich war. Die Bilder zeigen weiterhin auf, dass analog zum untergeordneten Straßennetz auch bezüglich dieses hier verwendeten reduzierten Untersuchungsumfangs eine Abstufung der Ziellastniveaus in Abhängigkeit der Verkehrszusammensetzung und des Verkehrsaufkommens möglich ist.

5.4 Schlussfolgerungen

Basierend auf den in den Bildern 30 bis 31 vorgestellten Ergebnissen werden in Tabelle 39 die sich ergebenden Lastmodelle, differenziert hinsichtlich der Verkehrsstärke und der Verkehrscharakteristik, in einer Zusammenfassung analog zum Kapitel 4.3 (Begegnungsverkehr) für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer dargestellt. In Anhang E sind hierzu die ermittelten Verhältnisse zwischen den Simulationsergebnissen und den Werten aus der Anwendung der verschiedenen Lastmodelle sowie die berechneten Wiederkehrperioden der Lastmodellni-

DTSV	A61/LS	MS	OV
< 1000	LM 1	BK 60/30	BK30/30
> 1000	LM 1	LM 1	BK 60
< 10000			

Tab. 39: Ergebniszusammenfassung – uneingeschränkte Restnutzungsdauer (Richtungsverkehr)

DTSV	A61/LS	MS	OV
< 1000	LM 1	BK 60	BK30/30
> 1000	LM 1	LM 1	BK 60
< 10000			

Tab. 40: Ergebniszusammenfassung – 20 Jahre Restnutzungsdauer (Richtungsverkehr)

veaus analog zum Kapitel 4.3 tabellarisch aufgeführt.

Entsprechend den bisherigen Untersuchungen werden in Tabelle 40 die identifizierten Lastmodelle für eine reduzierte Restnutzungsdauer von 20 Jah-

ren angegeben. Tabelle E 1 und Tabelle E 2 im Anhang E kann entnommen werden, dass bei einer reduzierten Restnutzungsdauer von 20 Jahren für die Verkehrscharakteristik Ortsverkehr („OV“) und einen DTSV-Wert von 10.000 das Lastmodell BK 30/30 hinreichend wäre. Da die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse auf einem reduzierten Untersuchungsumfang beruhen, werden die für den Begegnungsverkehr ermittelten Lastmodelle als Mindestniveau verwendet. Daher ergibt sich für den Ortsverkehr bei einem DTSV-Wert von 10.000 in Tabelle 40 das Lastmodell BK 60 (vgl. Tabelle 31 in Kapitel 4.3.3).

Bezüglich der Querrichtung (vgl. Kapitel 4.4) kann insbesondere aus den im Kapitel 4.4.7 aufgeführten Analysen geschlussfolgert werden, dass für die Querrichtung kein höheres Lastmodell erforderlich ist als hier für die Längsrichtung identifiziert wurde. In Kapitel 4.4.7 wurde sich zwar auf die Betrachtung des Begegnungsverkehrs beschränkt, die Ergebnisse in Kapitel 4.4.6 zeigen aber, dass sich für den Richtungsverkehr bezüglich der Querrichtung keine höheren Maximalwerte der Achslasten bzw. der Summe aus zwei Achslasten als für den Begegnungsverkehr ergeben.

6 Empfehlungen für die Nachrechnungsrichtlinie

Die in Kapitel 4 vorgestellten und in Kapitel 5 ergänzten Ergebnisse werden nachfolgend zu Empfehlungen für die sich aktuell in Bearbeitung befindliche Nachrechnungsrichtlinie zusammengefasst.

In Tabelle 41 werden hierzu die anzusetzenden Lastmodelle aufgelistet, die entsprechend den vorliegenden Untersuchungen für eine uneingeschränkte Restnutzungsdauer und ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen das aktuelle Ver-

kehrsaufkommen abdecken. Die Einteilung der Verkehrscharakteristik sollte dabei objektbezogen nach den im Lastmodell 4 für Ermüdungsberechnungen der DIN EN 1991-2 aufgeführten Anteilen verschiedener Fahrzeugtypen erfolgen. Hierzu sind entsprechende Daten aus automatischen Dauerzählstellen oder anderen geeigneten Erhebungen heranzuziehen. Für DTSV-Werte über 10.000 wurden im vorliegenden Projekt keine Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse in [1] zeigen aber, dass das Lastmodell 1 des DIN Fachberichtes bei DTSV-Werten über 10.000 bereichsweise nicht mehr ausreichend ist.

In Tabelle 42 sind die anzusetzenden Lastmodelle aufgezeigt, die für eine eingeschränkte Restnutzungsdauer von maximal 20 Jahren das aktuelle Verkehrsaufkommen abdecken. Im Vergleich zur uneingeschränkten Restnutzungsdauer ergeben sich hier an einigen Punkten „niedrigere“ anzusetzende Lastmodelle.

Für den Richtungsverkehr (Bundesfernstraßen) wurden in Kapitel 4 unter Annahme einer Verkehrszusammensetzung entsprechend dem Modell „A61“ Kombinationen aus Kompensationsmaßnahmen und Lastmodellen identifiziert, durch die das aktuelle Verkehrsaufkommen für eine eingeschränkte Restnutzungsdauer abgedeckt ist. Die Ergebniszusammenfassung in Tabelle 27 wird hierzu weiter vereinfacht und verallgemeinert. Die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Stützweite der Tragsysteme wird hierin durch eine entsprechende Zusammenfassung entfernt. In Tabelle 43 sind die Ergebnisse aufgeführt.

Für die Querrichtung der Tragsysteme ergeben sich aus den vorliegenden Untersuchungen unter der Annahme, dass Einzelachsen von Fahrzeugen den zwei bzw. drei Achsen der jeweiligen Lastmodelle gegenübergestellt werden, keine höheren Lastmodelle als für die Längsrichtung.

DTSV	Verkehrscharakteristik					
	Langstreckenverkehr		Mittelstreckenverkehr		Ortsverkehr	
	BFS *	uSN **	BFS	uSN	BFS	uSN
< 1.000	LM 1	BK 60/30	BK 60/30	BK 60	BK 30/30	BK 30/30
> 1.000 und < 10.000	LM 1	LM 1	LM 1	BK 60/30	BK 60	BK 60

* BFS: Bundesfernstraßennetz, mindestens zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung (Richtungsverkehr)
 ** uSN: untergeordnetes Straßennetz, ein Fahrstreifen pro Fahrtrichtung (Begegnungsverkehr)

Tab. 41: Empfehlungen für die anzusetzenden Lastmodelle bei uneingeschränkter Restnutzungsdauer und ohne Ansatz von Kompensationsmaßnahmen

DTSV	Verkehrscharakteristik					
	Langstreckenverkehr		Mittelstreckenverkehr		Ortsverkehr	
	BFS	uSN	BFS	uSN	BFS	uSN
< 1.000	LM 1	BK 60	BK 60	BK 45	BK 30/30	BK 30/30
> 1.000 und < 10.000	LM 1	LM 1	LM 1	BK 60	BK 60	BK 60

Tab. 42: Empfehlungen für die anzusetzenden Lastmodelle bei maximal 20 Jahren Restnutzungsdauer und ohne Ansatz von Kompensationsmaßnahmen

2 Fahrspuren			
DTSV	BK 60	BK 60/30 **	LM 1
< 1.000	A + B + ST10	0 + ST10	0
> 1.000 und < 10.000	A + B + ST15	C + ST10	0
> = 3 Fahrspuren, 40-200 m Einzelstützweite			
DTSV	BK 60 *	BK 60/30 **	LM 1
< 1.000	C	B	0
> 1.000 und < 10.000	A + B + ST10	C	0
0	keine Kompensationsmaßnahme (A bis C) erforderlich		
A	Abstandsbeschränkung auf 70 m (im fließenden Verkehr)		
B	Lkw-Überholverbot (mit Annahme, dass 5 % der Lkw-Fahrzeuge verbotswidrig die zweite Spur nutzen)		
C	Lkw-Überholverbot (mit Annahme, dass durch entsprechende Kontrollmaßnahmen kein Lkw-Fahrzeug die zweite Spur nutzt)		
ST10	objektbezogene Daten belegen einen Stauabstand zwischen 5 m und 15 m (gleichverteilt, Mittelwert 10 m)		
ST15	objektbezogene Daten belegen einen Stauabstand zwischen 5 m und 25 m (gleichverteilt, Mittelwert 15 m)		
*	Bei Einstufung in die Brückenklasse BK 60 ist für Systeme mit > = 3 Fahrspuren keine Dauergenehmigung des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs möglich.		
**	Bei Einstufung in die Brückenklasse BK 60/30 ist für Verkehrsstärken > 1.000 keine Dauergenehmigung des genehmigungspflichtigen Schwerverkehrs möglich		

Tab. 43: Kombination aus Lastmodell und zusätzlich erforderlichen Kompensationsmaßnahmen

7 Zusammenfassung

Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist die Identifikation von vorhandenen Lastmodellen aus verschiedenen Normengenerationen, durch die, gegebenenfalls unter Wirkung zusätzlicher Kompensationsmaßnahmen für den Verkehr, die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen für eine uneingeschränkte und eine eingeschränkte Restnutzungsdauer abgedeckt werden.

Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist dabei die bereits in zwei vorhergehenden Projekten [1, 2] entwickelte und verwendete Methodik der Verkehrssimulation. Die für die Simulationsrechnungen erforderlichen Eingangsdaten entstammen dabei vorliegenden Auswertungen von Verkehrsmessungen an verschiedenen Stellen im deutschen Autobahnnetz bzw. weiteren Annahmen.

Die Untersuchungen sind in zwei Hauptschwerpunkte unterteilt. Der erste Schwerpunkt beinhaltet die Betrachtung des Verkehrsaufkommens auf Bundesfernstraßen (Richtungsverkehr) mit einer Differenzierung hinsichtlich des Schwerverkehrsaufkommens (DTSV-Werte). Hierzu wurden zunächst die Lastmodelle identifiziert, durch die ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen die Einwirkungen aus dem aktuellen Schwerverkehrsaufkommen abgedeckt sind. Als Ergebnis zeigt sich hier, dass unter Annahme einer Verkehrszusammensetzung und Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge entsprechend den vorliegenden Verkehrsdaten der A 61 der Ansatz des Lastmodells 1 des DIN Fachberichtes generell erforderlich ist. Durch zusätzliche Kompensationsmaßnahmen für das Verkehrsaufkommen (Abstandsbeschränkung im fließenden Verkehr, Überholverbot, Einschränkung des genehmigungspflichtigen Großraum- und Schwerlastverkehrs ohne Routenbeschränkung

oder mit Dauergenehmigung) kann darüber hinaus das aktuelle Schwerverkehrsaufkommen durch ältere Lastmodelle abgedeckt werden (BK 60/30, BK 60). Die erforderlichen Kombinationen aus Lastmodell und zugehörigen erforderlichen Kompensationsmaßnahmen wurden zusammengestellt.

Der zweite Untersuchungsschwerpunkt bezieht sich auf das Verkehrsaufkommen auf dem untergeordneten Straßennetz (Begegnungsverkehr). Im Vergleich zum ersten Schwerpunkt wurden hierin die Annahmen für die Beschreibung des Verkehrsaufkommens im Zuge der durchgeführten Verkehrssimulationen erheblich erweitert, sodass hier differenzierte Ergebnisse für verschiedene angenommene Verkehrszusammensetzungen und Gesamtgewichtsverteilungen der in den Rechnungen betrachteten Fahrzeugtypen vorliegen. Hier zeigt sich als Ergebnis, dass in Abhängigkeit der Verkehrszusammensetzung (Verkehrscharakteristik) und des Verkehrsaufkommens (DTSV-Werte) unterschiedliche Lastmodelle geeignet sind, um die Einwirkungen aus dem aktuellen Verkehrsaufkommen ohne zusätzliche Kompensationsmaßnahmen abzudecken.

In einer ergänzenden Untersuchung für den Richtungsverkehr wurde anhand eines reduzierten Untersuchungsumfangs die Auswirkung der verschiedenen für den Begegnungsverkehr angenommenen Verkehrszusammensetzungen überprüft. Wie für den Begegnungsverkehr ergibt sich hierdurch ebenfalls die Möglichkeit einer differenzierten Festlegung erforderlicher Lastmodelle in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und der Verkehrszusammensetzung.

Die in diesen Untersuchungsschwerpunkten ermittelten Ergebnisse beziehen sich auf die Längsrichtung der betrachteten Tragsysteme. Für die Querrichtung wurde ergänzend eine analytische Betrachtung durchgeführt. Als Ergebnis zeigt sich hier, dass unter der Annahme, dass Einzelachsen von Fahrzeugen den zwei bzw. drei Achsen in den jeweiligen Lastmodellen gegenübergestellt werden, gegenüber der Längsrichtung keine höheren Lastmodelle erforderlich sind.

Die ermittelten Ergebnisse wurden abschließend zu Empfehlungen für die Nachrechnungsrichtlinie zusammengefasst.

Die vorliegenden Untersuchungen beziehen sich generell auf ein aktuelles Verkehrsaufkommen.

Verkehrsentwicklungen hinsichtlich einer Änderung von Fahrzeugtypen (zukünftige Zulassung höherer Achslasten oder Gesamtgewichte) oder Fahrzeugzusammensetzungen sind hier nicht enthalten. Die Ergebnisse lassen sich aber für eine zukünftige Verkehrsentwicklung hinsichtlich des Verkehrsaufkommens verwenden, da verschiedene Verkehrsstärken untersucht und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Endergebnisse ermittelt wurden. Generell beziehen sich alle vorliegenden Ergebnisse auf den Vergleich von aus den Simulationsrechnungen durch entsprechende statistische Auswertungen ermittelten Kennwerten mit definierten Wiederkehrperioden (Biegemomente, Auflagerkräfte usw.) mit den entsprechenden Werten, die sich aus der Anwendung der verschiedenen betrachteten Lastmodelle ergeben.

Sicherheitstheoretische Untersuchungen, in denen über die isolierte Betrachtung der Verkehrslast hinaus das Zusammenspiel zwischen Einwirkungen und Widerständen betrachtet wird, sind nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes. Hier zeigt sich ein wesentlicher Punkt für weiterführende Untersuchungen. Die vorliegenden Ergebnisse können hierzu eine gute Grundlage bilden, da die wahrscheinlichkeitstheoretische Beschreibung der Verkehrslast hier sehr detailliert vorliegt.

Des Weiteren wurde im vorliegenden Projekt der starke Einfluss der Annahmen für den Abstand der Fahrzeuge im Stauverkehr aufgezeigt. Datenbestände, die die hier getroffenen Annahmen bestätigen oder auch widerlegen, sind dem Autor gegenwärtig nicht bekannt. Es wäre daher empfehlenswert, zukünftig durch geeignete Verkehrserfassungen solche Datenbestände zu sammeln.

Die eingesetzten Verfahren der Verkehrssimulation und die statistische Auswertung sollten ebenfalls Schwerpunkt einer weiterführenden Entwicklung sein. Die Abbildung des Verkehrsaufkommens ist an zahlreichen Stellen gegenüber dem realen Verkehrsaufkommen stark vereinfacht. Überholvorgänge, Pulkbildungen aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeiten der Fahrzeuge und Staubildungen können im vorliegenden Entwicklungsstand der eingesetzten Programmsysteme nur ersatzweise abgebildet werden. Ebenso wird die dynamische Wechselwirkung zwischen Fahrzeug, Fahrbahn und Tragwerk nur vereinfacht dargestellt.

Generell kann aber festgestellt werden, dass sowohl die in diesem Forschungsprojekt als auch in

zwei vorhergehenden Forschungsprojekten eingesetzte Methodik geeignet ist, um für den Brückenbestand Lastmodelle zu identifizieren, die die Einwirkungen aus dem Verkehrsaufkommen abdecken. Ein größerer Umfang der Eingangsdaten ist dabei zukünftig anzustreben, um die an einigen Stellen getroffenen Annahmen mit real erfassten Daten abgleichen zu können.

Literatur

- [1] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Anpassung des DIN-Fachberichtes 101 'Einwirkungen auf Brücken' an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnung. Schlussbericht zu FE 15.451/2007/FRB. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2009
- [2] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Anpassung des DIN-Fachberichtes 101 'Einwirkungen auf Brücken' an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnung – Nachtrag. Schlussbericht zu FE 15.451/2007/ FRB (Nachtrag). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2010
- [3] KASCHNER, R. et. al.: Auswirkungen des zunehmenden Schwerverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 68, 2008
- [4] GRÜNBERG, J. et. al.: Auswirkungen des Schwerverkehrs auf Brückenbauwerke. Schlussbericht zu FE 15.395/2004/HRB. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2010
- [5] MERZENICH, G.; SEDLACEK, G.: Hintergrundbericht zum Eurocode 1 – Teil 3.2: „Verkehrslasten auf Straßenbrücken“. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik (1995), Heft 711
- [6] BÖNING, S.: Analyse zur Simulation des Straßenverkehr und der Auswirkungen des Verkehrs auf Brücken. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Diplomarbeit, 2006

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2001

- B 28: Erfassung und Bewertung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl
Eilers € 11,00
- B 29: Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton
Gatz, Quaas € 12,00
- B 30: Materialkonzepte, Herstellungs- und Prüfverfahren für elutionsarme Spritzbetone
Heimbecher € 11,00
- B 31: Verträglichkeit von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen mit Abdichtungssystemen nach den ZTV-BEL-ST
Eilers, Stoll € 10,50
- B 32: Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlusten
Schröder € 11,50
- B 33: Bewährung von Belägen auf Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten
Eilers, Sczyslo € 17,00
- B 34: Neue reaktionsharzgebundene Dünnbeläge als Fahrbahnbeläge auf einem D-Brücken-Gerät
Eilers, Ritter € 13,00

2002

- B 35: Bewährung von Brückenbelägen auf Betonbauwerken
Wruck € 11,50
- B 36: Fahrbahnübergänge aus Asphalt
Wruck € 11,00
- B 37: Messung der Hydrophobierungsqualität
Hörner, von Witzhausen, Gatz € 11,00
- B 38: Materialtechnische Untersuchungen beim Abbruch der Talbrücke Haiger
Krause, Wiggenhauser, Krieger € 17,00
- B 39: Bewegungen von Randfugen auf Brücken
Eilers, Wruck, Quaas € 13,00

2003

- B 40: Schutzmaßnahmen gegen Graffiti von Wespennest
€ 11,50
- B 41: Temperaturmessung an der Unterseite orthotroper Fahrbahnplatten beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht
Eilers, Kühler, Quaas € 12,50
- B 42: Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau
Städig, 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: Erfahrungssammlungen:
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, Lähler € 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 Expositionsklasse 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 - Bewährung
Schröder € 13,50

- B 61: **Untersuchung von Korrosion an Fußplatten von Schutzplankenpfosten**
Schröder, Staech € 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 Expositionsklasse 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.
Frieße, 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 Witzhausen € 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 Euro-codes**
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 Spannbe-tonbalken mit girlandenförmiger Spann-gliedführung**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Maurer, Kiziltan, Zilch, Dunkelberg, Fitik (in Vorbereitung)
- 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

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.