

**Modell zur
straßenbautechnischen
Analyse der durch
den Schwerverkehr
induzierten
Beanspruchung des
BAB-Netzes**

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 61

bast

Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes

von

Andreas Wolf

unter Mitarbeit von

Regina Fielenbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 61

bast

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt F 1100.3406002 des Arbeitsprogramms der Bundesanstalt für Straßenwesen:
Modell zur Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Belastung/Beanspruchung des BAB-Netzes im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-86918-000-7

Bergisch Gladbach, April 2010

Kurzfassung – Abstract

Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes

In den letzten 29 Jahren bis 2007 nahm die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs im Gegensatz zu Eisenbahn und Binnenschifffahrt, die im selben Zeitraum kaum Zuwächse verzeichneten, von ca. 74 Mrd. t.km im Jahre 1978 bis auf knapp 449 Mrd. t.km im Jahre 2007 zu. Das entspricht einer Steigerung auf das Sechsfache oder einer durchschnittlichen jährlichen Zunahme um 6,4 %. Prognosen zufolge wird sie sich bis 2050 auf dann etwa 870 Mrd.t.km fast verdoppeln.

Die Ursachen für die vergangene starke Zunahme sind zum einen die Wiedervereinigung Deutschlands im Oktober 1990, die Schaffung des europäischen Binnenmarktes, die Ost-Erweiterung Europas sowie die Liberalisierung des Welthandels. Die Folgen für das geografisch in der Mitte Europas liegende Deutschland in einer erweiterten EU sind nicht nur eine Zunahme des Binnenverkehrs, sondern auch des grenzüberschreitenden und insbesondere des Transitverkehrs. Deutschland ist also auch zukünftig mit deutlich wachsendem Verkehrsaufkommen konfrontiert.

Da ein nachfrageadäquater Ausbau des Straßennetzes aus ökonomischen und ökologischen Gründen kaum machbar ist, ist mit zunehmendem Straßengüterverkehr ein Beanspruchungszuwachs der gleichzeitig immer älter werdenden Straßeninfrastruktur verbunden. Zukünftig wird somit ein wesentlicher Anteil der trotz der in die Straßeninfrastruktur zurückfließenden Straßenbenutzungsgebühren knappen zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen in die Erhaltung von Straßen und Brücken investiert werden müssen. Für die Entwicklung von Erhaltungsstrategien und eines optimalen Einsatzes der knappen finanziellen Ressourcen für die Straßenerhaltung, der Einführung neuer Finanzierungskonzepte im Straßenbau (Funktionsbauverträge, A-Modelle u. a.) und der rechnerischen Dimensionierung von Verkehrsflächen ist die Kenntnis der aus dem Straßengüterverkehr resultierenden Belastung/Beanspruchung und deren zeitlicher und räumlicher Entwicklung von grundlegender Bedeutung.

Daher entschied Mitte der neunziger Jahre das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau-

und Wohnungswesen (BMVBW) (jetzt Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)), ein neues repräsentatives Netz zur permanenten Achslasterfassung auf BAB bundesweit zu installieren. Die BAST wurde durch das BMVBW mit der Konzeption und der fachlichen Begleitung des Netzaufbaus beauftragt.

Das Achslasterfassungsnetz auf BAB wird in vier Ausbaustufen realisiert und soll 40 repräsentative Achslasterfassungsquerschnitte umfassen. Zwei Ausbaustufen mit insgesamt 14 Messquerschnitten und 38 Achslastwaagen sind in acht verschiedenen Bundesländern bereits realisiert.

Mit der sukzessiven Inbetriebnahme der zweiten Ausbaustufe des Achslasterfassungsnetzes konnte nun das im Jahr 2000 vom Verfasser entwickelte Modell SVIB-BAB (Berechnung der Schwerverkehrsinduzierten Straßenbelastung/-beanspruchung der BAB), mit dem erstmalig die Berechnung der Straßenbelastung/-beanspruchung des Hauptfahrstreifens von BAB nur anhand der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs möglich wurde, aktualisiert und präzisiert werden. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit einer Einbindung von an automatischen Dauerzählstellen (603 auf BAB; Stand: 2006) erfassten Verkehrsmengen des Schwerverkehrs geschaffen, die eine Betrachtung der Straßenbelastung/-beanspruchung auf Netzebene erlaubt.

Der Forschungsbericht enthält in der Originalfassung umfangreiche Anhänge, auf deren Wiedergabe in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet wurde. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf diese Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

Model for road engineering analysis of the load on the federal motorway network caused by heavy traffic

In the last 29 years until 2007, the transport volume handled by road freight traffic increased from approx. 74 billion t*km in 1978 to nearly 449 billion t*km in 2007, while the performance of railways and inland navigation only showed a small increase during this period. Road freight traffic increased by

a factor six, which is equivalent to an average annual growth rate of 6.4%. According to predictions, the transport volume will almost double to approx. 870 billion t*km by 2050.

The causes for this strong increase are the reunification of Germany in October 1990, the creation of an internal European market, the expansion of Europe towards the East as well as the liberalisation of global trade. The consequences for Germany, which is geographically located in the middle of Europe in an expanding EU, do not only involve an increase in domestic traffic, but also an increase in trans-border traffic and, in particular, transit traffic. In future, Germany will therefore have to face a strongly increasing traffic volume.

An extension of the road network that is adequate for the increasing demand is hardly feasible, due to economic and ecological constraints. At the same time, the growing road freight traffic places increasing strain on the aging road infrastructure. In future, a significant part of the available financial resources, which will be tight in spite of the road usage fees dedicated for that purpose, will therefore have to be invested in the maintenance of roads and bridges. Knowledge of the stress/strain resulting from road freight traffic and its temporal and spatial development is therefore of crucial importance for developing maintenance strategies, the optimal use of financial resources for road maintenance, introducing new financing concepts in road construction (functional building contracts, A-models, etc.) and calculating the size of the traffic areas required.

The former Federal Ministry for Transport, Building and Housing (BMVBW) (now Federal Ministry for Traffic, Building and Urban Affairs (BMVBS)) therefore decided in the middle of the 1990s to install a new, representative network for permanent axle load monitoring on federal motorways in the whole federal area. The BMVBW tasked the BAST with planning the network development and providing technical support.

The axle load monitoring network on the federal motorways will be built in four development phases and will include 40 representative axle load monitoring sections. Two development phases with a total of 14 measuring sections and 38 axle load scales in eight different federal states have already been implemented.

The model SVIB-BAB (Calculation of the road stress/strain created by heavy traffic on federal motorways), which was developed by the author in 2000 and allowed for the first time to calculate the road stress/strain on the main lane of a federal motorway based only on the average daily traffic load due to heavy traffic, could be updated and made more accurate after the stepwise activation of the second development phase of the axle load monitoring network. It became also possible to integrate the heavy traffic volume monitored by the automatic, permanent counting points (603 on federal motorways in 2006), which facilitates the analysis of road stress/strain at network level.

The original version of the research report contains extensive appendices. Reproducing these appendices in the present publication was rejected. They are available at the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to these appendices have been maintained in the report for the information of the reader.

Inhalt

1	Einleitung	7	4.11	Abgleich mit den bemessungs- relevanten Kenngrößen nach den RStO 01	44
2	Vorgang	8	4.11.1	Mittlerer Lastkollektivquotient q_{Bm} ...	45
3	Achslasterfassung auf BAB	9	4.11.2	Mittlere Achszahl pro Fahrzeug des Schwerverkehrs f_A	45
3.1	Messverfahren und Ausstattung der Messquerschnitte	9	5	Modellansatz zur Berechnung der schwerverkehrsinduzierten Belastung/Beanspruchung der BAB	46
3.2	Voraussetzungen für die Erfassung von Achslasten	10	5.1	Struktur des Modells SVIB-BAB	46
3.3	Geografische Lage der Messquer- schnitte der 1. und 2. Ausbaustufe	10	5.2	Erfassung des Schwerverkehrs an Dauerzählstellen	48
3.4	Datenerfassung	11	5.3	Tertiärebene des Modells SVIB-BAB	48
4	Analyse der erfassten Einzel- fahrzeugdaten.	13	5.4	Sekundärebene des Modells SVIB-BAB	53
4.1	Vorbemerkungen	13	5.4.1	Fahrzeugartbezogene Zusammen- hänge zwischen Fahrzeug-Gesamt- gewicht, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten	54
4.2	Ort und Zeitraum der Einzel- fahrzeugdatenerfassung	13	5.4.2	Modellierung des Modells SVIB-BAB auf der Sekundärebene mittels Petri-Netzen	62
4.3	Umfang und Struktur der Einzel- fahrzeugdaten	13	5.4.2.1	Was sind Petri-Netze?	62
4.4	Durchschnittliche tägliche Verkehrs- stärke des Schwerverkehrs	15	5.4.2.2	Modellierung des Modells SVIB-BAB auf der Sekundärebene	62
4.5	Zusammensetzung des Schwer- verkehrs auf BAB	16	6	Nutzen des SVIB-BAB-Modells	65
4.5.1	Neuklassifizierung von falsch zu- geordneten Fahrzeugarten	16	7	Zusammenfassung	67
4.5.2	Zusammensetzung des Schwer- verkehrs	18	8	Literatur	70
4.6	Aus dem Schwerverkehr resul- tierende Lastmenge	26			
4.7	Aus dem Schwerverkehr resul- tierende Achslastverteilung	29			
4.8	Aus dem Schwerverkehr resul- tierende äquivalente 10-t-Achs- übergänge	31			
4.9	Häufigkeitsverteilung der Fahrzeug- Gesamtgewichte	36			
4.10	Tagesganglinien des DTVSV, der Lastmenge und der äquivalenten 10-t-Achsübergänge	41			

1 Einleitung

In den letzten 29 Jahren bis 2007 nahm die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs im Gegensatz zu Eisenbahn und Binnenschifffahrt, die im selben Zeitraum kaum Zuwächse verzeichneten, von ca. 74 Mrd. t.km im Jahr 1978 bis auf knapp 449 Mrd. t.km im Jahre 2007 zu. Das entspricht einer Steigerung um das Sechsfache. Während die Zunahme von 1978 bis ins Jahr 1990 mit durchschnittlich 4,1 % pro Jahr noch moderat ausfiel, ist seit 1990, also bis 2007 seit 17 Jahren, mit durchschnittlich 8 % pro Jahr ein rasanter Anstieg zu verzeichnen (s. Bild 1).

Die Ursachen für die starke Zunahme sind zum einen die Wiedervereinigung Deutschlands im Oktober 1990, die Schaffung des europäischen Binnenmarktes, die Ost-Erweiterung Europas sowie die Liberalisierung des Welthandels. Die Folgen für das geografisch in der Mitte Europas liegende Deutschland in einer erweiterten EU sind nicht nur eine Zunahme des Binnenverkehrs, sondern auch des grenzüberschreitenden und insbesondere des Transitverkehrs. Eine vom BMVBS in Auftrag gegebene Prognose [IB07] kommt zu dem Ergebnis, dass die Güterverkehrsleistung bis 2025 um knapp 74 % (Basisjahr 2004) wachsen wird. Das entspricht bezogen auf das aktuelle Jahr 2008 einer Zuwachsrate von 2,5 % pro Jahr. Aktuelle Prognosen ist eine Verdoppelung der Güterverkehrsleistung von etwas mehr als 600 Mrd. t.km im Jahr 2007 auf 1.200 Mrd. t.km im Jahr 2050 zu entnehmen [PT07]. Dabei wird das Wachstum des Güterverkehrs nach wie vor im Wesentlichen auf der Straße stattfinden (vgl. Bild 1). Deutschland ist also auch zukünftig mit deutlich wachsendem Verkehrsaufkommen konfrontiert.

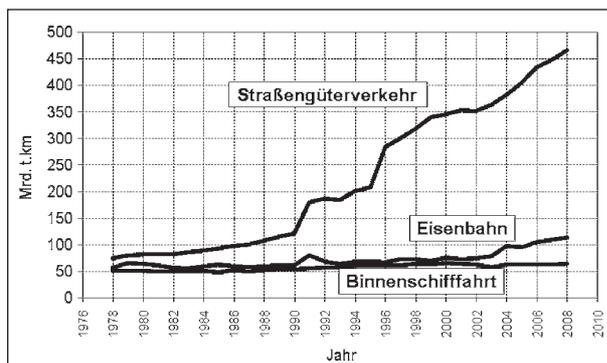


Bild 1: Verkehrsleistung im Güterverkehr zwischen 1978 und 2007

Da ein nachfrageadäquater Ausbau des Straßennetzes aus ökonomischen und ökologischen Gründen kaum machbar ist, ist mit zunehmendem Straßengüterverkehr ein Beanspruchungszuwachs der gleichzeitig immer älter werdenden Straßeninfrastruktur verbunden. Zukünftig wird somit ein wesentlicher Anteil der trotz der in die Straßeninfrastruktur zurückfließenden Straßenbenutzungsgebühren knappen zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen in die Erhaltung von Straßen und Brücken investiert werden müssen.

Für die Entwicklung von Erhaltungsstrategien unter Berücksichtigung funktionaler Beschreibungen des Verhaltens von Straßenbefestigungen im Nutzungszeitraum und eines optimalen Einsatzes der knappen finanziellen Ressourcen für die Straßenerhaltung, der Einführung neuer Finanzierungskonzepte im Straßenbau (Funktionsbauverträge, A-Modelle u. Ä.) und der rechnerischen Dimensionierung von Verkehrsflächen ist die Kenntnis der aus dem Straßengüterverkehr resultierenden Belastung/Beanspruchung und deren zeitlicher und räumlicher Entwicklung von grundlegender Bedeutung insbesondere vor dem Hintergrund des prognostizierten Zuwachses des Straßengüterverkehrs. Aber auch Wirkungsanalysen von Szenarien wie der Einführung neuer Fahrzeugkonzepte, der möglichen Erhöhung der zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten im Rahmen der EU-Harmonisierung und nicht zuletzt der Entwicklung einer beanspruchungsgerechten Straßenbenutzungsgebühr mit der Möglichkeit einer ihr innewohnenden Verkehrssteuerung bedürfen als Grundlage der Kenntnis der Belastungssituation der Straßeninfrastruktur in situ. Daher ist die In-situ-Erfassung der aus dem Straßengüterverkehr resultierenden Belastung/Bean-

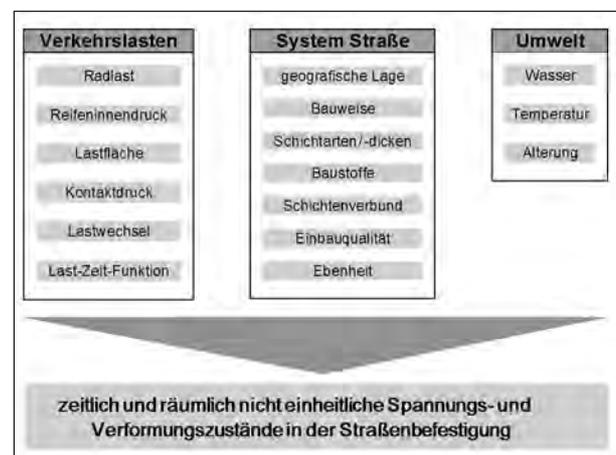


Bild 2: Externe und interne Einflüsse auf die Straßenbeanspruchung

spruchung der Straßeninfrastruktur eine Notwendigkeit.

Die Wechselwirkungen zwischen den Belastungen aus Verkehr und Umwelt und den Systemeigenschaften der Straßenbefestigung (Art, Anordnung, Dicke und Qualität der Schichten, Verbundwirkung) führen in einer Straßenbefestigung zu komplexen Beanspruchungssituationen (s. Bild 2). Diese zeitlich und räumlich ständig wechselnde Beanspruchung bestimmt das Langzeitgebrauchsverhalten von Straßenbefestigungen. Dabei ist die Belastung aus dem Schwerverkehr eine wesentliche Einflussgröße.

2 Vorgang

Um die notwendigen Daten über die tatsächliche Belastung der Bundesautobahnen (BAB), einer Teilmenge des Bundesfernstraßennetzes, durch den Schwerverkehr zu erhalten, waren im Rahmen des gemeinsam von der Materialprüfanstalt Baden-Württemberg und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführten Forschungsprojekts „Langzeitbeobachtungen an ausgewählten Straßenabschnitten“ (LZB) [LZB92] u. a. an 98 Streckenabschnitten (BAB, Bundes- und Landesstraßen) Achslasten und die Zusammensetzung des Schwerverkehrs erfasst worden. Mit dem Ende des Forschungsprojekts 1989 war die Erfassung der Achslasten und der Zusammensetzung des Schwerverkehrs eingestellt worden. Nur an fünf Streckenabschnitten wurden sie bis einschließlich 1994 weitergeführt.

Da seit 1989 keine netzweiten Informationen über die aus dem Schwerverkehr hervorgehende Belastung/Beanspruchung und ihre zeitliche Entwicklung mehr vorlagen, entschied Mitte der neunziger Jahre das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (jetzt Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)), ein neues repräsentatives Netz zur permanenten Achslasterfassung auf BAB bundesweit zu installieren. Die BASt wurde durch das BMVBW mit der Konzeption und der fachlichen Begleitung des Netzaufbaus beauftragt. Zuständig hierfür ist in der BASt das Referat V5 „Verkehrserfassung, Verkehrsleittechnik, Verkehrsbetrieb“.

Das Achslasterfassungsnetz auf BAB wird in vier Ausbaustufen realisiert und soll 40 repräsentative Achslasterfassungsquerschnitte, im Weiteren mit

Messquerschnitten bezeichnet, umfassen [ME97]. Die erste Ausbaustufe, die Anfang 1998 in Betrieb ging, umfasst ein Teilnetz von fünf Messquerschnitten auf ebenso vielen BAB im Großraum Frankfurt a. M. [HB98] mit insgesamt 13 Achslastwaagen. Die zweite Ausbaustufe umfasst weitere 9 Messquerschnitte mit insgesamt 25 Achslastwaagen (s. Tabelle 1), die seit Frühjahr 2004 sukzessive in Betrieb gingen [ME04].

Mit Erlass S 26/16.57.30/9 BASt 2000 vom 06.10.2000 des BMVBW wurde die BASt beauftragt, die Ergebnisse der Achslastmessungen im BAB-Netz im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen zu analysieren. Eine erste Analyse der im ersten Quartal 1998 mit dem Teilnetz in Hessen erfassten Achslasten und Einzelfahrzeugdaten des Schwerverkehrs, im Weiteren mit Einzelfahrzeugdaten bezeichnet, erfolgte im Rahmen des BASt-AP-Projekts 98 341/S4 [WO00].

Die mit dem BASt-AP-Projekt 98 341/S4 u. a. hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Fahrzeuganzahl (z. B. der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (DTV(SV))) und der Lastmenge bzw. der äquivalenten 10-t-Achsübergänge gewonnenen Erkenntnisse mündeten in einem ersten Belastungs-/Beanspruchungsmodell. Dieses grobe Modell, das nur auf den im ersten Quartal 1998 in Hessen erfassten Einzelfahrzeugdaten beruht, konnte bereits für verschiedene straßenbautechnische Fragestellungen eingesetzt werden [WO011, WO012, WO031, WO032, WO041, WO042, GL06].

Mit der Erweiterung des Achslasterfassungsnetzes soll nun auf Basis neuerer an verschiedenen Messquerschnitten erfasster Einzelfahrzeugdaten der Modellansatz aktualisiert und präzisiert sowie auf eine Netzbetrachtung erweitert werden, sodass auch Daten der automatischen Dauerzählstellen (603 auf BAB; Stand: 2006) eingebunden werden können. Weiterhin soll die Möglichkeit geschaffen werden, z. B. Auswirkungen von Änderungen der Zusammensetzung des Schwerverkehrs und seines Auslastungsgrades und auch Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich der zulässigen Achslasten und Gesamtgewichte auf die Straßenbeanspruchung abzubilden.

3 Achslasterfassung auf BAB

3.1 Messverfahren und Ausstattung der Messquerschnitte

Im bisher aufgebauten Achslasterfassungsnetz werden die Einzelfahrzeugdaten mit zwei verschiedenen Sensoren erfasst: mit der Wiegeplatte (erste Ausbaustufe in Hessen) und dem Piezosensor (zweite Ausbaustufe). Piezosensoren werden wohl auch in den beiden letzten Ausbaustufen 3 und 4 Verwendung finden.

Da die Achslasterfassungsquerschnitte eines hohen Investitionsaufwands bedürfen (ca. 215.000 Euro pro Messquerschnitt, 107.500 pro Fahrtrichtung), wird in der Regel nur der Hauptfahrstreifen, der Fahrstreifen mit der höchsten Belastung durch den Straßengüterverkehr, mit ihnen ausgestattet. Liegt der Anteil der Fahrzeuge des Straßengüterverkehrs auf dem 1. Überholstreifen bezogen auf alle Fahrzeuge des Straßengüterverkehrs über 15 %, sollte auch der Überholstreifen mit Achslastsensoren ausgestattet werden [ME04].

Die Ausstattung der Messquerschnitte umfasst die eigentliche Achslasterfassung, Induktivschleifen zur Verkehrsmengenerfassung, Bestimmung der Fahrzeugart und Geschwindigkeitsmessung sowie die Streckenstation zur zentralen Datenerfassung (Bild 5). Dabei sind die Biegeplatten zwischen den Induktivschleifen angeordnet worden, während bei den Piezosensoren zwei Sensorreihen mit einem

Mindestabstand hintereinander eingebaut werden, zwischen denen die Induktivschleifen liegen. Bild 3 zeigt eine in den Hauptfahrstreifen eingebaute Biegeplatte in situ.

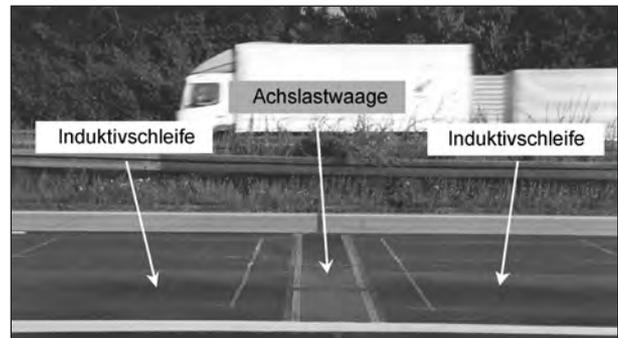


Bild 3: Beispielhafte Darstellung einer in den Hauptfahrstreifen einer BAB eingebauten Biegeplatte zur Achslasterfassung

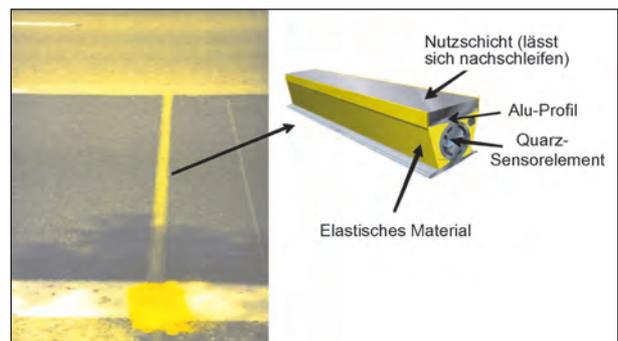


Bild 4: Beispielhafte Darstellung eines in den Hauptfahrstreifen einer BAB eingebauten Piezosensors zur Achslasterfassung

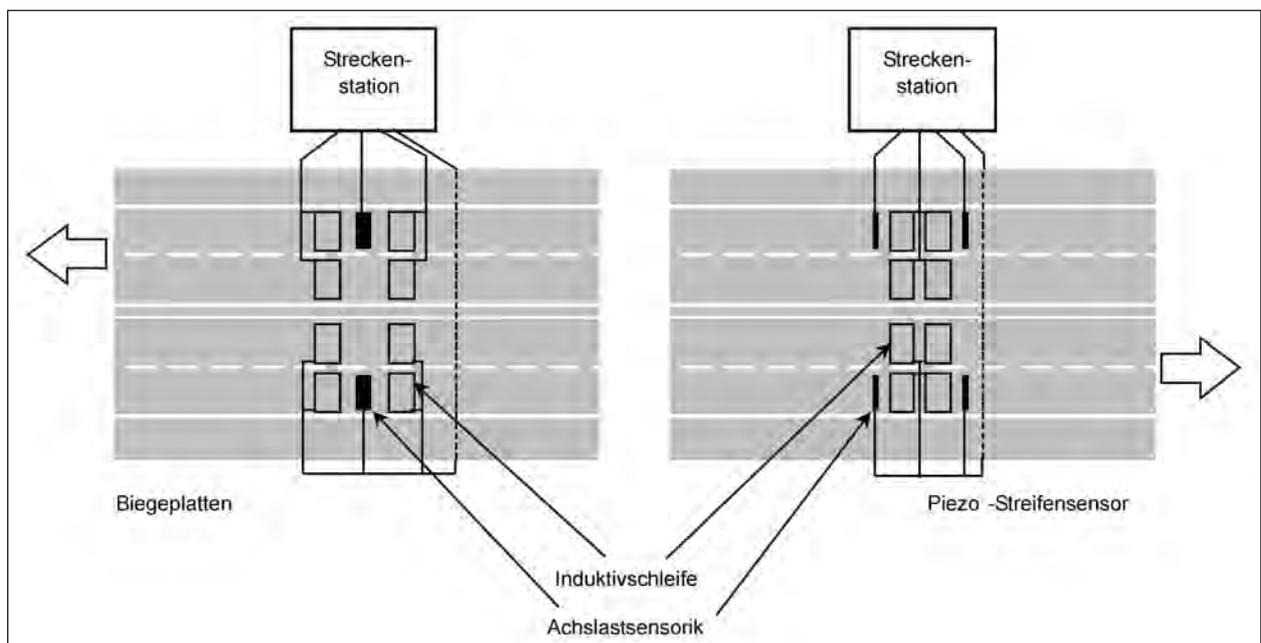


Bild 5: Anordnung der Achslastsensoren und Induktivschleifen in einem vierstreifigen Messquerschnitt [ME04]

3.2 Voraussetzungen für die Erfassung von Achslasten

Mit der Achslastmessung sollen die statischen Achslasten möglichst genau gemessen werden. Die Genauigkeit der Achslasterfassung in der Straße wird neben der Sensorgenauigkeit auch maßgeblich durch die Straßenverhältnisse und den Einbau der Sensoren beeinflusst. Die Straßenverhältnisse beeinflussen den dynamischen Anteil der Achslasten, der zusätzlich zum statischen Gewicht der Fahrzeuge (Leergewicht plus Nutzlast) in die Straßenbefestigung eingetragen wird. Dynamische Achslasten entstehen auf vielfältige Art und Weise: hauptsächlich verursacht durch die regellose Unebenheit der Straßenoberfläche in Längs- und Querrichtung, durch Kurvenfahrten und bestimmte Fahrmanöver (etwa Slalomfahrt oder abrupte Brems- und Beschleunigungsvorgänge) – dadurch werden Nick- und Wankbewegungen des Fahrzeugs verursacht, die zu Gewichtsverlagerungen führen –, aber auch durch die Qualität der Feder-/Dämpfersysteme an den Fahrzeugen und Unwuchten an den Rädern.

Um eine Minimierung des dynamischen Anteils an den Achslasten zu erreichen, werden Messquerschnitte nach den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) [TLS02] nur an Stellen eingebaut die folgende Kriterien erfüllen:

- Fahrstreifenbreite > 3 m,
- Längsneigung 45 m vor und 20 m nach den Sensoren $\leq 2 \%$,

- Querneigung 45 m vor und 20 m nach den Sensoren $\leq 2 \%$,
- geringe Fahrbahnunebenheiten, Profiltiefe in Quer- und Längsrichtung unter einer 4 m langen Messlatte < 4 mm,
- Kurvenradius ≥ 1.700 m und
- möglichst gleichmäßiger Verkehrsablauf (wenig Brems- und Beschleunigungsvorgänge oder Fahrstreifenwechsel).

Darüber hinaus darf der Anschluss für die Energieversorgung nicht zu weit entfernt sein und Möglichkeiten zur Datenübertragung müssen zur Verfügung stehen.

3.3 Geografische Lage der Messquerschnitte der 1. und 2. Ausbaustufe

Die Auswahl der Standorte der Messquerschnitte erfolgte mittels einer nach dem Verkehrsaufkommen der Fahrzeuge des Straßengüterverkehrs geschichteten Stichprobe aus allen Streckenabschnitten des BAB-Netzes [ME97]. Die Stichprobe umfasst die für eine repräsentative Stichprobe aus dem BAB-Netz mindestens erforderlichen 36 Streckenabschnitte. Zusätzlich zu diesen 36 Streckenabschnitten wurden noch 4 zusätzliche Standorte festgelegt, mit denen spezielle Fragestellungen, wie z. B. die Ausprägung des grenzüberschreitenden Verkehrs, untersucht werden können. Somit

lfd. Nr.	Ausbaustufe	BAB	Bundesland	Fahrtrichtung 1	bei km	Anzahl der Fahrstreifen mit Achslasterfassung	Anzahl der Fahrstreifen mit Induktivschleifen	Fahrtrichtung 2	bei km	Anzahl der Fahrstreifen mit Achslasterfassung	Anzahl der Fahrstreifen mit Induktivschleifen
1	1	A 3	Hessen	Frankfurt a. M.	197+120	1	3	Würzburg	197+120	1	3
2		A 5			Darmstadt	504+900	2	4	Darmstadt	504+900	2
3				Kassel	384+200	1	2	Gießen	384+200	1	2
4				Gießen	208+676	1	2	Aschaffenburg	208+676	1	2
5		A 66		Frankfurt a. M.	106+130	2	3	Wiesbaden	106+130	1	3
6	2	A1/61	Nordrhein-Westfalen	Köln	439+100	2	3	Koblenz	439+100	2	3
7		A 2	Brandenburg	Berlin	13+900	1	3	Magdeburg	9+000	1	3
8		A 8	Bayern	München	8+660	2	3	Stuttgart	8+690	2	3
9				Nürnberg	470+940	2	3	München	466+000	2	3
10		A 9	Sachsen-Anhalt	Berlin	86+500	1	3	Leipzig	81+000	2	3
11		A 12	Brandenburg	Berlin	11+950	1	2	Frankfurt/Oder	11+950	1	2
12		A 24	Mecklenburg-Vorpommern	Hamburg	104+100	1	2	Berlin	104+100	1	2
13		A 33	Nordrhein-Westfalen	Paderborn	34+500	1	2	Bielefeld	34+500	1	2
14		A 40	Nordrhein-Westfalen	Duisburg	3+060	1	2	Venlo	3+060	1	2

Tab. 1: Einbauorte und Ausstattung der Messquerschnitte zur Achslasterfassung im BAB-Netz

wird das Achslasterfassungsnetz in seiner Gesamtheit die eingangs erwähnten 40 Messquerschnitte umfassen.

Die Messquerschnitte der 1. und 2. Ausbaustufe sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Ihre geografische Lage zeigt Bild 6, wobei die lfd. Nr. aus der Tabelle 1 zu ihrer Identifikation dient.

Während des Betriebs der Messquerschnitte traten an den eingebauten Sensoren Schäden auf, die zusammen mit den Herstellern eine Analyse und Problembeseitigung erforderten. Das führte letztlich zum Austausch und Neueinbau der Sensoren (s. [ME04]) mit einem anschließenden mehrmonatigen Testbetrieb. So konnten die Messquerschnitte erst wieder ab Frühjahr 2004 in Betrieb genommen werden.

Aufgrund der technischen Probleme mit den Achslastwagen standen für das vorliegende Projekt nur an Messquerschnitten der 2. Ausbaustufe erfasste Einzelfahrzeugdaten zur Verfügung. Die entsprechenden Messquerschnitte sind in der Tabelle 1 anhand der schwarz hinterlegten lfd. Nr. und den grau

hinterlegten Felder zu erkennen und im Bild 6 anhand der schwarz hinterlegten Kreise; zusätzlich in das Bild mit aufgenommen ist/sind die jeweils berücksichtigte/n Fahrrichtung/en. Die Anordnung der Achslastsensoren und der Induktivschleifen in den entsprechenden Querschnitten geht aus Anhang 1 hervor.

3.4 Datenerfassung

Die in den Messquerschnitten erfassten bzw. abgeleiteten Einzelfahrzeugdaten (Bild 8) umfassen u. a. mit Achslasten, Gesamtgewichten, Achsarten, Achsabständen, Achsanzahlen und Fahrzeugarten alle fahrzeugspezifischen Daten, die für eine Beschreibung des Schwerververkehrs hinsichtlich der Fahrzeugmenge, seiner Zusammensetzung und der aus ihm resultierenden Straßenbelastung notwendig sind.

Die Einzelfahrzeugdaten werden zu stundenbezogenen Häufigkeitsverteilungen der Achslasten (Einzel-, Doppel- und Dreifachachslasten), Gesamtgewichte, Verkehrsstärken und der Geschwindigkeiten verdichtet und in die Verkehrsrechnerzentrale im jeweiligen Bundesland übertragen. I. d. R. werden sie von den Verkehrsrechnerzentralen in Monatsdateien an die BASt übermittelt, wo sie letztlich im Referat V2 (Verkehrsstatistik, BISStra) in einer Datenbank vorgehalten werden (s. Bild 7).

Die auf Speicherkarten gesicherten Einzelfahrzeugdaten dagegen – je nach Ausführung der Speicherkarte und Verkehrsstärke können Einzelfahrzeugdaten mehrerer Monate gespeichert werden – müssen noch vor Ort abgeholt werden. Dies geschieht durch Austausch der Speicherkarten im jeweiligen Geräteschrank. Eine automatische Datenübertragung auch dieser Daten wird sich erst mit den beiden nächsten Ausbaustufen 3 und 4 realisieren lassen. Die Einzelfahrzeugdaten werden ebenfalls in der Datenbank vorgehalten.

Vor der Einspeisung eingehender Daten in die Datenbank werden sie im Referat V2 zunächst einer Plausibilitätsprüfung unterzogen, was nicht nur der Qualitätssicherung dient, sondern auch der frühzeitigen Erkennung von Fehlern in der Messtechnik. Nur fehlerfreie Daten werden dann in der Datenbank zentral vorgehalten und zur fachspezifischen Analyse in den entsprechenden Fachreferaten (B4 – Grundsatzfragen der Bauwerkserhaltung, S4 – Dimensionierung und Erhaltung von Straßen und auch V2 – Verkehrsstatistik, BISStra) freigegeben.



Bild 6: Geografische Lage der Achslasterfassungsquerschnitte der 1. und 2. Ausbaustufe auf BAB

Die Datenerfassung selbst kann detailliert nur direkt am Gerät vor Ort überprüft werden. Da das relativ aufwändig ist, kann das nach Inbetriebnahme nur in

größeren Zeitabständen erfolgen. Daher ist zwischen diesen Kontrollen eine Überwachung der Datenqualität zwingend erforderlich.

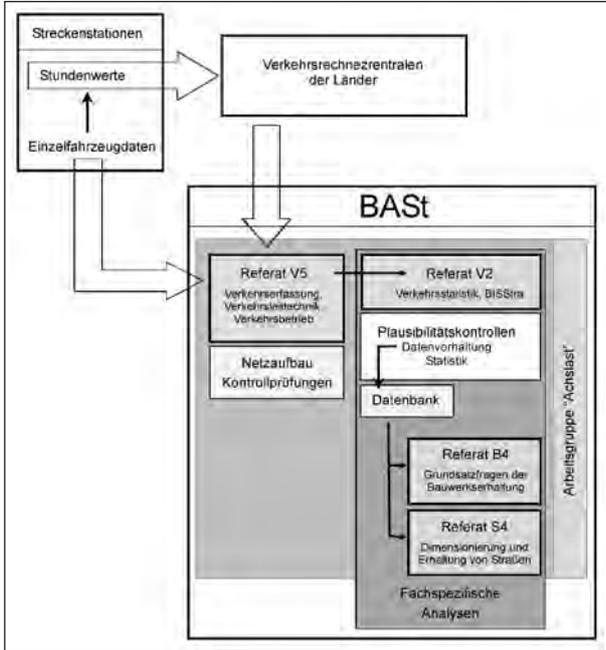


Bild 7: Datenfluss der auf BAB erfassten Einzelfahrzeugdaten und Stundenwerte des Schwerververkehrs extern und intern der BAST

Zusätzlich wurde innerhalb der BAST im Zusammenhang mit der Achslasterfassung auf BAB die abteilungsübergreifende Arbeitsgruppe „Achslast“ eingerichtet, in der die in Bild 7 aufgeführten vier

Typ	Genauigkeitsklasse	Messgröße	Messgenauigkeit
A	B(10)	Achslast ¹	+/-15 %
		Achsgruppenlast ¹	+/-13 %
		Gesamtgewicht ²	+/-10 %
		Achsen einer Achsgruppe ¹	+/-20 %
	B+(7)	Achslast ¹	+/-11 %
		Achsgruppenlast ¹	+/-10 %
		Gesamtgewicht ²	+/-7 %
		Achsen einer Achsgruppe ¹	+/-14 %

¹ gültig für Achsen schwerer als 2,0 t
² gültig für Gesamtgewichte größer 3,5 t

Tab. 2: Geforderte Genauigkeiten der Messgrößen nach den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) [TLS02]

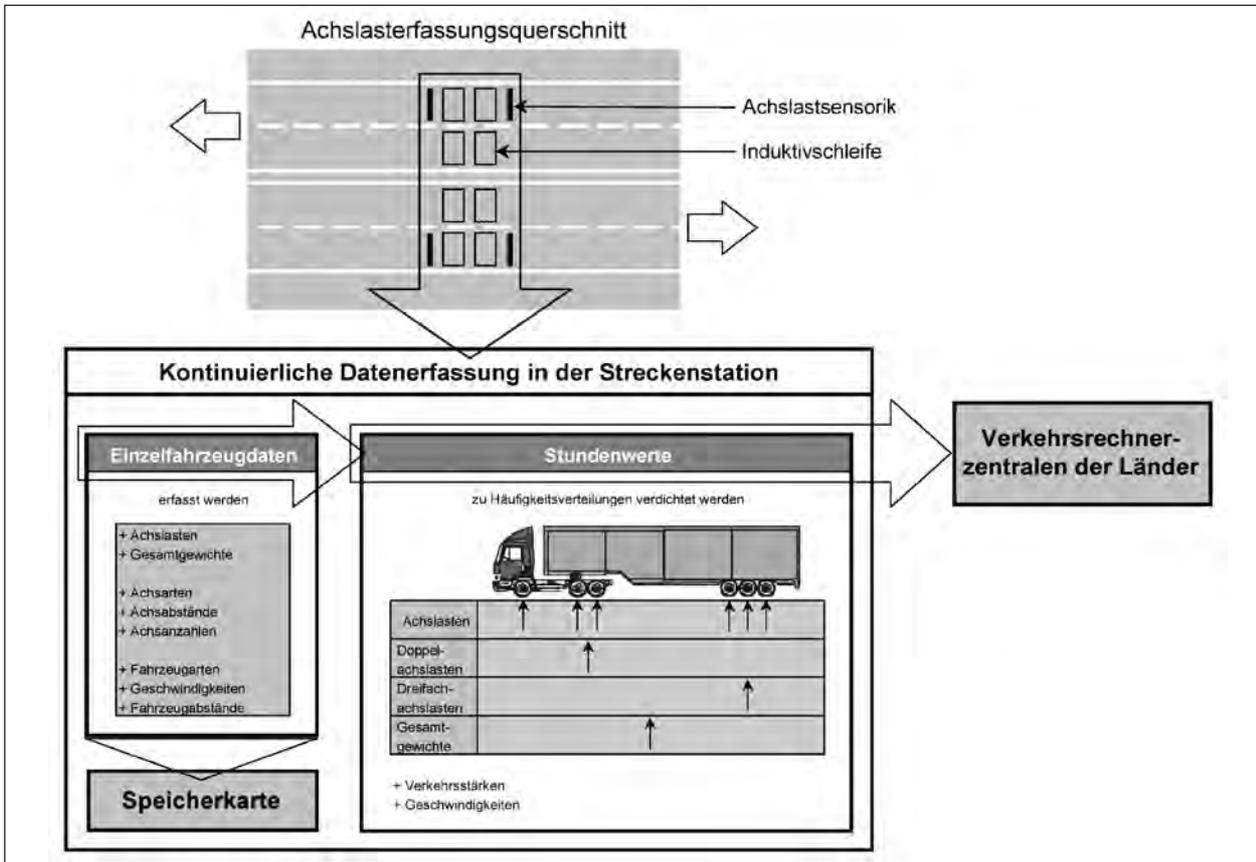


Bild 8: Einzelfahrzeugdaten, die an den Messquerschnitten im BAB-Netz erfasst und zu stundenbezogenen Häufigkeitsverteilungen verdichtet werden

Referate vertreten sind. Aufgaben dieser Arbeitsgruppe sind u. a., die unterschiedlichen Anforderungsprofile an die Datenerfassung und das Datenhandling aufeinander abzustimmen und zu optimieren, Informationen über den Ausbaustand des Achslasterfassungsnetzes, die Ergebnisse von Kontrollmessungen und den Umfang des Datenbestands auszutauschen.

Die nach TLS [TLS02] geforderte Genauigkeit der Messgrößen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Nach den TLS [TLS02] müssen Achslasterfassungsgeräte des Typs A mindestens die Anforderungen der Genauigkeitsklasse B erfüllen. Bei guten Straßenbedingungen sollten sie aber möglichst die Anforderungen der Klasse B+ erreichen. Im vorliegenden Fall kann für die Piezosensoren bei Vorliegen der im Kapitel 3.2 aufgeführten Randbedingungen für die Straßenoberfläche von der Genauigkeitsklasse B+ ausgegangen werden. Die Achsabstände werden mit einer Genauigkeit von $\pm 4\%$ im Geschwindigkeitsbereich von 5 bis 120 km/h erfasst. Dabei beträgt die Auflösung im Messbereich von 0 bis 655,34 m mindestens 0,10 m.

4 Analyse der erfassten Einzelfahrzeugdaten

4.1 Vorbemerkungen

In die Entwicklung des Modells zur Berechnung der Schwerverkehrsinduzierten Straßenbelastung/-beanspruchung der BAB (SVIB-BAB) gehen nur die Fahrzeuge des Schwerverkehrs mit einem Gesamtgewicht $> 3,5$ t ein. Pkw und Kleintransporter bleiben dabei unberücksichtigt.

Auch wenn in mehreren Fahrstreifen einer Fahrtrichtung eine Achslastwaage eingebaut ist (s. Ta-

belle 1), werden nur die im Hauptfahrstreifen, dem am stärksten durch den Schwerverkehr beanspruchten und somit relevanten Fahrstreifen, erfassten Fahrzeuge des Schwerverkehrs berücksichtigt.

4.2 Ort und Zeitraum der Einzelfahrzeugdatenerfassung

Als Grundlage für das Modell SVIB-BAB konnten nur die in den Jahren 2004 und 2005 an den im Bild 6 mit schwarzen Kreisen markierten Messquerschnitten erfassten Einzelfahrzeugdaten des Schwerverkehrs genutzt werden. Die entsprechenden Monate in den beiden Jahren, für die gesicherte Daten vorliegen, sind in der Tabelle 3 grau hinterlegt.

Innerhalb der einzelnen Monate gibt es teilweise Tage mit Inplausibilitäten bzw. Datenausfällen. Im Anhang 2 sind die Tage, für die das gilt, eingeraht. Diese werden bei der Auswertung außer Acht gelassen. Für alle anderen Tage liegen plausible Einzelfahrzeugdaten für den ganzen Tag vor, also jeweils von 00:00:00 Uhr bis 23:59:59 Uhr.

4.3 Umfang und Struktur der Einzelfahrzeugdaten

Insgesamt wurden in den relevanten Monaten der Jahre 2004 und 2005 (s. Tabelle 3) Einzelfahrzeugdaten von ca. 9,2 Mio. Fahrzeugen des Schwerverkehrs erfasst. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Anzahl der in den einzelnen Monaten an den jeweiligen Messquerschnitten erfassten Fahrzeuge.

In die Struktur der vom Referat V2 gelieferten Einzelfahrzeugdaten wurden noch einige für die Modellbildung notwendige Variablen integriert, die aus

lfd.Nr. Bild 3.3	BAB	Bundesland	Fahrtrichtung	Fahrstreifen	2004												2005											
					Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
6	A1/A51	NW	Köln	0																								
			Koblenz	5																								
7	A2	BB	Berlin	0																								
			Magdeburg	0																								
10	A9	ST	Berlin	0																								
9		BY	München	0																								
11	A12	BB	Frankfurt Oder	3																								
12	A24	MV	Hamburg	0																								
			Berlin	3																								
13	A33	NW	Paderborn	0																								
			Bielefeld	3																								

Tab. 3: Monate, in den Jahren 2004 und 2005 für die Einzelfahrzeugdaten des Schwerverkehrs auf BAB vorliegen

Ild.Nr. Bild 3.3	BAB	Bundesland	Fahrtrichtung	Fahrstreifen	2004												Summe
					Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
6	A1/A61	NW	Köln	0						181.230		209.086	244.272	233.789	227.856	198.589	1.274.582
			Koblenz	5						159.124		203.541	238.965	221.174	822.604		
7	A2	BB	Berlin	0												0	
			Magdeburg	0												0	
10	A9	ST	Berlin	0						89.696	112.549	103.089				285.334	
9		BY	München	0											0		
11	A12	BB	Frankfurt Oder	3												0	
12	A24	MV	Hamburg	0						10.145	86.800	72.974	69.658	34.657	18.302	272.536	
			Berlin	3						9.205	89.332	71.713	72.498	35.292	19.678	277.718	
13	A33	NW	Paderborn	0						44.931	73.147	69.587	78.091	73.093	75.032	63.760	475.641
			Bielefeld	3						43.844	73.526	88.401	75.954	74.551	336.276		
Summe													3.744.691				

Ild.Nr. Bild 3.3	BAB	Bundesland	Fahrtrichtung	Fahrstreifen	2005												Summe
					Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
6	A1/A61	NW	Köln	0	197.497	187.001	90.096	24.066	164.633	217.720							891.013
			Koblenz	5	191.317	190.400											381.717
7	A2	BB	Berlin	0	125.784	132.212	145.998	86.400	79.695	124.098	40.159	18.101	155.887	158.125	161.148	104.278	1.331.485
			Magdeburg	0	135.492	131.823	145.055	78.801						159.839	150.685	162.198	126.215
10	A9	ST	Berlin	0												0	
9		BY	München	0					30.286		91.092		149.606	112.633	23.939	407.556	
11	A12	BB	Frankfurt Oder	3	77.801	56.087			48.525	89.527	86.521	95.691	69.626	109.608	57.048	96.310	786.744
12	A24	MV	Hamburg	0										64.697	68.895	35.568	169.160
			Berlin	3										62.562	65.212	36.457	164.231
13	A33	NW	Paderborn	0	54.308	55.586	61.642	31.283									202.819
			Bielefeld	3													
Summe													5.424.631				
Gesamtsumme														9.169.322			

Tab. 4: Anzahl der erfassten Fahrzeuge des Schwerverkehrs in den Messquerschnitten auf BAB in den relevanten Monaten der Jahre 2004 und 2005, für die Einzelfahrzeugdaten vorliegen

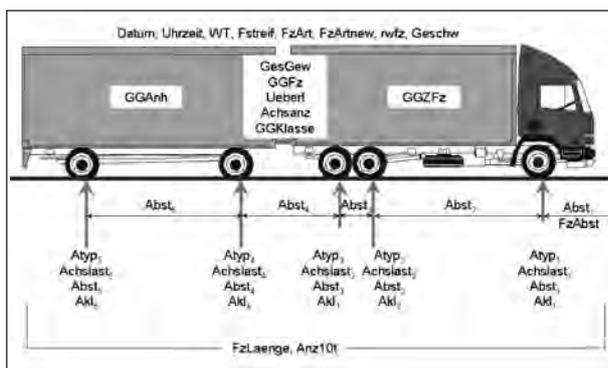


Bild 9: Standardmäßig erfasste und abgeleitete Größen von Fahrzeugen des Schwerverkehrs auf BAB; Erläuterung der Variablen im Anhang 3

den erfassten Einzelfahrzeugdaten abgeleitet wurden. Im Anhang 3 ist die Datenstruktur dargestellt und erläutert. Standardmäßig erfasste Daten sind mit einem „s“, abgeleitete mit einem „a“ hinter dem jeweiligen Variablennamen gekennzeichnet. In Bild 9 sind die Variablen anhand der Fahrzeugkombination mit dreiachsrigem Kraftfahrzeug mit hinterer Doppelachse und zweiachsrigem Anhänger (Fahrzeugart 41 (FzArt 41) s. Anhang 3) visualisiert.

Zu den abgeleiteten Größen gehört das Gesamtgewicht des Fahrzeugs bzw. der Fahrzeugkombination (GGFz). Es ergibt sich aus der Addition aller zum Fahrzeug gehörenden Achslasten und musste neu berechnet werden, da das standardmäßig in den Daten vorhandene Gesamtgewicht (GesGew) nicht immer der Summe der Achslasten entsprach. Auch eine Neubestimmung der Fahrzeugart (FzArt) wurde für acht Fahrzeugarten notwendig (FzArtnew) (s. hierzu Kapitel 4.5.1). In der die Fahrzeugart erläuternden Tabelle im Anhang 3 sind nur die für die Zusammensetzung des Schwerverkehrs relevanten Fahrzeugarten aufgeführt. Die Abbildungen der Fahrzeugarten stehen dabei stellvertretend für alle Ausprägungen der entsprechenden Fahrzeugarten. Weiterhin wurden der Wochentag (WT), die Relevanz der Fahrzeugart für die Zusammensetzung des Schwerverkehrs (rwfz), die Klasse des Gesamtgewichts des Fahrzeugs bzw. der Fahrzeugkombination (GGKlasse), das Gesamtgewicht des Kraftfahrzeugs (GGZFz) und des Anhängers/Sattelanhängers (GGAnh) – beide Gesamtgewichte sind Teilmenge des Gesamtgewichts der Fahrzeugkombination –, die Achslastklasse (Akl.) sowie

die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge (Anz10t), deren Berechnung gemäß dem im Kapitel 4.8 geschilderten Formalismus erfolgte, neu aufgenommen.

Die Analyse der Einzelfahrzeugdaten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS [SPSS]. Alle relevanten Einzelfahrzeugdaten wurden daher in SPSS-Dateien überführt – ein Datenbeispiel ist dem Anhang 3 angehängt.

4.4 Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs

Die aus der Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs im jeweiligen Erfassungszeitraum (s. Tabelle 4) berechnete durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs ist ein Mittelwert, der Gültigkeit nur im jeweiligen Erfassungszeitraum hat. Um diesen von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs nach den RStO 01 (DTV^(SV)) – ein Jahresmittelwert – abzugrenzen, wird im Weiteren für ihn die Schreibweise DTVSV verwendet.

Der monatsbezogene DTVSV_m ergibt sich als Quotient aus der Summe der Fahrzeuge für die Tage im betrachteten Monat, für die Einzelfahrzeugdaten vorliegen, und der Anzahl dieser Tage (Gleichung (1)).

$$\text{DTVSV}_{m,q} = \frac{\sum_{i=1}^{n\text{Tag}_{m,q}} nFz_{i,m,q}}{n\text{Tag}_{m,q}} \quad (1)$$

$\text{DTVSV}_{m,q}$ durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs im Monat m im Messquerschnitt q [Fz/24h]

$nFz_{i,m,q}$ Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs am Tag i des Monats m, für den im Messquerschnitt q Einzelfahrzeugdaten vorliegen

$n\text{Tag}_{m,q}$ Anzahl der Tage im Monat m, für die im Messquerschnitt q Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Abgesehen vom Messquerschnitt auf der A 12, für den nur für die Fahrtrichtung Frankfurt (Oder) Einzelfahrzeugdaten im Erfassungszeitraum vorliegen, differiert die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in beiden Fahrtrichtungen bei allen anderen Messquerschnitten nur wenig

voneinander (Bild 10). Auch über die Monate im Erfassungszeitraum hinweg zeigen sich bis auf die Messquerschnitte auf der A 1/A 61 und der A 2 kaum Schwankungen. Schwankungen können verursacht sein durch periodische oder stochastische Veränderungen im Verkehrsgeschehen, aber auch durch Verzerrungen, die ihrerseits aus einer unterschiedlichen Anzahl der Tage innerhalb eines Monats, für die entsprechende Verkehrsmengendaten vorliegen, resultieren.

Hinsichtlich der Verkehrsstärke des Schwerverkehrs unterscheiden sich die Messquerschnitte deutlich voneinander, was die Darstellung im Bild 10 schon zeigt, aber anhand des Mittelwerts der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs innerhalb des Erfassungszeitraums (Gleichung (2)) besser erkennbar wird (Bild 11), absteigend gereiht – mit aufgenommen in die Grafik wurden die entsprechenden Standardabweichungen.

$$\text{DTVSV}_q = \frac{\sum_{m=1}^{n\text{Mon}_q} \text{DTVSV}_{m,q}}{n\text{Mon}_q} \quad (2)$$

DTVSV_q Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum zwischen Juni 2004 und Dezember 2005 [Fz/24h]

$n\text{Mon}_q$ Anzahl der Monate m, für die im Messquerschnitt q Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Mit i. M. 7.608 Fz/24h in Fahrtrichtung Köln bzw. 7.184 Fz/24h in Fahrtrichtung Koblenz weist der Messquerschnitt auf der A 1/A 61 mit Abstand die größte durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs auf. Es folgen mit im Durchschnitt 4.890 Fz/24h beide Fahrtrichtungen auf der A 2 und die Fahrtrichtung München auf der A 9. Nochmals 1.450 Fz/24h weniger beträgt mit i. M. 3.440 Fz/24h die mittlere tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in Fahrtrichtung Berlin auf der A 9 und in Fahrtrichtung Frankfurt/Oder auf der A 12. Die geringste durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs im Erfassungszeitraum weisen die beiden Messquerschnitte auf der A 24 und A 33 mit i. M. 2.300 Fz/24h je Fahrtrichtung auf. Das ist nur etwa 1/3 der Verkehrsstärke, die in beiden Fahrtrichtungen auf der A 1/A 61 im Erfassungszeitraum festgestellt wird.

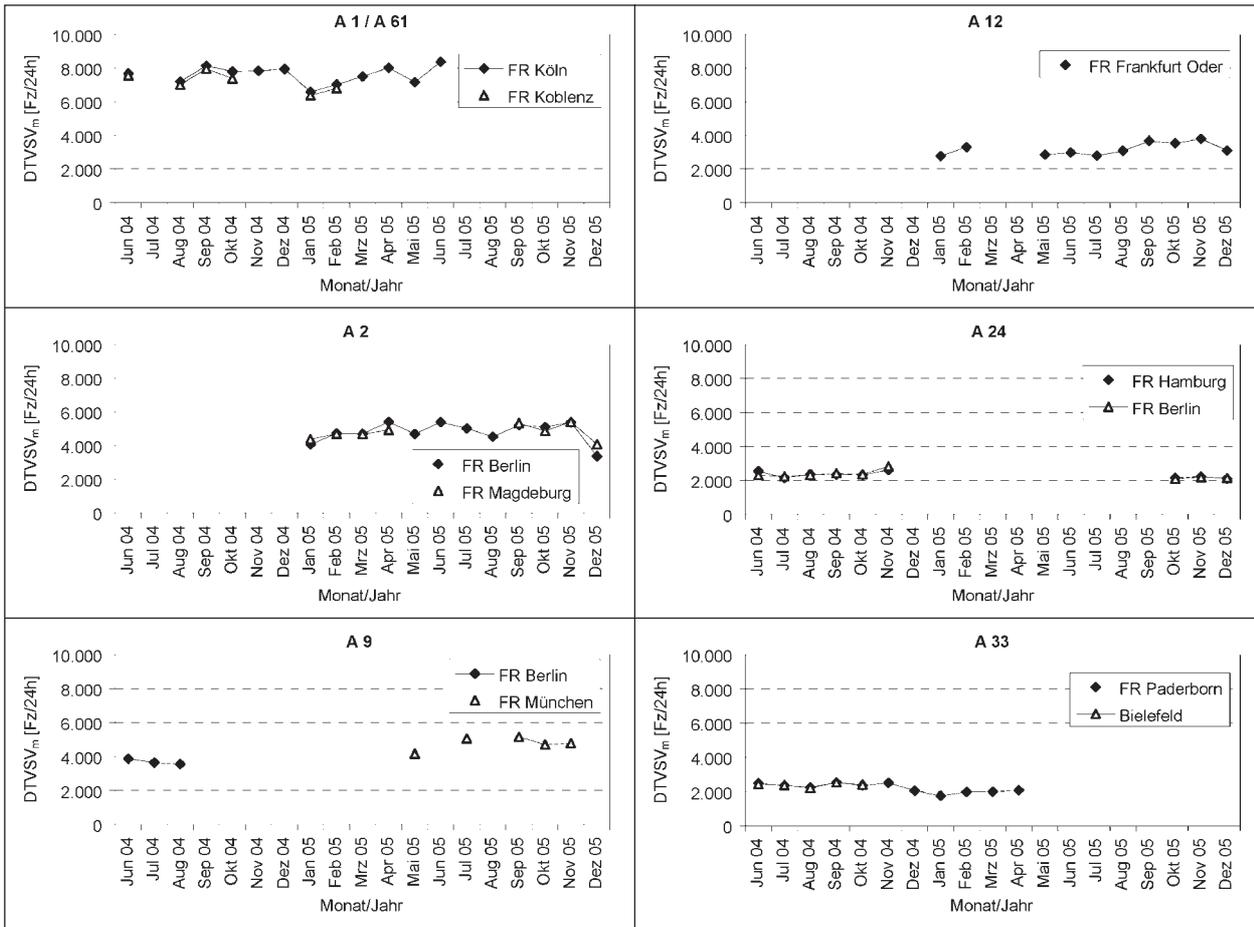


Bild 10: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf BAB für die Monate im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

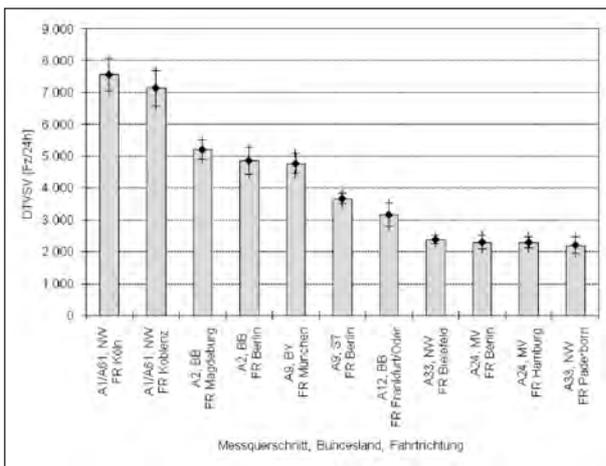


Bild 11: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf BAB innerhalb des Erfassungszeitraums Juni 2004 bis Dezember 2005

4.5 Zusammensetzung des Schwerververkehrs auf BAB

4.5.1 Neuklassifizierung von falsch zugeordneten Fahrzeugarten

Die mechanogene Beanspruchung einer Straßenbefestigung resultiert aus den Achslasten des Straßenverkehrs, insbesondere des Schwerververkehrs. Die Achslasten werden über die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn in die Straßenbefestigung eingeleitet. In dieser Kontaktebene, im Rahmen des Projekts mit Primärebene bezeichnet (s. Bild 46), resultiert also die Beanspruchung fahrzeugunabhängig aus einem Strom verschieden hoher Achslasten, die in mehr oder weniger großen Zeitabständen stochastisch aufeinander folgen. Ist der zeitliche Abstand zweier Achsen zueinander so klein, dass sich die durch ihre Achslasten hervorgerufenen mechanogenen Spannungen im Straßenaufbau überlagern, kommt es gegenüber ihren Einzelwirkungen zu einem höheren Spannungsniveau und somit zu einer größeren

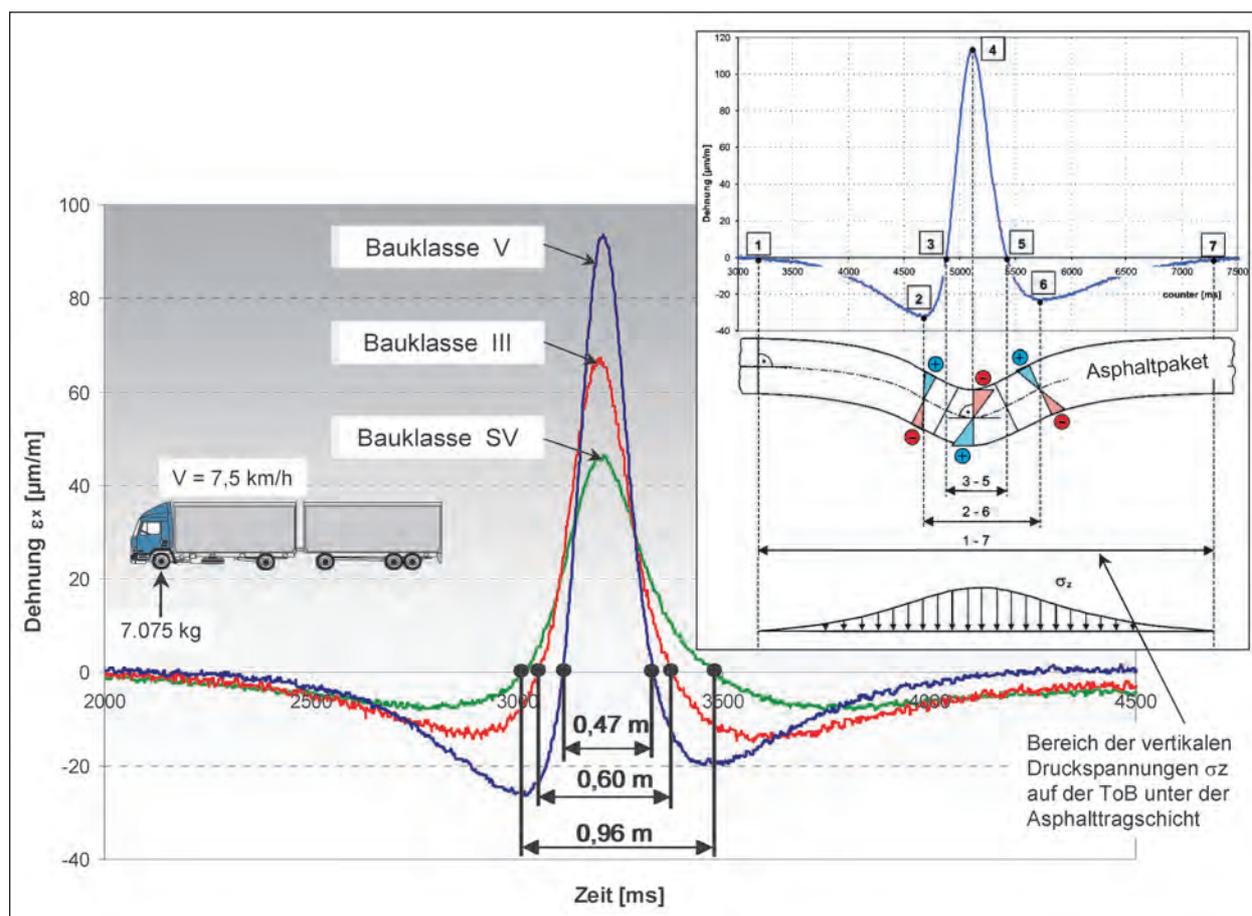


Bild 12: Dehnungen an der Unterseite der Asphalttragschicht in Fahrtrichtung in Abhängigkeit von der Bauklasse nach den RStO 01 [nach RA 1106]

Straßenbeanspruchung im Überlagerungsbereich. Das ist bei Doppel- und Dreifachachsen der Fall.

Auf der verkehrsrechtlichen Seite trägt die StVZO [StVZO] diesem Sachverhalt in § 34 durch die Staffelung der höchstzulässigen Achslasten für Doppel- und Dreifachachsen an Kraftfahrzeugen und Anhängern/Sattelanhängern in Abhängigkeit von den entsprechenden Achsabständen Rechnung. Je kleiner der Achsabstand zwischen zwei Achsen ist, desto kleiner sind die höchstzulässigen Achslasten. Ab einem Achsabstand von $\geq 1,8 \text{ m}$ wird nicht mehr von einer Spannungsüberlagerung ausgegangen. Die benachbarten Achsen von Doppel- und Dreifachachsen gelten dann als Einzelachsen mit einer für diese jeweils geltenden höchstzulässigen Achslast von 10 t für nicht angetriebene und 11,5 t für angetriebene Einzelachsen.

Ergebnisse von Überfahrten auf der Modellstraße der BAST zeigen, dass der Überlagerungsbereich von der Dicke des Asphaltpakets abhängig ist [RA0806]. Mit zunehmender Dicke des Asphaltpakets nimmt in Fahrtrichtung die Länge des durch

eine Achslast beanspruchten Bereichs im Asphaltpaket zu (s. Bild 12). Somit ist der Achsabstand, der notwendig ist, um eine Beanspruchungsüberlagerung auszuschließen, nicht nur vom Achsabstand, sondern ebenfalls abhängig von der Bauklasse.

Die Plausibilisierung der vom Referat V2 gelieferten Daten ergab, dass innerhalb der Erfassungssoftware der Algorithmus für die Fahrzeugklassifizierung anhand der Achsabstände am Anhänger/Sattelanhänger nicht die im § 34 der StVZO festgelegten Achsabstandsintervalle berücksichtigt. Folgen hat das für die Ableitung der Zusammensetzung des Schwerverkehrs und insbesondere hinsichtlich der Frage, welche Achslasten an welchen Fahrzeugen die höchstzulässigen Achslasten nach § 34 der StVZO überschreiten.

Die Problematik betrifft die Fahrzeugarten FzArt 33, 34, 97 und 99 sowie FzArt 41, 42, 105 und 107 (Erläuterung der Fahrzeugart im Anhang 3). Für die Neuklassifizierung wurde ein pragmatischer Ansatz gewählt, was am Beispiel der Fahrzeugart FzArt 99 veranschaulicht werden soll. Die Fahr-

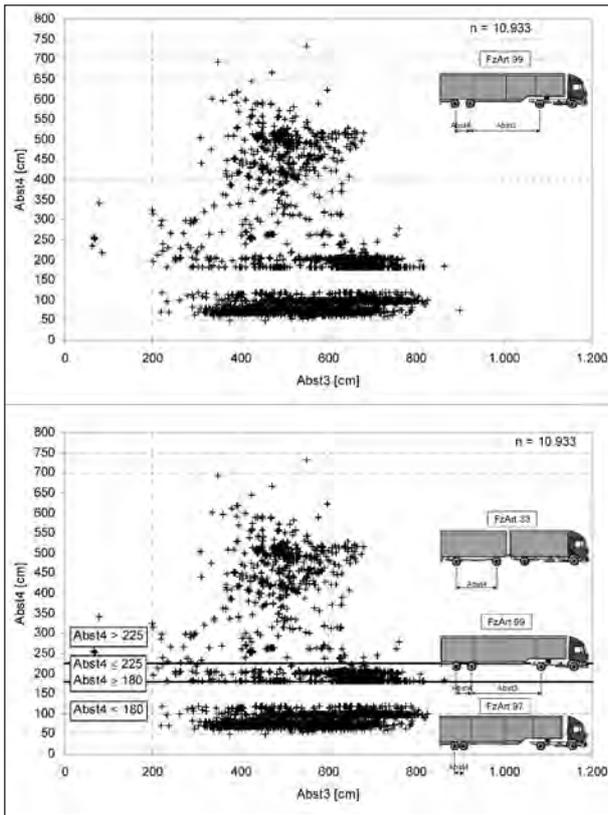


Bild 13: Beispiel der Neuklassifizierung der Fahrzeugarten anhand der Fahrzeugart FzArt 99 mittels des Achsabstands der Achsen am Anhänger/Sattelanhängen; Daten: BAB A 1/A 61, Oktober 2004

zeugart FzArt 99 ist ein Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und zweiachsiger Sattelanhängen. Die beiden Achsen am Sattelanhängen sind Einzelachsen. Anhand der Regelung im § 34 der StVZO muss daher ihr Achsabstand ≥ 180 cm betragen.

Die obere Darstellung in Bild 13, die den entsprechenden Achsabstand (Abst4) in Abhängigkeit vom Achsabstand zur davor liegenden Achse (Abst3) zeigt, macht die ursprüngliche Zuordnung von Fahrzeugen zur Fahrzeugart FzArt 99 deutlich. Sowohl Fahrzeuge mit einem kleineren als auch mit wesentlich größerem Achsabstand wurden dieser Fahrzeugart zugeordnet. Anhand der Darstellung wurden für den Achsabstand Abst4 drei Intervalle festgelegt. Anhand dieser nachstehend aufgeführten Intervalle wurden dann die darin enthaltenen Fahrzeuge den entsprechenden plausiblen Fahrzeugarten FzArtnew 33, 97 und 99 zuordnet.

- Intervall 1: $180 > Abst4 \Rightarrow FzArtnew = 97,$
- Intervall 2: $180 \leq Abst4 \leq 225 \Rightarrow FzArtnew = 99,$
- Intervall 3: $225 < Abst4 \Rightarrow FzArtnew = 33.$

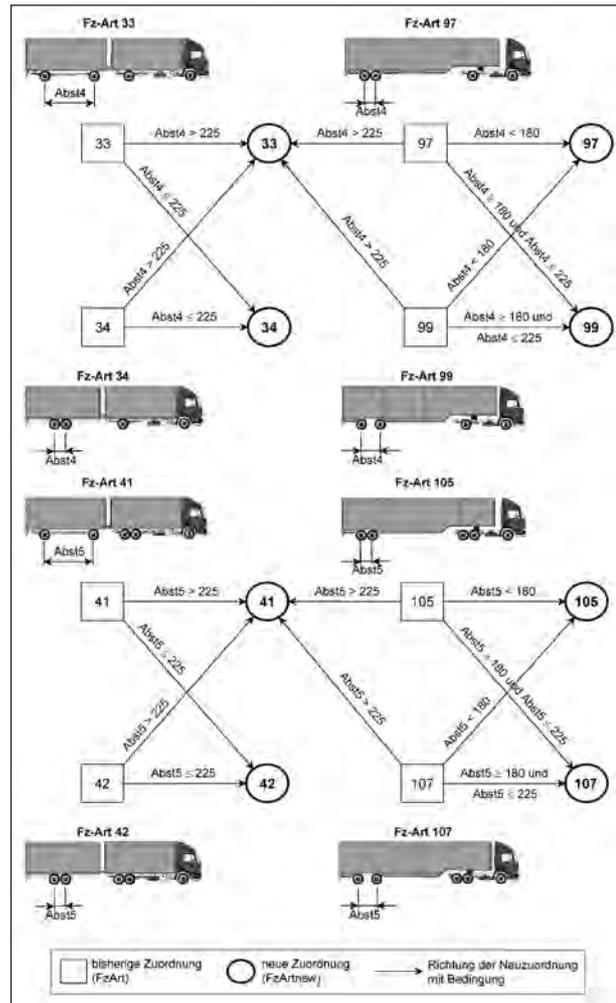


Bild 14: Neuklassifizierung der Fahrzeugarten FzArt 33, 34, 97, 99 und FzArt 41, 42, 105, 107 mittels des Achsabstands der Achsen am Anhänger/Sattelanhängen – Zusammensetzung des Schwerververkehrs

Das Ergebnis der Neuordnung zeigt die untere Darstellung im Bild 13.

Für alle anderen zuvor aufgeführten Fahrzeugarten konnten ebenfalls die drei Achsabstandsintervalle für die Neuordnung zugrunde gelegt werden. Die Verknüpfung der Achsabstandsintervalle mit den entsprechenden Fahrzeugarten als Basis für die Neuklassifizierung zeigt Bild 14.

Die Erkenntnisse wurden dem für den Aufbau des Achslasterfassungsnetzes auf BAB zuständigen Referat V5 mitgeteilt und sollen in der Erfassungsoftware künftig Berücksichtigung finden.

4.5.2 Zusammensetzung des Schwerverkehrs

Die durch das wirtschaftliche Geschehen in Deutschland generierte Transportnachfrage auf der einen und die gesetzlichen Rahmenbedingungen

(Steuern, Straßenbenutzungsgebühren (Maut), Festlegung von höchstzulässigen Achslasten und Gesamtgewichten) auf der anderen Seite bestimmen auf der betriebswirtschaftlichen Ebene (Logistikgewerbe) letztlich die optimale Fahrzeugflotte zur Bewältigung des Transportaufkommens.

Das das Transportaufkommen verursachende wirtschaftliche Geschehen verändert sich zeitlich nur langsam und wirkt sich somit auch nur langsam auf die betriebswirtschaftlich optimale Fahrzeugflotte aus. Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen dagegen, die meist in größeren zeitlichen Abständen erfolgen, erzeugen Unstetigkeiten, da sie sich zeitnah in der Fahrzeugflotte abbilden. Aber auch die Zulassung neuer Fahrzeugkonzepte würde ebenfalls zu zeitlichen Unstetigkeiten in der Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf BAB führen. Angeführt soll hier z. B. die aktuelle Diskussion um die Einführung modularer Nutzfahrzeugkonzepte sein. Dieses Konzept sieht vor, verschiedene Kombinationen von bereits vorhandenen Transporteinheiten (Lkw/Anhänger/Sattelanhänger) bis zu einer Gesamtlänge von 25,25 m und einem Gesamtgewicht von 60 t zu bilden.

Die Zusammensetzung des Schwerverkehrs ist für die Straßenbeanspruchung von Bedeutung, da die verschiedenen Fahrzeugarten unterschiedliche Schädigungspotenziale aufweisen. Diese resultieren in der Hauptsache aus den unterschiedlichen Achsarten (Einzel-, Doppel-, Dreifachachse), der unterschiedlichen Achsanzahl und dem Auslastungsgrad der möglichen Nutzlast, der neben dem Eigengewicht des Fahrzeugs hauptsächlich die Achslasten und somit die Straßenbeanspruchung determiniert.

Anhand der erfassten Einzelfahrzeugdaten (s. Bild 68) wird die Fahrzeugcodierung in der Erfassungsstation gemäß den TLS [TLS02] vorgenommen und jedem erfassten Fahrzeug die entsprechende Kennziffer zugeordnet (siehe Anhang 3). Anhand dieser Kennziffer kann, unter Berücksichtigung der Neuklassifizierung von einigen Fahrzeugarten (siehe Kapitel 4.5.1), die Zusammensetzung des Schwerverkehrs ermittelt werden.

Der monatsbezogene relative Anteil einer Fahrzeugart am Schwerverkehr ergibt sich gemäß Gleichung (3).

$$rAFzArt_{i,m} = \frac{\sum_{t=1}^{nTag_m} nFz_{i,t,m}}{\sum nFz_m} \quad (3)$$

$rAFzArt_{i,m}$ relativer Anteil der Fahrzeugart i am Schwerverkehr im Monat m [%]

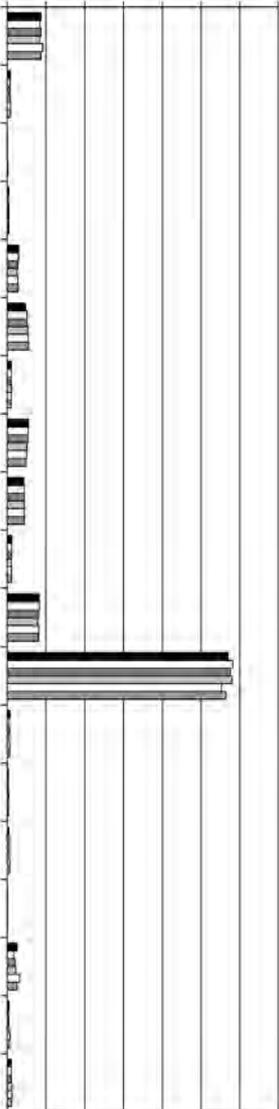
$nFz_{i,t,m}$ Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i am Tag t des Monats m

nFz_m Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs im Monat m

$nTag_m$ Anzahl der Tage im Monat m , für die Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Die Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den einzelnen Messquerschnitten wird von nur wenigen Fahrzeugarten dominiert. Dies zeigt die Darstellung der monatsbezogenen relativen Anteile der Fahrzeugarten im Anhang 4. Den größten Anteil am Schwerverkehr weist das im Fernverkehr eingesetzte Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsigem Sattelanhänger (Kennziffer 98) auf. Sein Anteil liegt je nach Messquerschnitt zwischen 35,2 % (A 33, Fahrtrichtung Paderborn) und 63,5 % (A 12, Fahrtrichtung Frankfurt (Oder)). Den zweitgrößten Anteil weist der zu meist im Nahverkehr eingesetzte Lkw ohne Anhänger auf. Sein Anteil liegt zwischen 8,3 % (A 12, Fahrtrichtung Frankfurt (Oder)) und 16,8 % (A 33, Fahrtrichtung Paderborn). Mit Anteilen zwischen 1 % und 10,5 % weisen die Fahrzeugarten 33 bis 35, 41 und 42 sowie 96 und 120 noch nennenswerte Anteile auf. Alle anderen in den Tabellen im Anhang 4 bildhaft dargestellten Fahrzeugarten haben relative Anteile am Schwerverkehr von unter 1 %.

Im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005 stellt sich die Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den einzelnen räumlich weit auseinander liegenden Messquerschnitten (s. Bild 4) sehr stabil dar. Beispielhaft ist das für den Messquerschnitt auf der A 2 in Bild 15 (Januar bis Juni 2005) und Bild 16 (Juli bis Dezember 2005) für die Fahrtrichtung Berlin dargestellt. Entsprechende Darstellungen für die anderen Messquerschnitte finden sich im Anhang 4. Hier ist visualisiert, was eingangs zu diesem Abschnitt erwähnt wurde, nämlich, dass sich das wirtschaftliche Geschehen in Deutschland zeitlich nur langsam ändert und somit nicht nur die daraus generierte Transportnachfrage, sondern auch die daraus resultierende Lastmenge und ihr zeitliches Aufkommen (siehe Kapitel 4.6). Dieser Trend zeigte sich schon für das erste Quartal 1998 anhand der im Frankfurter Raum – Frankfurt a. M. – erhobenen Einzelfahrzeugdaten [WO00]. Anhand von künftig erfassten Einzelfahrzeugdaten im sich weiter im Aufbau be-

Fahrzeugart			mittlerer Anteil am Schwerverkehr [%]						mittlerer Anteil am Schwerverkehr [%]							
Kennziffer	Beschreibung		Jan 05	Feb 05	Mrz 05	Apr 05	Mai 05	Jun 05	0	10	20	30	40	50	60	70
8	LKW	(E,E) 	8,7	8,5	8,7	8,3	9,1	8,7								
9		(E,Dp) 	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9								
12		(Dp,Dp) 	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1								
32	LKW mit Anhänger	(E,E + E) 	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4								
33		(E,E + E,E) 	3,0	2,9	2,7	2,5	2,7	2,8								
34		(E,E + Dp) 	4,7	5,1	5,1	5,4	5,3	5,6								
35		(E,E + E,Dp) 	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0								
41		(E,Dp + E,E) 	5,4	5,3	5,3	5,1	4,9	4,9								
42		(E,Dp + Dp) 	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4								
96	Sattelfahrzeuge	(E,E + E) 	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1								
97		(E,E + Dp) 	8,2	8,3	8,1	7,8	8,1	8,1								
98		(E,E + Dr) 	57,0	58,1	57,6	58,0	55,3	56,4								
99		(E,E + E,E) 	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6								
105		(E,Dp + Dp) 	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3								
106		(E,Dp + Dr) 	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6								
107		(E,Dp + E,E) 	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1								
120	Busse	(E,E) 	2,5	1,6	2,0	2,2	3,2	2,5								
121		(E,Dp) 	0,5	0,3	0,4	0,5	0,7	0,6								
sonstige SV-Fz			1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2								
			100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0								

E: Einzelachse Dp: Doppelachse Dr: Dreifachachse

Bild 15: Monatsbezogene mittlere Zusammensetzung des Schwerverkehrs im Achslasterfassungsquerschnitt auf der BAB A 2 in Fahrtrichtung Berlin im Erfassungszeitraum Januar bis Juni 2005

findenden Achslasterfassungsnetz wird diese Entwicklung weiter verfolgbar sein.

Als relevant für die Zusammensetzung des Schwerverkehrs und somit auch für die Straßenbeanspruchung erweisen sich die im Bild 15 und Bild 16 visualisierten achtzehn Fahrzeugarten. Ihr Gesamtanteil am Schwerverkehr liegt i. M. bei 99,2 %. Die restlichen um die 20 Fahrzeugarten werden nur vereinzelt festgestellt und spielen mit einem Ge-

samtanteil von i. M. 0,8 % eine untergeordnete Rolle. Sie werden daher in den weiteren Betrachtungen vernachlässigt. Dementsprechend wird der Gesamtanteil der achtzehn für den Schwerverkehr relevanten Fahrzeugarten von i. M. 99,2 % zu 100 % gesetzt. Die sich unter dieser Annahme ergebende mittlere Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den einzelnen Messquerschnitten ist in Bild 17 und Bild 18 dargestellt.

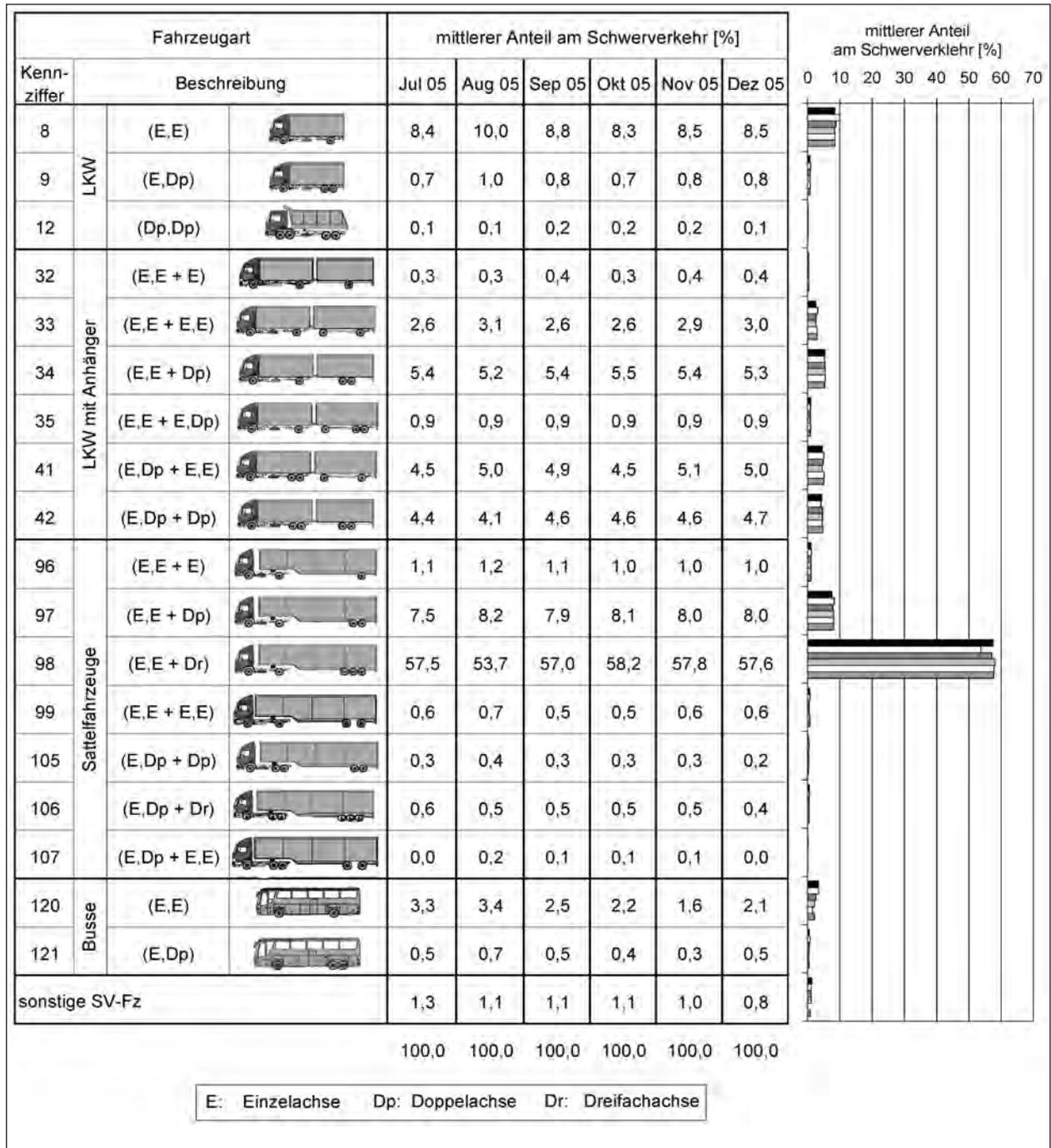


Bild 16: Monatsbezogene mittlere Zusammensetzung des Schwerverkehrs im Achslasterfassungsquerschnitt auf der BAB A 2 in Fahrtrichtung Berlin im Erfassungszeitraum Juli bis Dezember 2005

Aus den Darstellungen und insbesondere aus der Verteilung der täglichen Lastmenge auf die einzelnen Fahrzeugarten (s. Bild 27 und Bild 28) wird deutlich, dass die Straßenbeanspruchung in der Hauptsache durch das Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsiger Sattelanhänger (Kennziffer 98) determiniert wird.

Erwähnt werden muss an dieser Stelle der Vollständigkeit halber noch, dass die in den Bildern 15

bis 18 dargestellten Zusammensetzungen des Schwerverkehrs auf BAB durch an Kraftfahrzeugen und Sattelanhängern angeordnete Liftachsen leicht verzerrt ist. Liftachsen finden sich in Doppel- und Dreifachachsen. Je nach Beladungszustand befinden sich diese Achsen in gelifteter – zur Minimierung des Reifenverschleißes – oder abgesenkter Position. Nur im letzteren Fall tragen sie zur Straßenbeanspruchung bei und werden auch nur

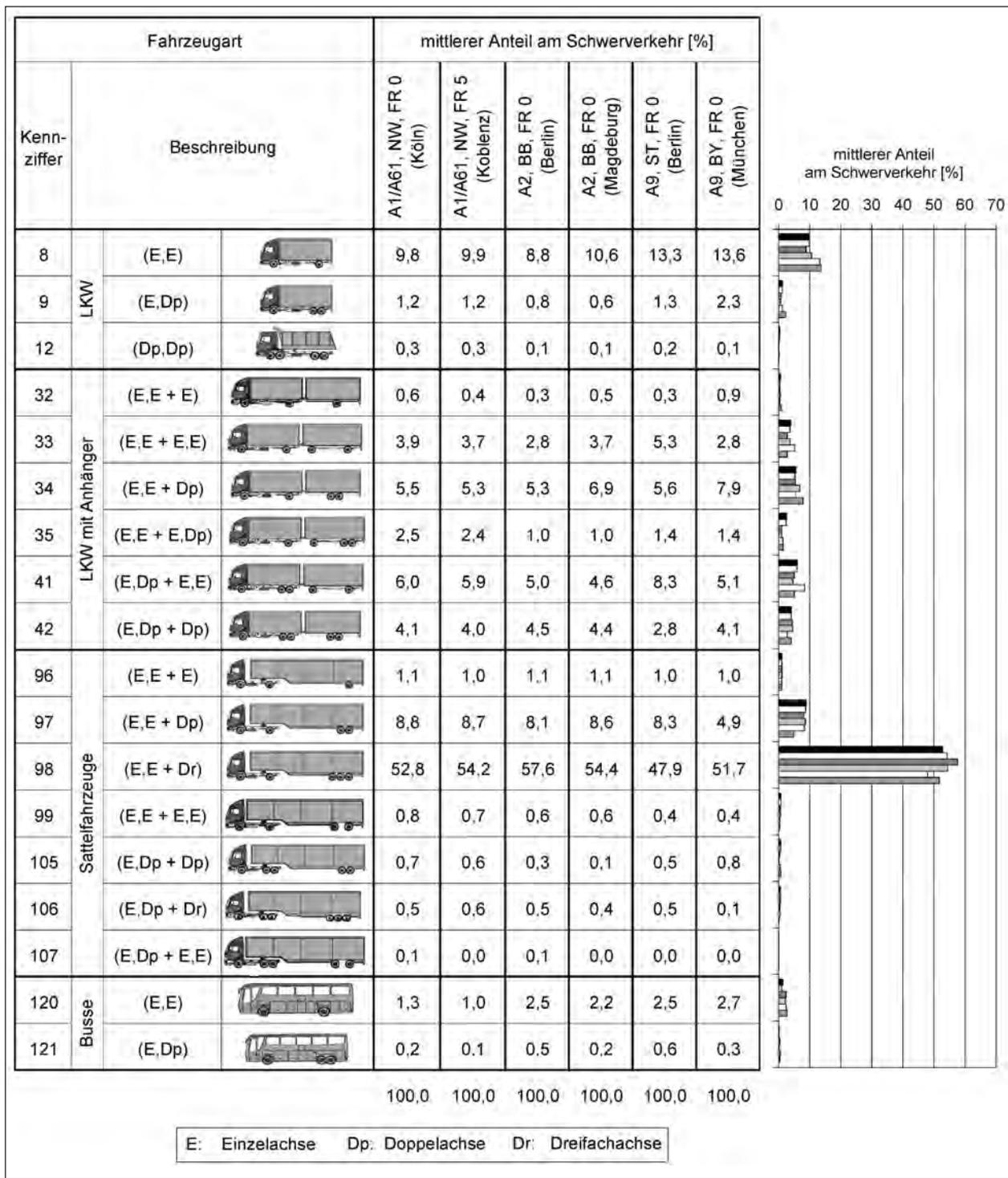


Bild 17: Mittlere Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2 und A 9 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

dann von den Achslastwaagen erfasst und finden so Eingang in die Einzelfahrzeugdaten. Diese relativ kleine Ungenauigkeit in der Zusammensetzung des Schwerverkehrs wird toleriert, da im vorliegenden Fall die reale Straßenbeanspruchung für die Modellentwicklung im Vordergrund steht und nicht die potenzielle.

Aus Bild 17 und Bild 18 ist schon ersichtlich, dass sich im Gegensatz zur zeitlichen Stabilität (s. Anhang 4) die Schwerverkehrszusammensetzung in den räumlich weit auseinander liegenden Messquerschnitten zum Teil erheblich unterscheidet. In Bild 19 wird das anhand der komprimierten Darstellung in Bild 18 deutlich erkennbar. Besonders gilt

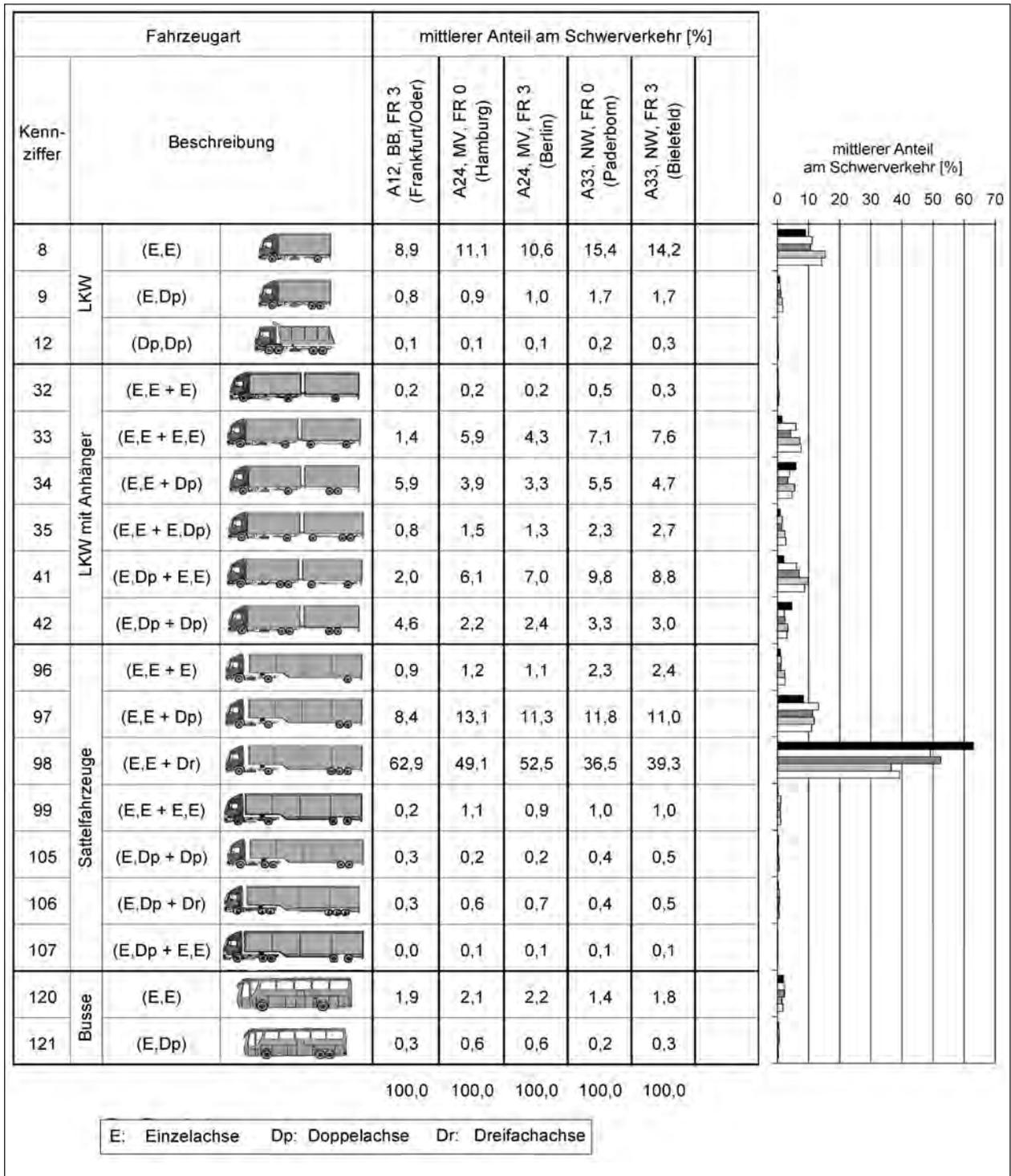


Bild 18: Mittlere Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

das für die Fahrzeugart 98, das Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsigem Sattelanhängen, nach dessen Anteil die Messquerschnitte in der Darstellung gereiht sind. Sein Anteil am Schwerverkehr schwankt je nach Messquerschnitt i. M. zwischen 36,5 % und 62,9 %. Der Anteil der anderen Fahrzeugarten am Schwerver-

kehr unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Messquerschnitten mit bis zu 5 % (absolut) nicht so stark.

Zunächst zur unterschiedlichen geografischen Lage im BAB-Netz: Hier gilt es hauptsächlich zu unterscheiden zwischen dem Nahverkehr – Trans-

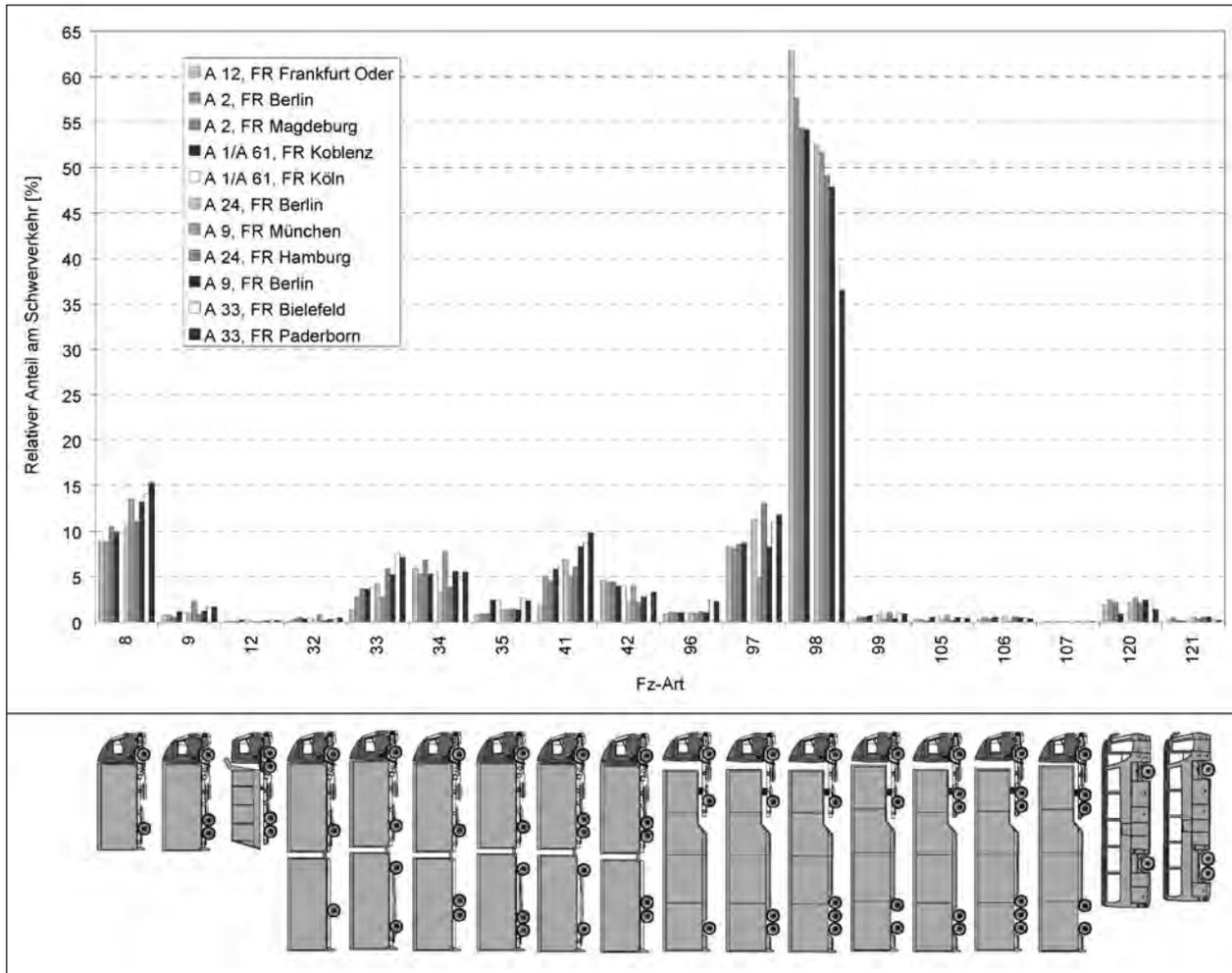


Bild 19: Mittlere Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005; gereiht nach dem Relativanteil der Fahrzeugart 98

portradius 75 km Luftlinie vom Standort wie z. B. in Ballungszentren wie dem Ruhrgebiet oder dem Raum Frankfurt am Main – und darüber hinaus dem Fernverkehr – ihm zuzuordnen sind neben dem inländischen Fernverkehr und dem Kombinierten Verkehr auch der Transitverkehr. Strecken mit überwiegend Fernverkehr gehören darüber hinaus meist dem transeuropäischen Straßennetz an. Der grenzüberschreitende Straßen-Güterverkehr mit den Nachbarländern Deutschlands kann je nach Entfernung sowohl dem Nahverkehr als auch dem Fernverkehr zugeordnet werden.

Im Nahverkehr überwiegen mehr die Lkw der Fahrzeugarten 8, 9, 12, die Lkw mit Anhänger der Fahrzeugarten 32 und 33 und das Sattelkraftfahrzeug der Fahrzeugart 96. Alle anderen Fahrzeugarten werden meist im Fernverkehr eingesetzt. Der Anteil der Fahrzeugarten am Schwerverkehr, die meist im Fernverkehr eingesetzt werden, beträgt in den Messquerschnitten – die A 33 bleibt dabei un-

berücksichtigt – i. M. ca. 83 % (siehe Bild 20). Dem Nahverkehr sind dagegen i. M. nur 17 % zuzuordnen.

Mit einem Verhältnis Nah- zu Fernverkehr von knapp 27 zu 73 % ist der Teilbereich der A 33 zwischen der BAB A 2 und A 44 gegenüber den anderen BAB deutlich stärker vom Nahverkehr geprägt. Die Zusammensetzung des Schwerverkehrs ist also durch die geografische Lage eines Streckenabschnitts im BAB-Netz beeinflusst. Das muss im Modellansatz Berücksichtigung finden.

Nun zur Frage: Ist die relative Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf BAB auch abhängig von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs? Die Bilder 21 bis 23 zeigen anschaulich, dass das für die relevanten achtzehn Fahrzeugarten nicht der Fall ist. Eine entsprechende Abhängigkeit braucht daher im Modellansatz nicht berücksichtigt zu werden.

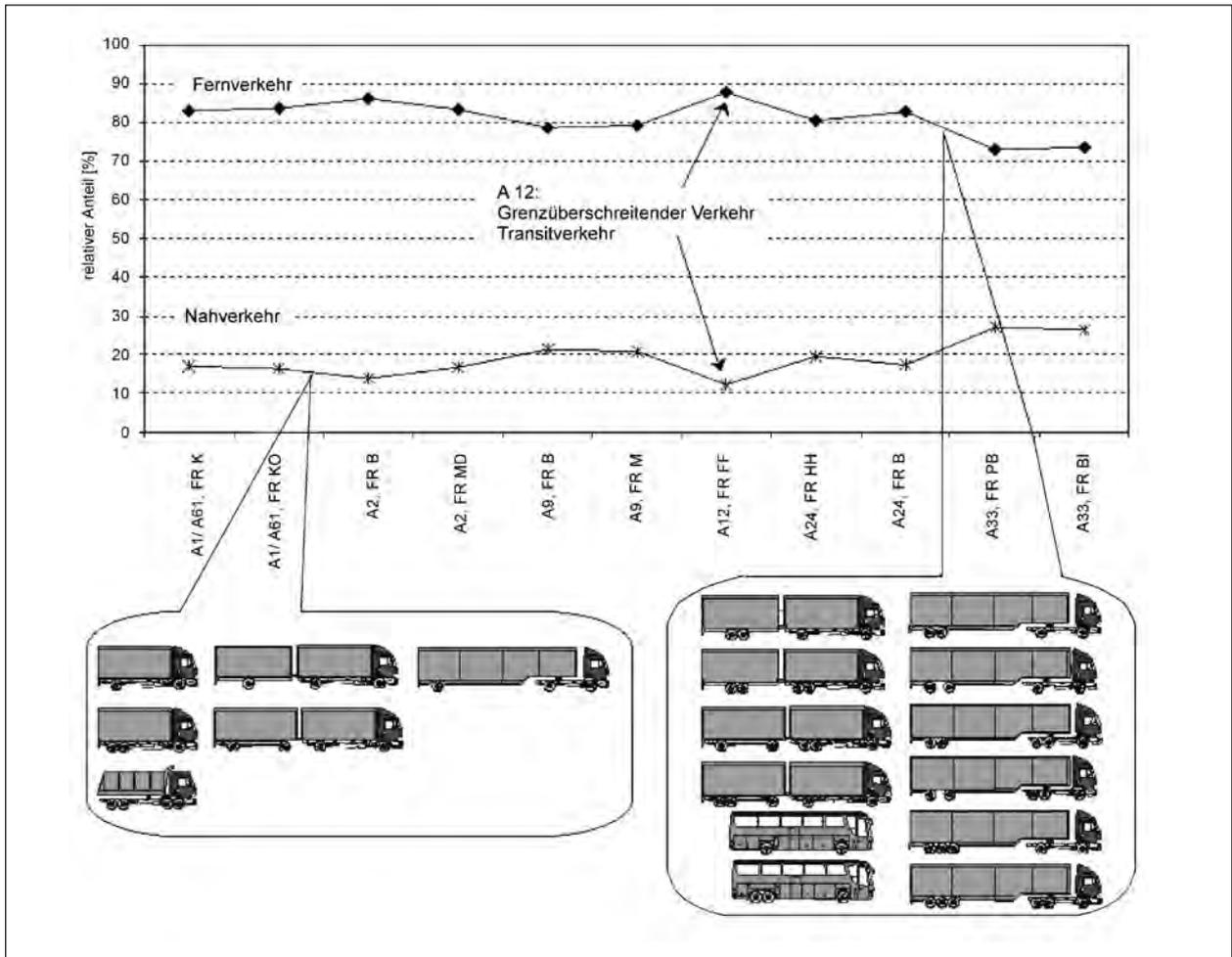


Bild 20: Mittlere relative Anteile der Fahrzeugarten im Nah- und Fernverkehr in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

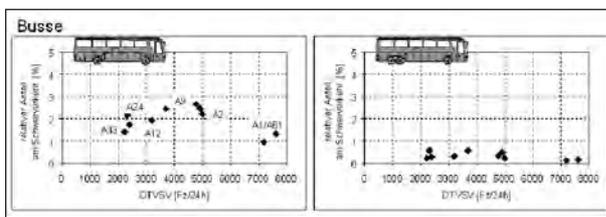


Bild 21: Zusammenhang zwischen dem relativen Anteil der Fahrzeugart Busse und der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

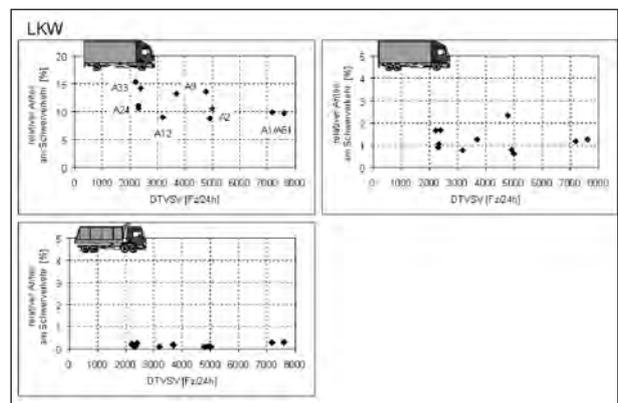


Bild 22: Zusammenhang zwischen dem relativen Anteil der Fahrzeugart Lkw und der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

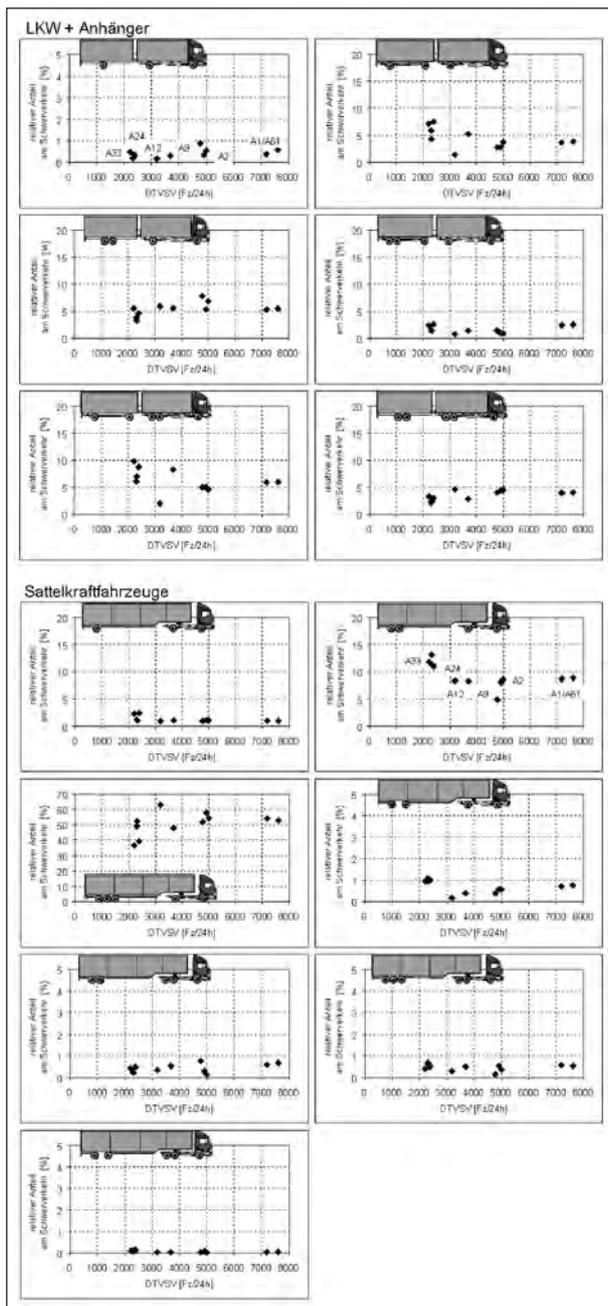


Bild 23: Zusammenhang zwischen dem relativen Anteil der Fahrzeugarten Lkw + Anhänger und Sattelkraftfahrzeuge und der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

4.6 Aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge

Die aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge pro Zeiteinheit ergibt sich allgemein aus der Summe der innerhalb der gewählten Zeiteinheit erfassten Achslasten unabhängig von ihrer Zugehörigkeit zu einer der relevanten Fahrzeugarten.

Da die erfassten Achslasten untrennbar anteilig Leergewicht und Nutzlast der Fahrzeuge enthalten, besteht die Lastmenge ebenfalls untrennbar aus beiden Anteilen.

Im vorliegenden Fall wird zunächst die mittlere Lastmenge pro Tag für die jeweiligen Monate innerhalb des Erfassungszeitraums betrachtet. Sie ergibt sich als Quotient aus der Summe der Achslasten im betrachteten Monat und der Anzahl der Tage dieses Monats (Gleichung (4)).

$$LM_{m,q} = \frac{\sum_{i=1}^{nAchs_{m,q}} Achslast_{i,m,q}}{nTag_{m,q}} \quad (4)$$

$LM_{m,q}$ durchschnittliche tägliche aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge im Monat m im Messquerschnitt q [t/24h]

$Achslast_{i,m,q}$ Achslast der i -ten Achse im Monat m für den Einzelfahrzeugdaten im Messquerschnitt q vorliegen

$nAchs_{m,q}$ Anzahl der Achsen im Monat m im Messquerschnitt q

$nTag_{m,q}$ Anzahl der Tage im Monat m , für die Einzelfahrzeugdaten im Messquerschnitt q vorliegen

Die nach Gleichung (4) berechnete mittlere Lastmenge pro Monat zeigt, dass über den Erfassungszeitraum hinweg die Straßenbelastung eines Messquerschnitts relativ gleichförmig verläuft, sich aber hinsichtlich des Niveaus der Belastung aus dem Schwerverkehr die Messquerschnitte deutlich voneinander unterscheiden (Bild 24). Anhand des Mittelwerts der durchschnittlichen täglichen aus dem Schwerverkehr resultierenden Lastmenge innerhalb des Erfassungszeitraums (Gleichung (5)) wird das besser erkennbar (Bild 25, absteigend gereiht) – mit aufgenommen in die Grafik wurden die entsprechenden Standardabweichungen.

$$LM_q = \frac{\sum_{m=1}^{nMon_q} LM_{m,q}}{nMon_q} \quad (5)$$

LM_q durchschnittliche tägliche aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum zwischen Juni 2004 und Dezember 2005 [Fz/24h]

n_{Mon_q} Anzahl der Monate m , für die im Messquerschnitt q Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Mit i. M. 202.000 t/24h in Fahrtrichtung Köln bzw. ca. 197.000 t/24h in Fahrtrichtung Koblenz weist der Messquerschnitt auf der A 1/A 61 mit Abstand die größte durchschnittliche tägliche aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge im Erfassungszeitraum auf. Es folgen mit im Durchschnitt 128.000 t/24h, das sind rund 71.300 t/24h weniger, beide Fahrrichtungen des Messquerschnitts auf der A 2 und die Fahrtrichtung München des Messquerschnitts auf der A 9. Die Fahrtrichtung Berlin dieses Messquerschnitts und der Messquerschnitt

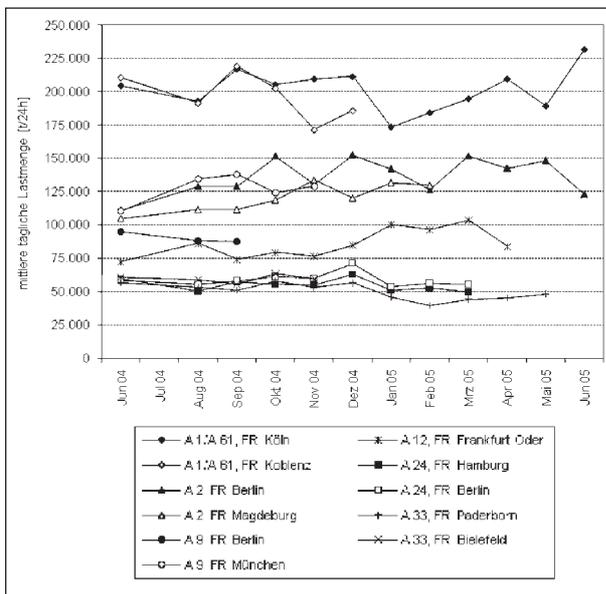


Bild 24: Mittlere aus dem Schwerverkehr resultierende tägliche Lastmenge in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

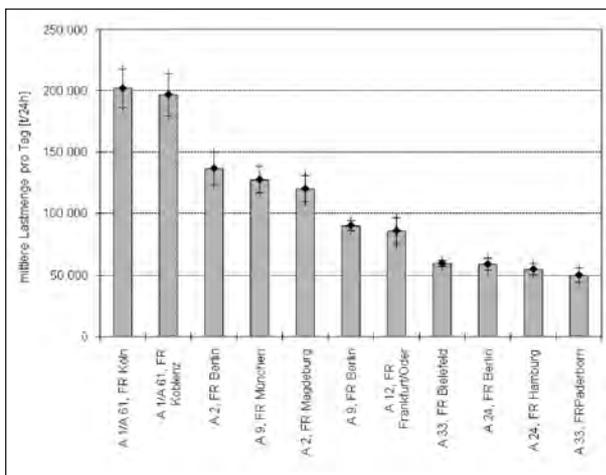


Bild 25: Mittlere aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge pro Tag in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

auf der A 12 haben mit im Durchschnitt ca. 88.000 t/24h eine nochmals um ca. 40.000 t/24h kleinere Belastung als die drei zuvor aufgeführten Messquerschnitte. Die geringste durchschnittliche tägliche Belastung der Straßenbefestigungen aus dem Schwerverkehr weisen die beiden Messquerschnitte auf der A 24 und A 33 mit i. M. 56.400 t/24h je Fahrtrichtung auf. Das sind nur etwa 28 % der Lastmenge oder ca. 143.000 t/24h weniger als in beiden Fahrrichtungen auf der A 1/A 61 festgestellt wird.

Der Vergleich mit der Reihung der Messquerschnitte nach der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (s. Bild 11) ergibt eine fast identische Reihung der Messquerschnitte. Hier liegt die Vermutung nahe, dass es einen Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der aus ihm resultierenden Lastmenge gibt. Die Darstellung in Bild 26 bestätigt diesen Zusammenhang zwischen beiden Größen. Im Anhang 5 sind die entsprechenden Summen des DTVSV und der Lastmengen zusammengefasst.

Er lässt sich potenziell ($y = ax^b$) mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,99$ annähern – die Daten des Messquerschnitts auf der A 2 in Fahrtrichtung Magdeburg sind hierbei nicht berücksichtigt (s. hierzu Kapitel 4.7). Ein potenzielle Ansatz wurde gewählt, da das Wertepaar (0;0) – kein Verkehr, keine Belastung/Beanspruchung –, ein wahrer Punkt, in diesem Zusammenhang mit erfasst ist.

Nur mit Kenntnis der täglichen Verkehrsstärke des Schwerververkehrs auf BAB kann also auf ihre Belastung geschlossen werden.

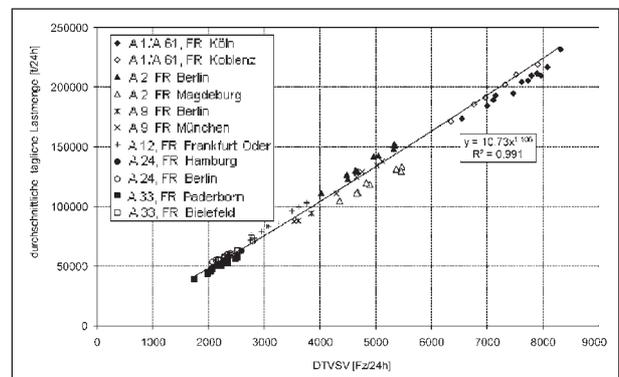


Bild 26: Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerververkehrs und der aus ihr resultierenden mittleren Lastmenge pro Tag im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005; die Fahrtrichtung Magdeburg des Messquerschnitts auf der A 2 ist nicht in dem Zusammenhang berücksichtigt

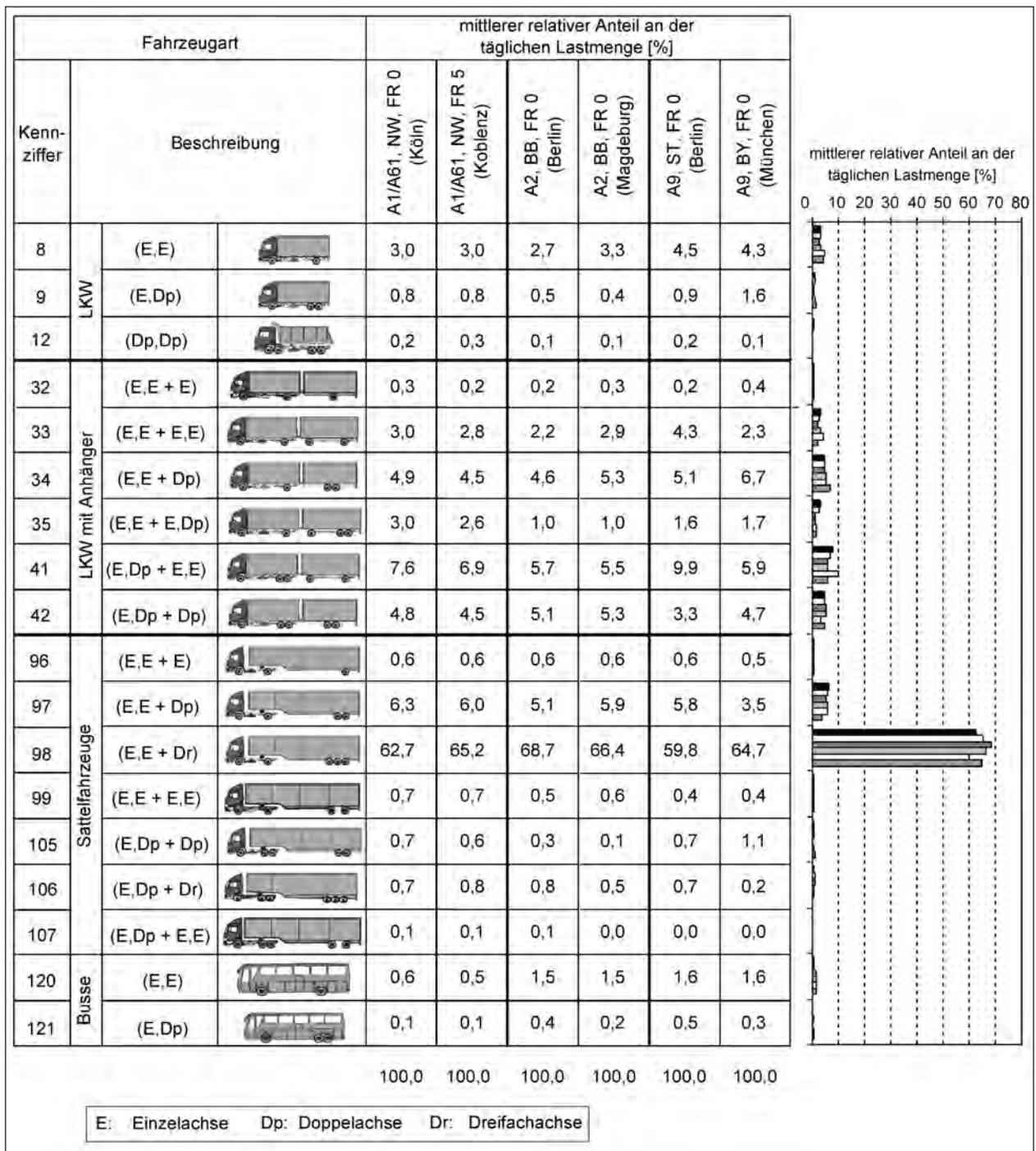


Bild 27: Fahrzeugartbezogene mittlere relative Anteile an der täglichen Lastmenge in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2 und A 9 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

Diese Feststellung ist neben der sich zeitlich nur langsam verändernden Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf BAB und der zeitlich relativ konstant verlaufenden Lastmenge eine weitere wichtige Erkenntnis für die Modellentwicklung.

Fahrzeugartbezogen gesehen wird mit zumeist 60 bis 70 % der mit Abstand größte Anteil der täglichen Lastmenge vom Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsiger Sattelan-

hänger (Fahrzeugart 98) in die Straßenbefestigung eingetragen (Bild 27 und Bild 28). Dabei reicht die absolute Spanne von maximal 128.300 t/24h (A 1/A 61, FR Koblenz) bis minimal 23.500 t/24h (A 33, FR Paderborn). Das verwundert nicht, hat doch diese Fahrzeugart mit zumeist 47 bis 60 % (Bild 17) auch den weitaus größten relativen Anteil am Schwerverkehr. Alle anderen Fahrzeugarten tragen mit jeweils unter 10 % zur Straßenbelastung bei.

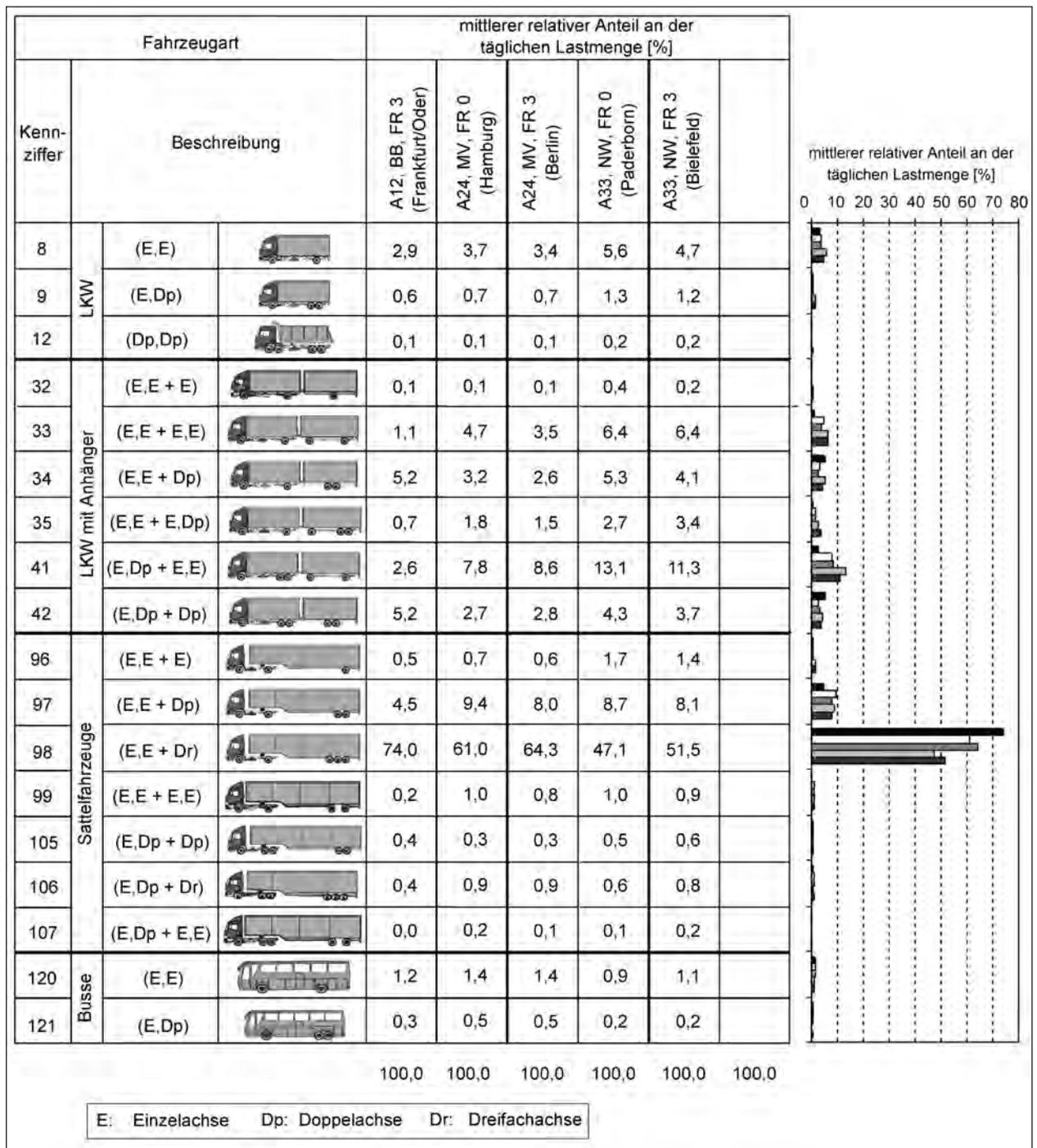


Bild 28: Fahrzeugartbezogene mittlere relative Anteile an der täglichen Lastmenge in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

4.7 Aus dem Schwerverkehr resultierende Achslastverteilung

Für die Ermittlung der aus dem Schwerverkehr resultierenden mittleren Achslastverteilung werden aufgrund der Aktualität nur die in den Messquerschnitten im Jahr 2005 erfassten Achslasten herangezogen (s. untere Tabelle in Tabelle 4). Dabei wurden, soweit Daten vorlagen, jeweils beide Fahrt-

richtungen der Übersichtlichkeit wegen messquerschnittsbezogen zusammengefasst.

Alle Achsen werden dabei als Einzelachsen angesehen, unabhängig von ihrer Zugehörigkeit zu einem Achsaggregat (Einzel-, Doppel-, Dreifachachse).

Die durchschnittliche relative Häufigkeitsverteilung der Achslasten (Klassenbreite 1 t) verläuft für alle

Messquerschnitte linkssteil (Bild 29). Bis zur Achslastklasse ≥ 6 t und < 7 t nimmt die relative Klassenbelegung zu. Sie erreicht in dieser Klasse für alle Messquerschnitte mit i. M. 18,9 % ihr Maximum. Die Klassenbelegung der nach oben hin direkt benachbarten Achslastklasse ≥ 7 t und < 8 t unterscheidet sich für die Messquerschnitte auf den BAB A 1/A 61, A 2 und A 9 mit durchschnittlich 18,2 % nur geringfügig von der Achslastklasse mit der Maximalbelegung. Für die Messquerschnitte auf den BAB A 12, A 24 und A 33 ist der Unterschied mit i. M. 4,2 % deutlich größer. In der nach oben hin nächsten Achslastklasse ≥ 8 t und < 9 t ist die Klassenbelegung mit knapp 7 % um den Faktor 2,7 erheblich geringer. Von diesem Niveau aus nimmt die Klassenbelegung dann kontinuierlich bis auf null in der Achslastklasse ≥ 15 t und < 16 t ab. D.h., Achsübergänge mit hohen Achslasten finden vergleichsweise selten statt. Zum einen ist das begründet durch die nach § 34 StVZO verkehrsrechtlich festgelegten höchstzulässigen Achslasten – nicht angetriebene Einzelachsen 10 t, angetriebene Einzelachsen 11,5 t –, zum anderen durch den gewichtsmäßigen Auslastungsgrad der Fahrzeuge des Schwerververkehrs, der in den wenigsten Fällen 100 % beträgt, wie die Häufigkeitsverteilungen der Gesamtgewichte zeigen (siehe Bild 37 und Bild 38 sowie Bild 40 bis Bild 42) und sich daher nicht immer grenzwertige Achslasten einstellen. Nur bei Fahrzeugen, die mit einer Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO verkehren, darf die Einzelachslast 12 t nicht überschreiten.

Die kumulative Summenkurve zeigt, dass i. M. etwa 83 % der Achsübergänge im Bereich bis einschließlich der Achslastklasse ≥ 7 t und < 8 t liegen und nur durchschnittlich 17 % in den darüber liegenden Achslastklassen bis einschließlich der Achslastklasse Klasse ≥ 15 t und < 16 t. Mit i. M. 35,2 % fällt mehr als ein Drittel der Achsübergänge in die beiden benachbarten Achslastklassen ≥ 6 t und < 7 t, die die Maximalanzahl der Achsübergänge beinhaltet, und ≥ 7 t und < 8 t. In den Bereich der Achslastklassen von ≥ 2 t bis < 6 t fallen durchschnittlich 42,8 %. I. M. nur etwa 5 % liegen in den ersten beiden Achslastklassen bis < 2 t.

Zwischen den einzelnen Messquerschnitten sind Unterschiede in der Achslastverteilung zu erkennen. Insbesondere für die Messquerschnitte auf den BAB A 24 und A 33 verlaufen sie vergleichsweise linkssteiler, d. h., die unteren Achslastklassen sind stärker und die oberen schwächer besetzt. Zurückzuführen ist das auf den vergleichsweise

Achslastklasse	A 1/A 61	A 2	A 9	A 12	A 24	A 33
	relative Häufigkeit [%]					
> 0 bis < 1	0,3	0,7	0,6	0,9	0,7	0,8
>= 1 bis < 2	3,6	2,8	2,8	3,5	4,6	6,4
>= 2 bis < 3	9,3	6,7	7,1	7,6	10,4	11,6
>= 3 bis < 4	11,0	9,8	10,0	9,5	11,7	13,4
>= 4 bis < 5	9,9	9,4	9,8	9,6	11,1	11,9
>= 5 bis < 6	12,3	11,8	11,5	13,0	14,3	14,2
>= 6 bis < 7	18,7	20,0	18,6	22,0	18,5	15,4
>= 7 bis < 8	16,8	19,3	18,7	17,4	14,3	11,7
>= 8 bis < 9	7,0	8,0	9,0	6,3	5,3	6,0
>= 9 bis < 10	3,6	4,1	4,1	3,9	3,3	3,2
>= 10 bis < 11	3,1	3,4	3,9	3,1	3,0	2,4
>= 11 bis < 12	2,3	2,3	2,5	1,8	1,8	1,6
>= 12 bis < 13	1,3	1,2	1,0	0,9	0,7	0,9
>= 13 bis < 14	0,6	0,5	0,3	0,3	0,2	0,4
>= 14 bis < 15	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
>= 15 bis < 16	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>= 16 bis < 17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>= 17 bis < 18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
>= 18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

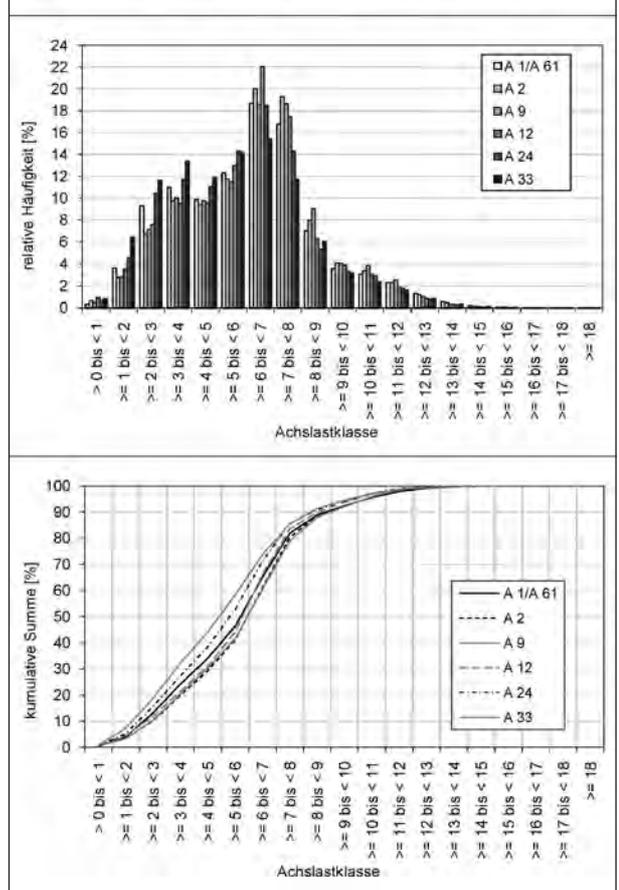


Bild 29: Mittlere Achslastverteilungen des Schwerververkehrs in den Messquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum im Jahr 2005

kleineren Anteil des Sattelkraftfahrzeugs mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsigem Sattelanhänger. Diese Fahrzeugart beeinflusst aufgrund des je nach Messquerschnitt i. M. zwischen 36,5 % und 62,9 % liegenden Anteils am Schwerverkehr (s. Bild 19, Fahrzeugart 98) entscheidend die Achslastverteilungen. So werden knapp über 60 % aller Achsübergänge von dieser Fahrzeugart verursacht, allein deutlich über ein Drittel von dem dreiachsigen Sattelanhänger.

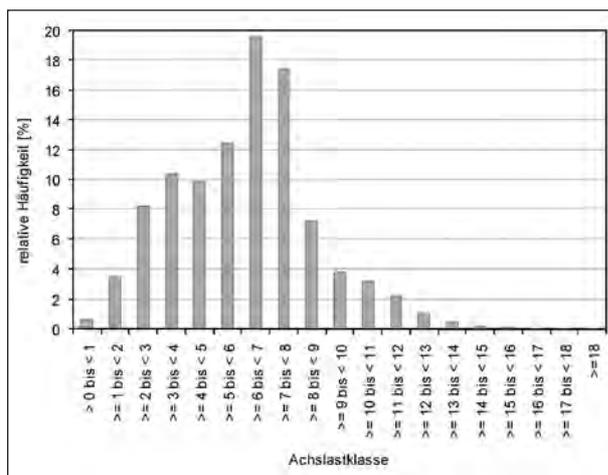


Bild 30: Mittlere Achslastverteilung des Schwerverkehrs auf BAB im Erfassungszeitraum des Jahres 2005

Aus den Achslastverteilungen gemäß Bild 29 lässt sich die in Bild 30 dargestellte mittlere Achslastverteilung für den Erfassungszeitraum im Jahr 2005 ableiten.

Diese mittlere Achslastverteilung wird für die freie Dimensionierung von Oberbauten für Verkehrsflächen im Rahmen von Funktionsbauverträgen und A-Modellen externen Anbietern zur Verfügung gestellt. Auch in die Dimensionierungsprogramme PaDesTo (Asphalt) und AWDSTAKO (Beton), die für die freie Dimensionierung eingesetzt werden, ist sie eingebunden.

4.8 Aus dem Schwerverkehr resultierende äquivalente 10-t-Achsübergänge

Die Beanspruchung einer Straßenbefestigung erfolgt durch gemischten Verkehr, also durch den Übergang von Fahrzeugen unterschiedlicher Bauart mit unterschiedlich hohen Gesamtgewichten und somit unterschiedlich hohen Achslasten. Damit Streckenabschnitte hinsichtlich ihrer Beanspruchung miteinander vergleichbar werden, wird die Gesamtbelastung umgerechnet in eine äquivalente Belastung durch den Übergang einer einheitlichen Achslast. Als einheitliche Achslast wird dabei in Deutschland 10 t zugrunde gelegt. Die Umrechnung der Übergänge der verschieden hohen Achslasten in äquivalente 10-t-Achsübergänge erfolgt dabei mittels des „Vierten-Potenz-Gesetzes“, das aus dem AASHO-Road-Test hervorging, der Anfang der 60er Jahre im Staat Illinois in den USA durchgeführt wurde.

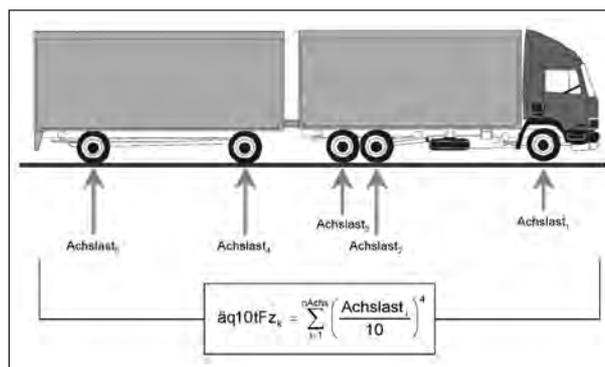


Bild 31: Berechnung der äquivalenten 10-t-Achsübergänge gemäß dem „Vierte-Potenz-Gesetz“ nach dem AASHO-Road-Test; hier beispielhaft für die Fahrzeugart 41 dargestellt

Demnach erfolgt die Berechnung der äquivalenten 10-t-Achsübergänge gemäß dem in Bild 31 dargestellten Formalismus. Die Aufsummierung der äquivalenten 10-t-Achsübergänge ($\ddot{a}q10t_i$) über alle Achsen eines betrachteten Fahrzeugs des Schwerverkehrs hinweg (n_{Achs}) ergibt die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge eben dieses Fahrzeugs ($\ddot{a}q10tFz_k$). Die Zugehörigkeit einer Achse zu einem Achsaggregat (Einzel-, Doppel-, Dreifachachse) bleibt dabei unberücksichtigt. Ebenso unberücksichtigt bleibt die Reifenart.

Die Dimensionierung der Straßenoberbauten in Deutschland wird bisher ausschließlich nach den RStO 01 [RS01] vollzogen. Dabei erfolgt die Zuordnung zu einer Bauklasse, also der Dicke der Oberbauten, auf Grundlage gewichteter äquivalenter 10-t-Achsübergänge des Schwerverkehrs, die bis zum Ende des vorgesehenen Nutzungszeitraumes in dem Fahrstreifen mit der höchsten Verkehrsbelastung zu erwarten sind. Seit kurzem ist unter bestimmten Voraussetzungen auch die rechnerische Dimensionierung mittels analytischer Verfahren zugelassen. Sie wird insbesondere im Rahmen von Funktionsbauverträgen und Betreibermodellen angewandt. Grundlage der rechnerischen Dimensionierung ist hierbei abweichend zu den RStO 01 u. a. eine auf den Erkenntnissen der Achslasterfassung im BAB-Netz beruhende Achslastverteilung – es kann aber auch eine davon abweichende Achslastverteilung vorgegeben werden.

Daher ist es folgerichtig, das Modell SVIB-BAB zur Ermittlung der Beanspruchung von Straßenbefestigungen auf beide Eingangsgrößen – äquivalente 10-t-Achsübergänge und Achslastverteilung – abzustellen.

Die äquivalenten 10-t-Achsübergänge eines erfassten Fahrzeugs des Schwerverkehrs ergeben sich analog zu Bild 31 zu

$$\ddot{a}q10t.Fz_n = \sum_{i=1}^{nAchs.Fz.n} \left[\frac{Achslast_{i,Fz.n}}{10} \right]^4 \quad (6)$$

$\ddot{a}q10t.Fz_n$ äquivalente 10-t-Achsübergänge des n-ten Fahrzeugs

$Achslast_{i,Fz.n}$ Achslast i des n-ten Fahrzeugs [t]

$nAchs.Fz.n$ Anzahl der Achsen des n-ten Fahrzeugs

10 äquivalente Achslast [t]

Für jedes der 9,2 Mio. im Erfassungszeitraum erfassten Fahrzeuge des Schwerverkehrs mit insgesamt 39,8 Mio. Achsen wurden zunächst gemäß Gleichung (6) die äquivalenten 10-t-Achsübergänge berechnet.

Durch Einbeziehung des zeitlichen Aspekts und der relevanten Fahrzeugarten nach Bild 19 wird für den Messquerschnitt q durch Summation innerhalb der jeweiligen Monate im Erfassungszeitraum die Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugart f im Monat m erhalten (Gleichung (7)).

$$\ddot{a}q10t.FzArt_{f,m,q} = \sum_{n=1}^{nFz.FzArt_{f,m}} \ddot{a}q10t.Fz_{n,FzArt_{f,m,q}} \quad (7)$$

$\ddot{a}q10t.FzArt_{f,m,q}$ äquivalente 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugart f im Monat m im Messquerschnitt q

$\ddot{a}q10t.Fz_{n,FzArt_{f,m,q}}$ äquivalente 10-t-Achsübergänge des Fahrzeugs n der relevanten Fahrzeugart f im Monat m im Messquerschnitt q

$nFz.FzArt_{f,m}$ Anzahl der Fahrzeuge der relevanten Fahrzeugart f im Monat m

Die durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge im betrachteten Monat m im Messquerschnitt q wird schließlich als Quotient aus der Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge aller Fahrzeugarten im Monat m im Messquerschnitt q (Gleichung (8)) und der Anzahl der Tage in diesem Monat erhalten (Gleichung (9)).

$$\ddot{a}q10t_{m,q} = \sum_{f=1}^{nFzArt} \ddot{a}q10t.FzArt_{f,m,q} \quad (8)$$

$\ddot{a}q10t_{m,q}$ äquivalente 10-t-Achsübergänge der relevanten Fahrzeugarten im Monat m im Messquerschnitt q

$nFzArt$ Anzahl der relevanten Fahrzeugarten

$$\ddot{a}q10t_{Tag,m,q} = \frac{\ddot{a}q10t_{m,q}}{nTag_{m,q}} \quad (9)$$

$\ddot{a}q10t_{Tag,m,q}$ durchschnittliche tägliche äquivalente 10-t-Achsübergänge der relevanten Fahrzeugarten im Monat m im Messquerschnitt q

$nTag_{m,q}$ Anzahl der Tage im Monat m für den Messquerschnitt q, für die Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Über den Erfassungszeitraum hinweg verläuft die Anzahl der durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge in den meisten Messquerschnitten relativ gleichförmig (siehe Bild 32). Das war zu erwarten, findet sich doch diese Uniformität schon beim zeitlichen Verlauf der Lastmenge (siehe Bild 24), die ja von den Achsen der Fahrzeuge des Schwerverkehrs in die Straßenbefestigung eingetragen wird.

Die absteigende Reihung der Messquerschnitte nach dem Mittelwert der Anzahl der täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge im Erfassungszeitraum (Gleichung (10)) ist, mit Ausnahme der beiden Messquerschnitte auf der A 1/A 61, die aufgrund

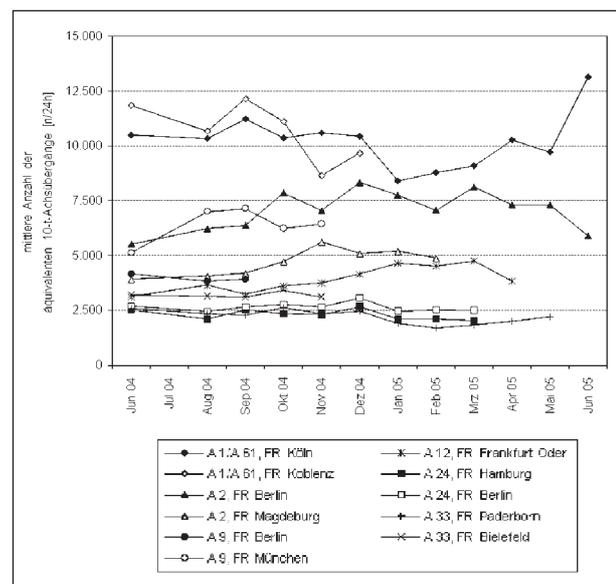


Bild 32: Mittlere aus dem Schwerverkehr resultierende tägliche äquivalente 10-t-Achsübergänge in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

eines nur geringen Unterschieds die Plätze tauschen, identisch mit der Reihung, wie sie sich nach der durchschnittlichen Lastmenge (siehe Bild 25) ergibt (Bild 33). Mit aufgenommen in die Grafik wurden die entsprechenden Standardabweichungen.

$$\ddot{a}q10t_q = \frac{\sum_{m=1}^{nMon_q} \ddot{a}q10t_{Tag,m,q}}{nMon_q} \quad (10)$$

$\ddot{a}q10t_q$ durchschnittliche tägliche aus dem Schwerverkehr resultierende äquivalente 10-t-Achsübergänge im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum zwischen Juni 2004 und Dezember 2005 [n/24h]

$nMon_q$ Anzahl der Monate m für den Messquerschnitt q

Mit i. M. 10.690 äquivalenten 10-t-Achsübergängen in Fahrtrichtung Koblenz bzw. ca. 10.256 in Fahrtrichtung Köln weisen die Messquerschnitte auf der A 1/A 61 mit Abstand die größte aus dem Schwerverkehr resultierende tägliche Beanspruchung im Erfassungszeitraum auf. Es folgen mit im Durchschnitt 7.081 bzw. 6.405 äquivalenten 10-t-Achsübergängen pro Tag, das sind fast 36 % weniger, die Fahrtrichtung Berlin des Messquerschnitts auf der A 2 und die Fahrtrichtung München des Messquerschnitts auf der A 9. Für die Fahrtrichtung Magdeburg des Messquerschnitts auf der A 2 werden i. M. 4.714 äquivalente 10-t-Achsübergänge pro Tag festgestellt, das sind gegenüber den beiden zuvor aufgeführten Messquerschnitten nochmals 30 % weniger. Für die Fahrtrichtung Berlin der A 9 und die Fahrtrichtung Frankfurt (Oder) der A 12 wird mit

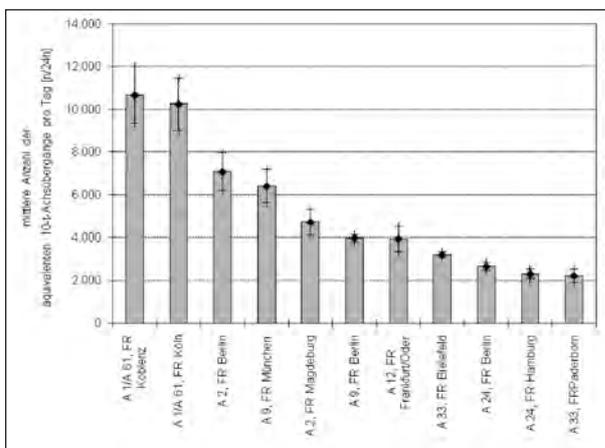


Bild 33: Mittlere aus dem Schwerverkehr resultierende äquivalente 10-t-Achsübergänge pro Tag in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

4.159 bzw. 3.934 äquivalenten 10-t-Achsübergängen pro Tag eine etwa gleich große Beanspruchung festgestellt. Die geringste Beanspruchung mit durchschnittlich 2.631 äquivalenten 10-t-Achsübergängen pro Tag wird in den Messquerschnitten auf der A 24 und A 33 festgestellt. Das sind in etwa viermal weniger als für den am höchsten beanspruchten Messquerschnitt auf der A 1/A 61 festgestellt werden.

Dass zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der Lastmenge pro Tag ein Zusammenhang existiert (siehe Bild 26), impliziert aufgrund der Gleichheit der Zusammensetzung des Schwerverkehrs, dass es auch einen zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der Anzahl der täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge als Maß für die Straßenbeanspruchung geben muss. Wie aus Bild 34 un schwer zu erkennen ist, existiert ein solcher. Im Anhang 5 sind die entsprechenden Summen des DTVSV und der äquivalenten 10-t-Achsübergänge zusammengefasst.

Der für die Fahrtrichtung Magdeburg der A 2 erkennbare Zusammenhang (offene Dreiecke im Bild 34) folgt nicht dem generellen. Vielmehr liegt er deutlich darunter, was zunächst auf einen geringeren Auslastungsgrad der Fahrzeuge des Schwerverkehrs hindeuten könnte. Abgeschwächt gilt das auch für die Gegenfahrtrichtung (geschlossene Dreiecke) – etwas höherer Auslastungsgrad der Fahrzeuge – und die Fahrtrichtung Köln des Messquerschnitts auf der A 1/A 61 (geschlossene Rauten) – etwas geringerer Auslastungsgrad der Fahrzeuge. Hier zeigen sich zum einen die streckenspezifischen Gegeben-

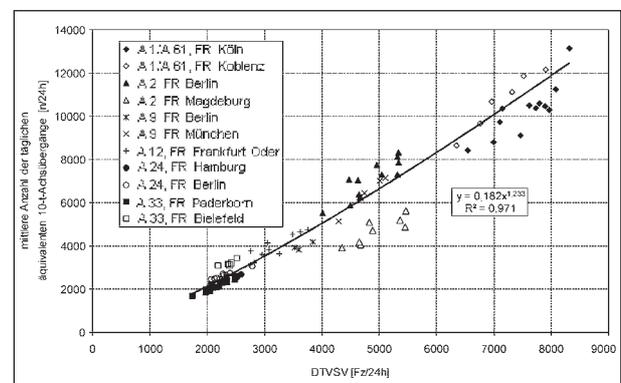


Bild 34: Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der aus ihm resultierenden mittleren äquivalenten 10-t-Achsübergänge pro Tag im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005; die Fahrtrichtung Magdeburg des Messquerschnitts auf der A 2 ist nicht in dem Zusammenhang berücksichtigt

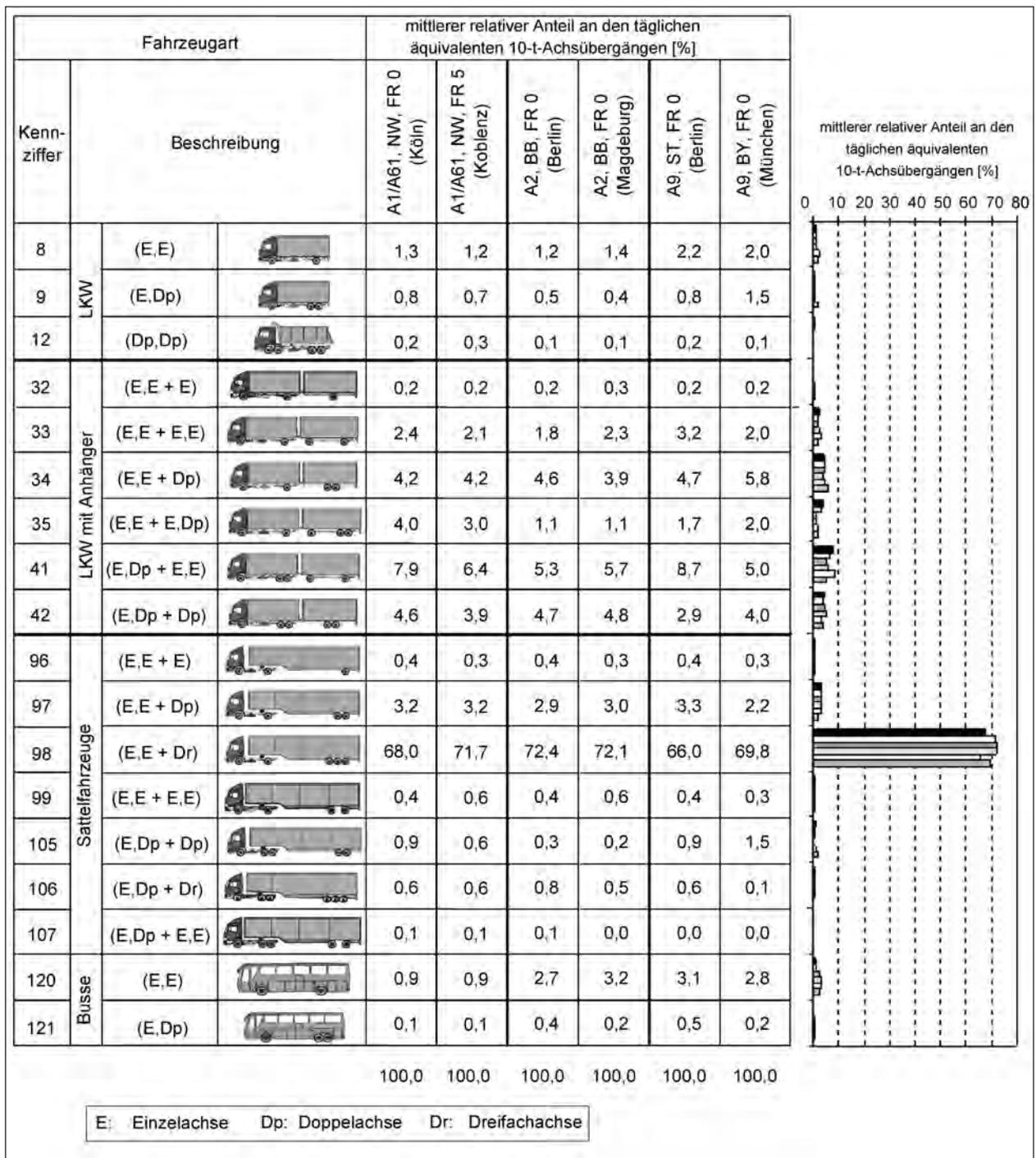


Bild 35: Fahrzeugartbezogene mittlere relative Anteile an den täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergängen in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 1/A 61, A 2 und A 9 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

heiten wie die aus der geografischen Lage resultierende unterschiedliche Stärke der Warenströme, die den Auslastungsgrad der Fahrzeuge beeinflusst. Zum anderen können aber auch dekalibrierte Achslastwaagen zu einer Verzerrung der erfassten Einzelfahrzeugdaten führen und so Grund sein für ein solches „Herausragen“. Die fahrzeugartspezifischen Gesamtgewichtsverteilungen zeigen für die Fahrtrichtung Magdeburg der A 2, dass eine solche Ver-

zerrung nicht ausgeschlossen werden kann, da für alle Fahrzeugarten eine Verschiebung hin zu den kleineren Gesamtgewichtsklassen zu verzeichnen ist. Dahinter steht ein für alle Fahrzeugarten generell kleinerer Auslastungsgrad, was ungewöhnlich wäre. Daher finden für die Modellentwicklung die entsprechenden Daten keine Berücksichtigung mehr. Da sich das dagegen für die anderen beiden angeführten Messquerschnitte nicht so scharf darstellt, wer-

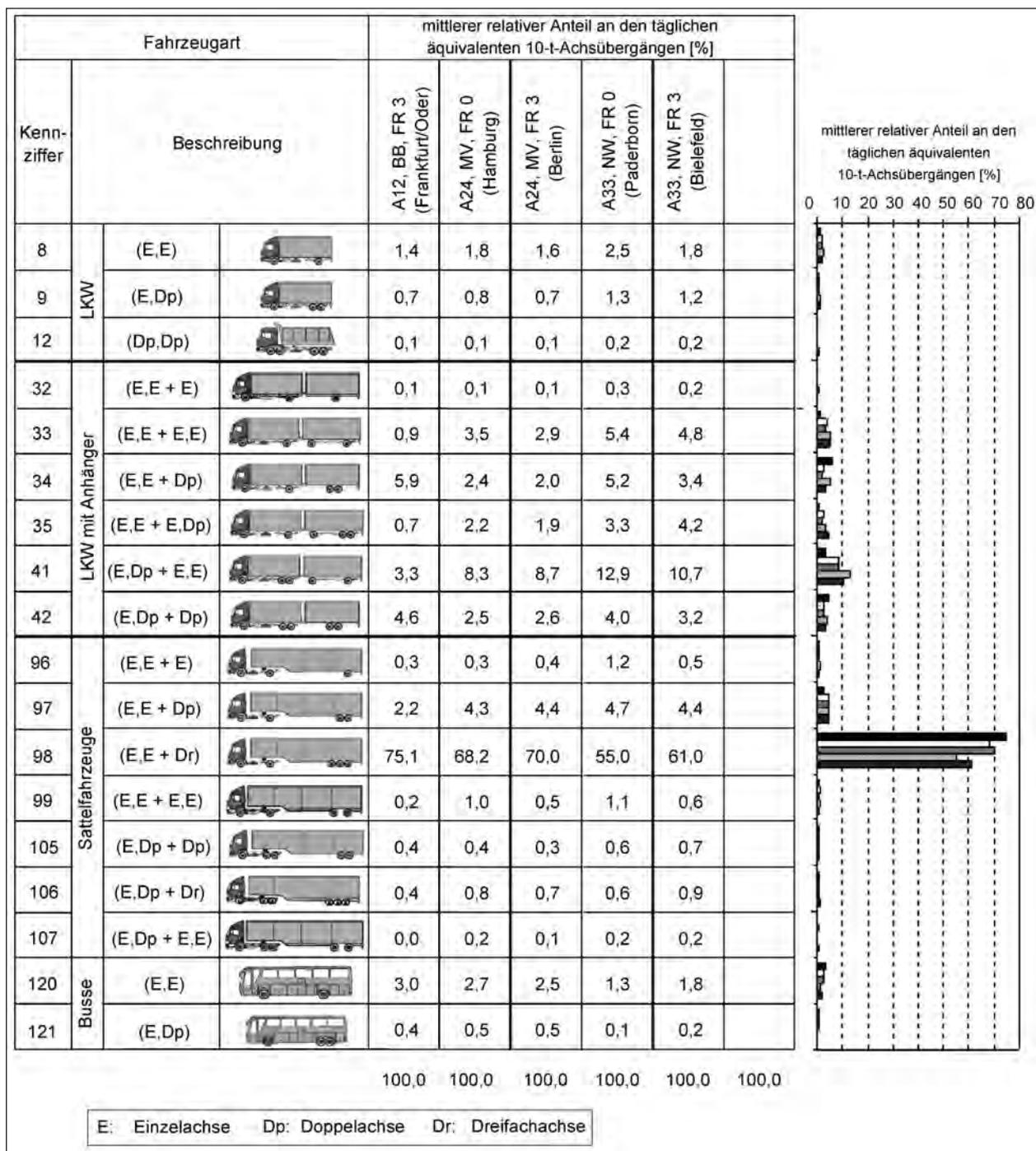


Bild 36: Fahrzeugartbezogene mittlere relative Anteile an den täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergängen in den Achslasterfassungsquerschnitten auf den BAB A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

den die entsprechenden Daten auch weiterhin berücksichtigt.

Der Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der aus ihm resultierenden mittleren Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge pro Tag wird ebenfalls mit einem potenziellen Ansatz angenähert (s. Bild 34); das Bestimmtheitsmaß beträgt dabei $R^2 = 0,97$.

Die Feststellung, dass nur mit Kenntnis der täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs auf BAB auf ihre Beanspruchung, ausgedrückt in äquivalenten 10-t-Achsübergängen, geschlossen werden kann, ist eine weitere wichtige Grundlage für die Entwicklung des Beanspruchungsmodells.

Die fahrzeugartbezogene Betrachtung der durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge (s. Bild 35 und Bild 36) zeigt, was anhand

der fahrzeugartspezifischen Verteilung der mittleren täglichen Lastmenge (s. Bild 27 und Bild 28) schon erkennbar war: Aus dem Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsigem Sattelanhänger (Fahrzeugart 98) mit einem mittleren Anteil am Schwerverkehr zwischen zu meist 47 und 60 % (s. Bild 17) resultiert mit i. M. 70 % die größte Straßenbeanspruchung. Nur in den Messquerschnitten auf der A 33 ist ihr Anteil mit durchschnittlich 58 % kleiner. Hier ist aber auch „nur“ ein durchschnittlicher Anteil dieser Fahrzeugart am Schwerverkehr von 38 % zu verzeichnen. Alle anderen Fahrzeugarten tragen mit jeweils unter 10 % zur Straßenbeanspruchung bei.

4.9 Häufigkeitsverteilung der Fahrzeug-Gesamtgewichte

Die an den Messquerschnitten erfassten Einzelfahrzeugdaten erlauben eine eindeutige Zuordnung der als Einzel-, Doppel- oder Dreifachachsen ausgebildeten Achsaggregate und somit der Achslasten zu einem Fahrzeug. Das Gesamtgewicht eines Fahrzeugs wird durch Addition seiner Achslasten erhalten. Das Gesamtgewicht zum Erfassungszeitpunkt setzt sich aus dem Leergewicht des Fahrzeugs und der transportierten Nutzlast zusammen. Die erfassten Achslasten erlauben keine Trennung in beide Gewichtsarten. Eine Aussage über den Auslastungsgrad der Schwerverkehrsfahrzeuge auf Basis der Einzelfahrzeugdaten ist somit nur über die Annahme eines fahrzeugartspezifischen mittleren Leergewichts möglich.

Die Größe des Gesamtgewichts spielt hinsichtlich der Straßenbeanspruchung eine eher untergeordnete Rolle, es muss nur auf eine hinreichende Anzahl von Achsen verteilt werden, sodass die Achslasten die im § 34 StVZO verkehrsrechtlich festgelegten höchstzulässigen Grenzwerte einhalten.

Für jeden Monat des Erfassungszeitraums, für den Einzelfahrzeugdaten vorliegen, wurden zunächst messquerschnittsbezogen fahrzeugartspezifische mittlere relative Häufigkeitsverteilungen der Fahrzeuggesamtgewichte mit einer Klassenbreite von 1 t erstellt. Der relative Anteil im Betrachtungsmonat wurde dabei mittels Gleichung (11) berechnet.

$$rA.FzArt_{f,k,q,m} = \frac{nFz.FzArt_{f,k,q,m}}{nFz.FzArt_{f,q,m}} \cdot 100 \quad (11)$$

$rA.FzArt_{f,k,q,m}$ relativer Anteil der Fahrzeugart f in der Gesamtgewichtsklasse k im Messquerschnitt q im Monat m [%]

$nFz.FzArt_{f,k,q,m}$ Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart f in der Gesamtgewichtsklasse k im Messquerschnitt q im Monat m

$nFz.FzArt_{f,q,m}$ Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart f im Messquerschnitt q im Monat m

Aus diesen mittleren Verteilungen wurde in einem nächsten Schritt für jeden Messquerschnitt die mittlere Gesamtgewichtsverteilung einer jeden relevanten Fahrzeugart für den Erfassungszeitraum generiert (Gleichung (12)).

$$rA.FzArt_{f,k,q} = \frac{\sum_{m=1}^{nMon_q} rA.FzArt_{f,k,q,m}}{nMon_q} \quad (12)$$

$rA.FzArt_{f,k,q}$ relativer Anteil der Fahrzeugart f in der Gesamtgewichtsklasse k im Messquerschnitt q [%]

$nMon_q$ Anzahl der Monate im Erfassungszeitraum, für die für den Messquerschnitt q Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Im Anhang 6 sind messquerschnittsbezogen die fahrzeugartspezifischen mittleren relativen Gesamtgewichtsverteilungen mit Mittelwert +/- Standardabweichung visualisiert.

Beispielhaft ist das für die Fahrzeugart 41 – Fahrzeugkombination bestehend aus dreiachsigem Kraftfahrzeug mit hinterer Doppelachse und zweiachsigem Anhänger – wie in Bild 37 und Bild 38 dargestellt. In allen Messquerschnitten weist die relative Häufigkeitsverteilung der Gesamtgewichte einen bimodalen Verlauf mit enger Bandbreite auf; hiervon ausgenommen ist die Fahrtrichtung Frankfurt (Oder) des Messquerschnitts auf der A 12. Das zeigt an, dass innerhalb des Erfassungszeitraums von Juni 2004 bis Dezember 2005 die relative Verteilungsform quantitativ nur wenig schwankt. Das gilt auch für den Unterschied im Verlauf zwischen den Messquerschnitten, und das, obwohl die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in den Messquerschnitten mit maximal 7.558 und minimal 2.201 Fz/24h (s. Bild 11) höchst unterschiedlich ist. Hier wird, wie schon mehrfach erwähnt, die zeitliche Konstanz des wirtschaftlichen

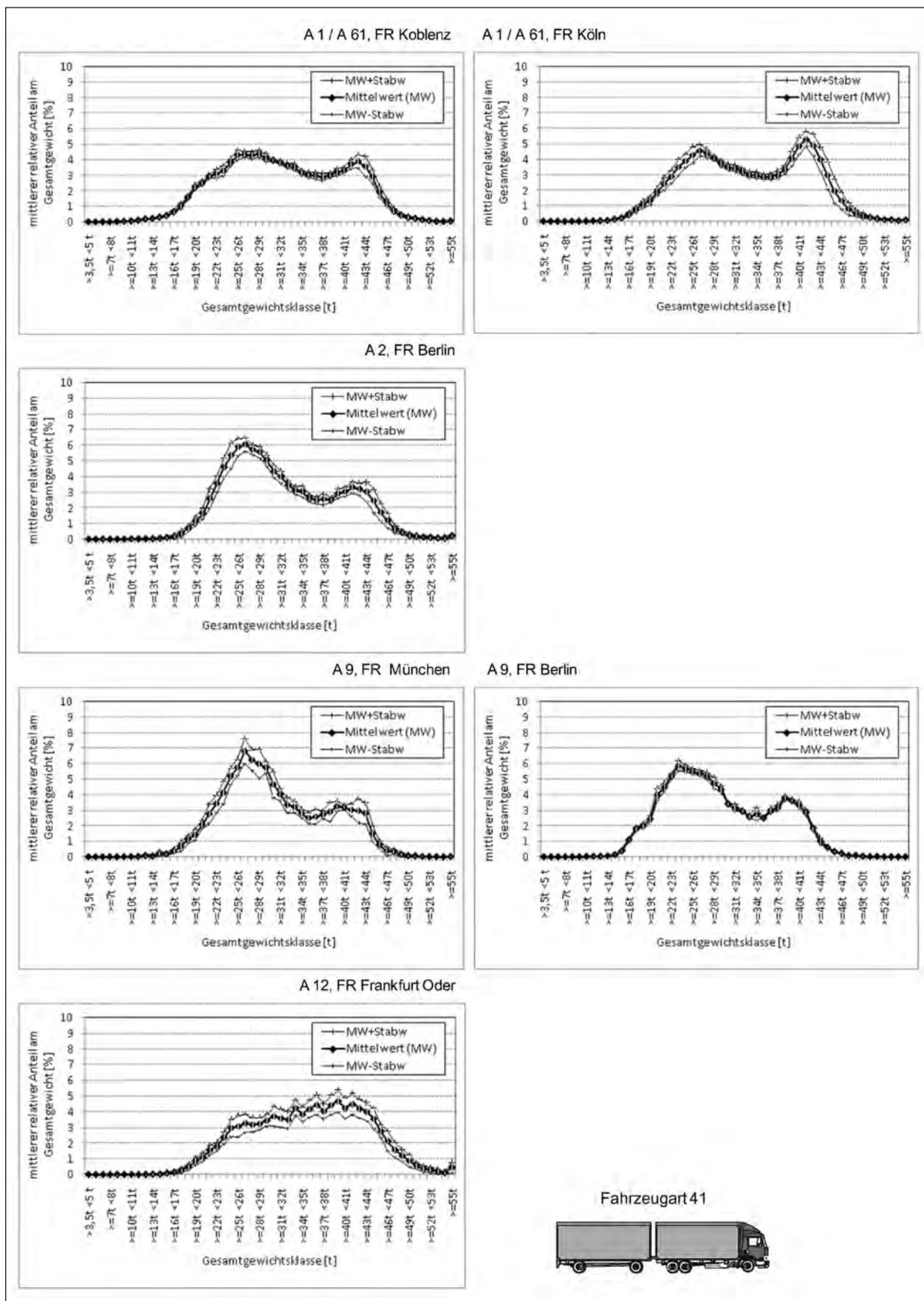


Bild 37: Mittlere relative Häufigkeitsverteilung des Gesamtgewichts der Fahrzeugart 41 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005 für die Messquerschnitte auf den BAB A 1/A 61, A 2-FR Berlin, A 9 und A 12

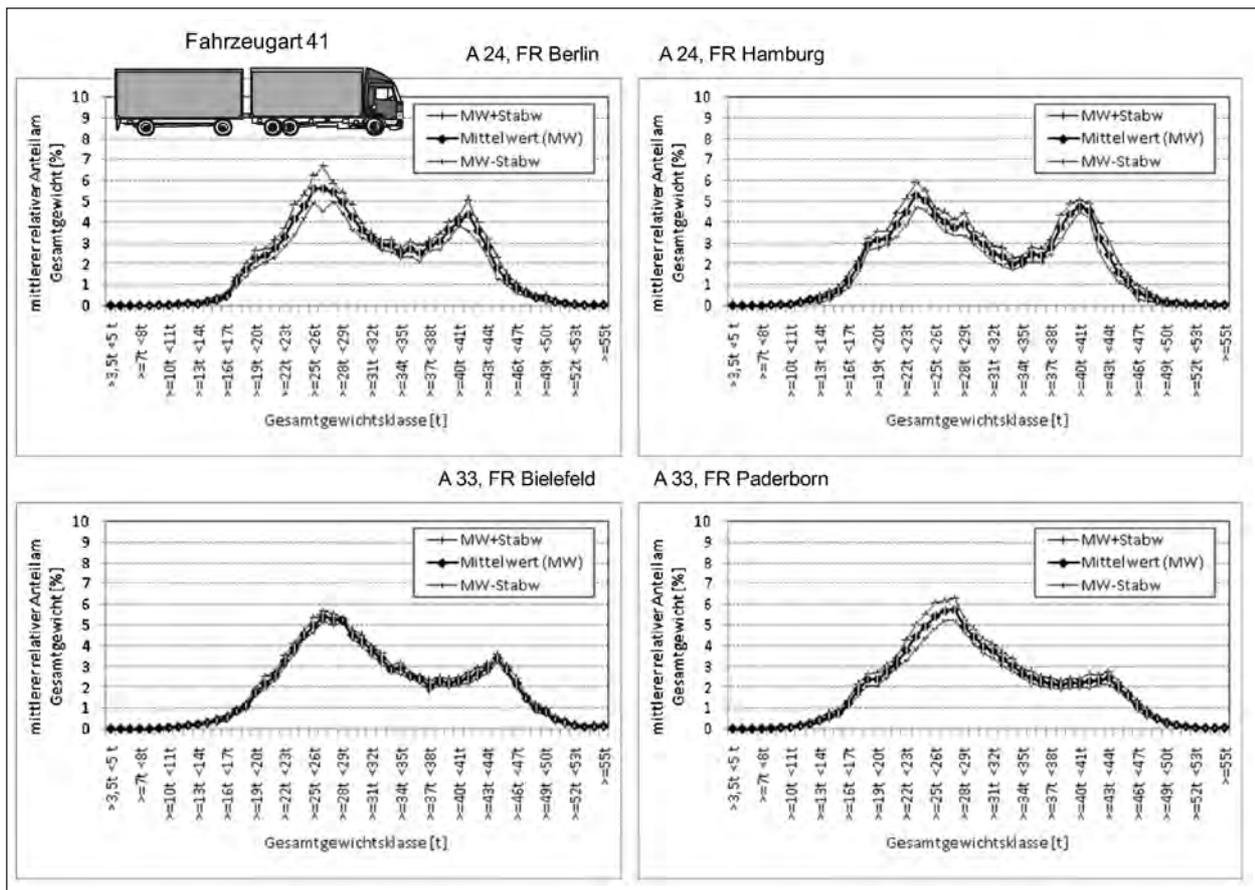


Bild 38: Fortsetzung des Bildes 37: Mittlere relative Häufigkeitsverteilung des Gesamtgewichts der Fahrzeugart 41 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005 für die Messquerschnitte auf den BAB A 24 und A 33

Geschehens in Deutschland sichtbar, woraus eine zeitlich relativ stabile Transportnachfrage resultiert.

Das erste lokale Maximum der bimodalen Gesamtgewichtsverteilungen liegt bei dieser Fahrzeugart im Bereich der Gesamtgewichtsklassen ≥ 23 t bis < 24 t und ≥ 27 t bis < 28 t, zumeist aber in der Gesamtgewichtsklasse ≥ 26 t bis < 27 t. Das zweite lokale Maximum der Relativverteilung liegt im Bereich der Gesamtgewichtsklassen ≥ 38 t bis < 39 t und ≥ 44 t bis < 45 t mit einer Häufung im Bereich zwischen ≥ 39 t bis < 40 t und ≥ 41 t bis < 42 t. Zwischen den beiden lokalen Maxima verlaufen die Verteilungen konkav, mit einem Minimum zwischen den Gesamtgewichtsklassen ≥ 33 t bis < 34 t und ≥ 37 t bis < 38 t. Vor dem ersten und hinter dem zweiten lokalen Maximum nehmen die Klassenbelegungen steil ab.

Zu erkennen ist auch, dass die relativen Gesamtgewichtsverteilungen über die Klasse ≥ 39 und < 40 t hinausreichen. Allgemein darf das maximale Gesamtgewicht einer 5-achsigen Fahrzeugart nach § 34 StVZO aber „nur“ 40 t betragen. Die Überschreitungen des höchstzulässigen Gesamtge-

wichts können verursacht sein durch ordnungswidrige Überladungen, durch Fahrzeuge des Kombiverkehrs, die ein höchstzulässiges Gesamtgewicht von 44 t aufweisen dürfen, und auch durch Fahrzeuge, die mit einer Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO verkehren dürfen. Erstere Grenzwertüberschreitungen führen zu einem „gewollten“ betriebswirtschaftlichen Nutzen und zu volkswirtschaftlichen Nachteilen, wie z. B. zu zeitlich früher notwendig werdenden Instandsetzungsarbeiten. An die 50 % der äquivalenten 10-t-Achsübergänge resultieren aus Fahrzeugen, die den oberen Gesamtgewichtsklassen zuzuordnen sind, was beispielhaft für die Fahrzeugart 41 in Bild 39 dargestellt ist. Hier wird deutlich, welchen Einfluss schwere und insbesondere die Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewichte überschreitende Fahrzeuge auf die Straßenbeanspruchung haben.

Die Struktur der Überschreitungen der höchstzulässigen Achslasten und Gesamtgewichte, die übrigens bei allen Fahrzeugarten festgestellt werden, wird der Verfasser im Rahmen eines BAST-AP-Projekts näher untersuchen, insbesondere deren Aus-

wirkungen auf die Beanspruchung, Dimensionierung und Erhaltung von Straßenoberbauten.

Die Verteilungsformen zeigen auch deutlich, dass, obwohl ein höchstzulässiges Gesamtgewicht von 40 t möglich wäre, dieses nur im relativ geringen Umfang ausgenutzt wird. Das Bild der Nichtausnutzung des jeweils potenziell möglichen Gesamtgewichts zeigt sich – außer bei den Bussen – bei allen anderen Fahrzeugarten (s. Anhang 6). Hier bildet sich die breite Struktur der Transportnachfrage ab, die den volumen- und gewichtsmäßigen Auslastungsgrad der Fahrzeuge determiniert. Gewichtsvoll sind dabei die wenigsten Fahrzeuge.

Aufgrund der Ähnlichkeit der fahrzeugspezifischen Gesamtgewichtsverteilungen werden sie zu einer die Fahrzeugart charakterisierenden mittleren Verteilung zusammengefasst (Gleichung (13)), was, wiederum beispielhaft für die Fahrzeugart 41, in Bild 39 dargestellt ist.

$$rA.FzArt_{f,k} = \frac{\sum_{q=1}^{nMQ} rA.FzArt_{f,k,q}}{nMQ} \quad (13)$$

$rA.FzArt_{f,k}$ relativer Anteil der Fahrzeugart f in der Gesamtgewichtsklasse k [%]

$rA.FzArt_{f,k,q}$ relativer Anteil der Fahrzeugart f in der Gesamtgewichtsklasse k im Messquerschnitt q [%]

nMQ Anzahl der Messquerschnitte

Für die relevanten Fahrzeugarten finden sich die entsprechenden charakteristischen mittleren Gesamtgewichtsverteilungen im Anhang 7. Für die Fahrzeugarten 12, 32, 96, 105, 107 und 121 zeigen sich vergleichsweise weniger enge Bandbreiten der Verteilungen. Aufgrund ihres nur geringen Anteils am Schwerverkehr sind die Auswirkungen auf Wirkungsanalysen von Szenarien, die mit dem SVIB-BAB-Modell durchgeführt werden können, jedoch nur gering. Mit dem weiteren Aufbau des Achslasterfassungsnetzes wird sich die absolute Fahrzeuganzahl dieser Fahrzeugarten erhöhen, sodass mit einer Verengung der entsprechenden Bandbreiten gerechnet wird.

Die im Anhang 7 dargestellten fahrzeugspezifischen mittleren Gesamtgewichtsverteilungen münden in die entsprechenden Histogramme (Anhang 9) und stehen so im SVIB-BAB-Modell auf der Sekundärebene als Basisverteilungen zur Verfügung.

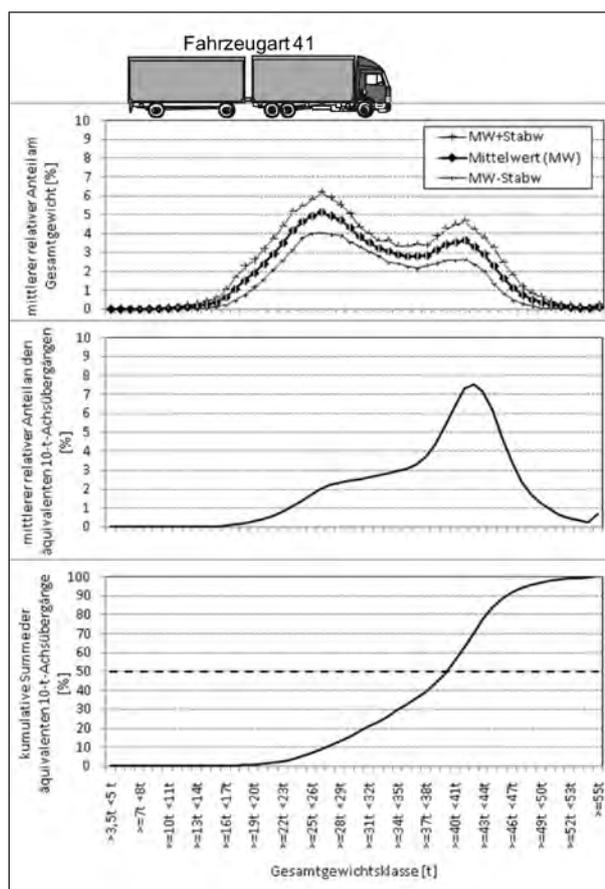


Bild 39: Mittlere relative Häufigkeitsverteilungen des Gesamtgewichtes, der äquivalenten 10-t-Achsübergänge und ihrer kumulativen Summe für die Fahrzeugart 41 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

Die Gesamtgewichtsverteilungen für die einzelnen Messquerschnitte über alle relevanten Fahrzeugarten hinweg ergeben sich über Gleichung (14).

$$rA.GGKI_{k,q} = \frac{\sum_{m=1}^{nMon_q} nFz_{k,q,m}}{nMon_q} \quad (14)$$

$rA.GGKI_{k,q}$ relativer Anteil in der Gesamtgewichtsklasse k im Messquerschnitt q [%]

$nFz_{k,q,m}$ Anzahl der Fahrzeuge in der Gesamtgewichtsklasse k im Messquerschnitt q im Monat m

$nFz_{q,m}$ Anzahl der Fahrzeuge im Messquerschnitt q im Monat m

$nMon_q$ Anzahl der Monate im Erfassungszeitraum, für die für den Messquerschnitt q Einzelfahrzeugdaten vorliegen

Die mittleren Gesamtgewichtsverteilungen für die einzelnen Messquerschnitte ähneln sich sowohl im

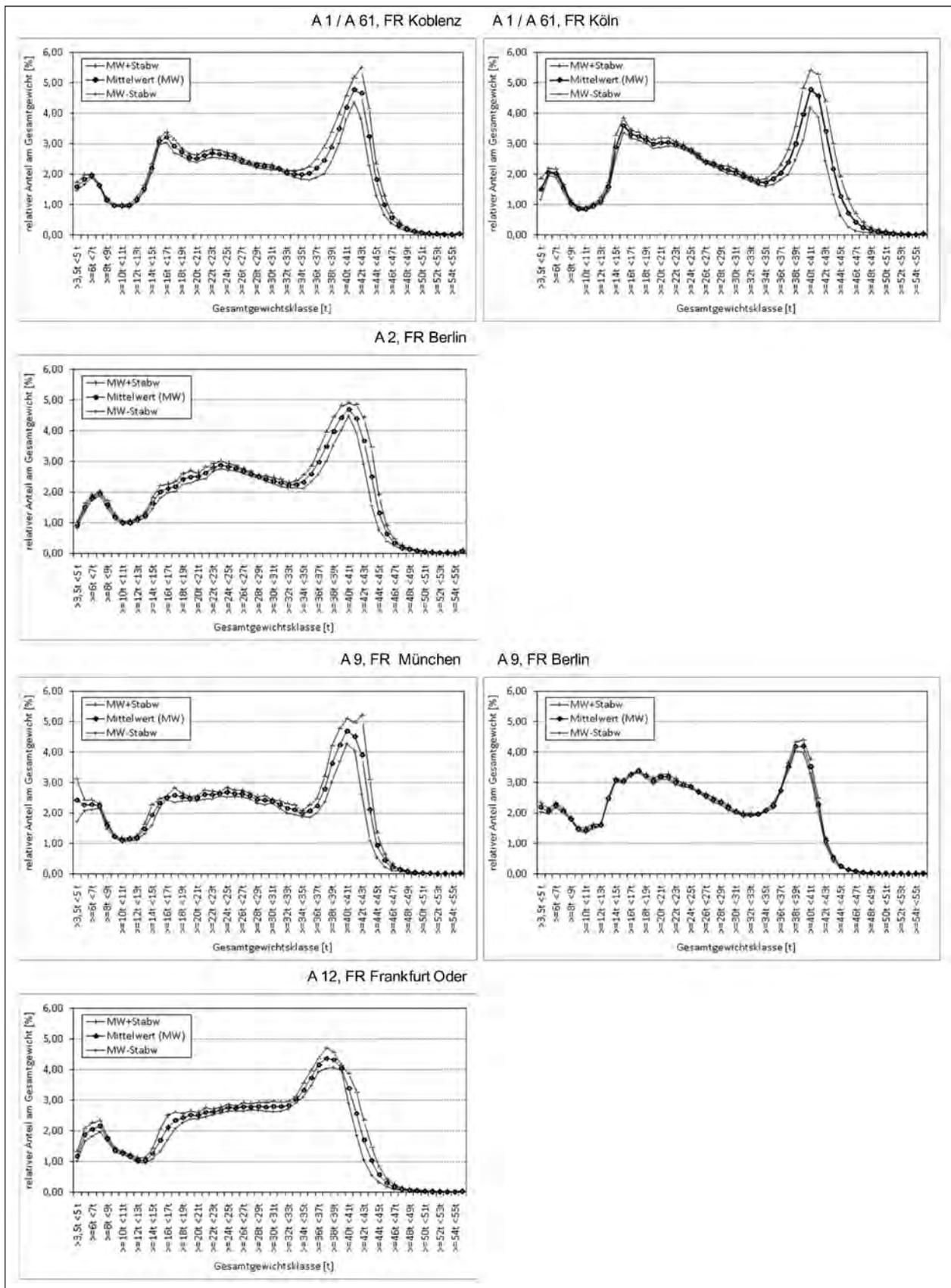


Bild 40: Mittlere relative Häufigkeitsverteilung des Gesamtgewichts im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005 für die Messquerschnitte auf den BAB A 1/A 61, A 2-FR Berlin, A 9 und A 12

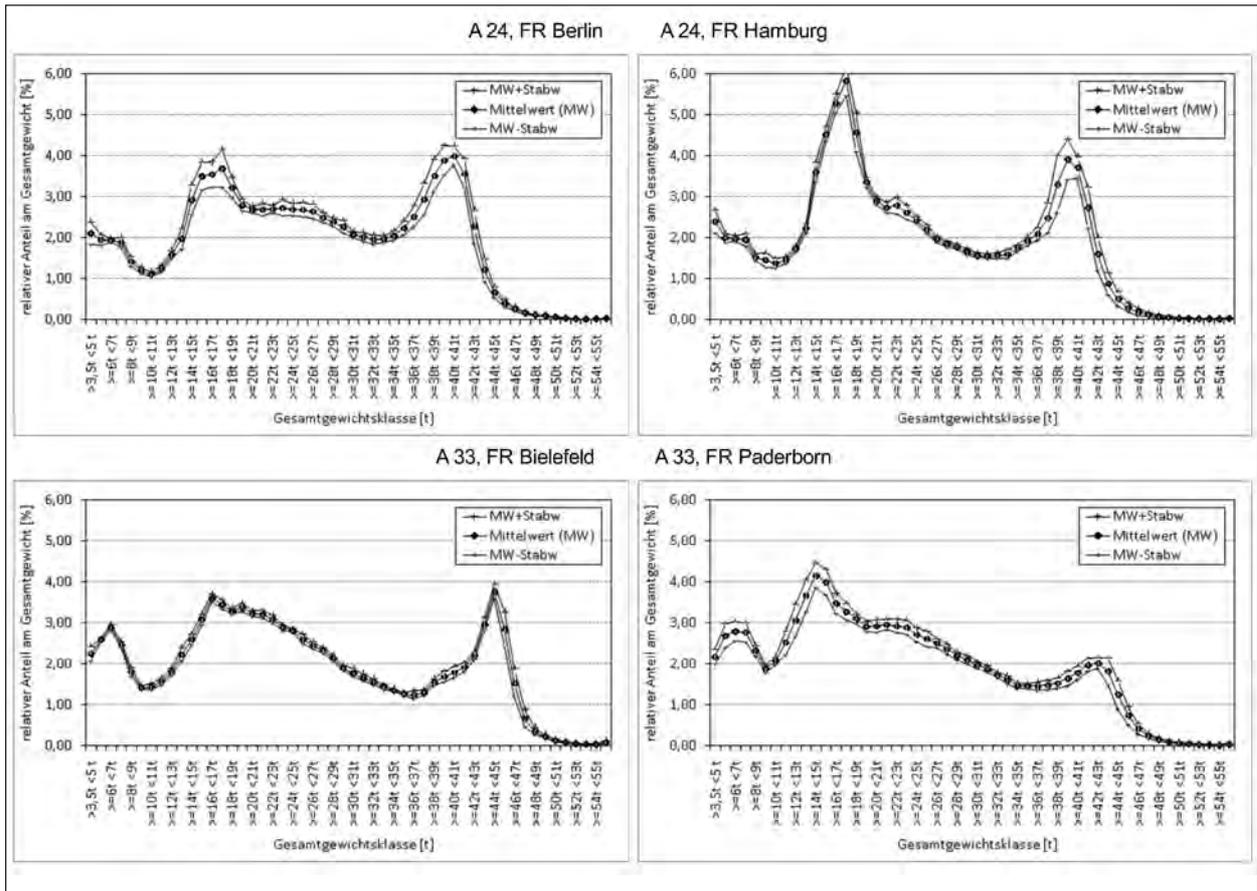


Bild 41: Fortsetzung des Bildes 40: Mittlere relative Häufigkeitsverteilung des Gesamtgewichts im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005 für die Messquerschnitte auf den BAB A 24 und A 33

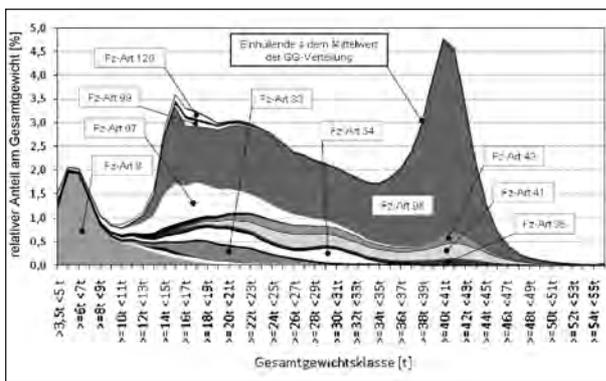


Bild 42: Fahrzeugartspezifische mittlere relative Häufigkeitsverteilung des Gesamtgewichts für die Fahrtrichtung Köln des Messquerschnitts auf der BAB A 1/A 61

qualitativen als auch im quantitativen Verlauf sehr (Bild 40 und Bild 41). Auch in diesen Verteilungen spiegelt sich die zeitlich relativ stabile Transportnachfrage wider.

Die fahrzeugartspezifische Zerlegung der relativen Gesamtgewichtsverteilungen zeigt anhand des Beispiels für die A 1/A 61 (Bild 42), dass die Belegung der mittleren Gesamtgewichtsklassen etwa im Be-

reich zwischen ≥ 12 t bis < 13 t und ≥ 34 t bis < 35 t hauptsächlich aus den Fahrzeugarten 33, 34, 41, 42, 97 und 98 generiert wird. Die Besetzung der Gesamtgewichtsklassen < 12 t wird dagegen nur von der Fahrzeugart 8, die der Gesamtgewichtsklassen ≥ 35 t dagegen hauptsächlich von der Fahrzeugart 98 dominiert. Alle anderen relevanten Fahrzeugarten spielen hinsichtlich der Besetzung dieser beiden Klassenbereiche eine nur untergeordnete Rolle.

4.10 Tagesganglinien des DTVSV, der Lastmenge und der äquivalenten 10-t-Achsübergänge

Der auf vergleichbarem Niveau liegende zeitliche Verlauf der monatsbezogenen Mittelwerte des DTVSV, der aus ihm hervorgehenden Lastmenge und der aus den Achslasten resultierenden äquivalenten 10-t-Achsübergänge (s. Bild 10, Bild 24 und Bild 32) impliziert nicht, dass der tägliche Verlauf dieser Größen qualitative Ähnlichkeiten zeigt.

Für die Abbildung der Tagesganglinien werden die Stundenwerte der Verkehrsstärke des Schwerverkehrs, der Lastmenge und der äquivalenten 10-t-Achsübergänge herangezogen (Gleichung (15) bis (17)).

$$\text{DTVSV}_{h,t} = \sum_{i=1}^{n\text{Fz.h.t}} \text{Fz}_{i,h,t} \quad (15)$$

$\text{DTVSV}_{h,t}$ Verkehrsstärke des Schwerverkehrs in der Stunde h des Tages t

$\text{Fz}_{i,h,t}$ i-tes Fahrzeug in der Stunde h des Tages t

$n\text{Fz.h.t}$ Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs in der Stunde h des Tages t

$$\text{LM}_{h,t} = \sum_{i=1}^{n\text{Achs.h.t}} \text{Achslast}_{i,h,t} \quad (16)$$

$\text{LM}_{h,t}$ aus dem Schwerverkehr hervorgehende Lastmenge in der Stunde h des Tages t [t]

$\text{Achslast}_{i,h,t}$ Achslast i in der Stunde h des Tages t

$n\text{Achs.h.t}$ Anzahl der Achsen des Schwerverkehrs in der Stunde h des Tages t

$$\text{äq}10\text{t}_{h,t} = \sum_{i=1}^{n\text{Achs.h.t}} \left(\frac{\text{Achslast}_{i,h,t}}{10} \right)^4 \quad (17)$$

$\text{äq}10\text{t}_{h,t}$ aus dem Schwerverkehr resultierende Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge in der Stunde h des Tages t

$\text{Achslast}_{i,h,t}$ Achslast i in der Stunde h des Tages t

$n\text{Achs.h.t}$ Anzahl der Achsen des Schwerverkehrs in der Stunde h des Tages t

Als Beispiel für die Tagesganglinien der zuvor aufgeführten Größen seien jeweils zwei aufeinanderfolgende Wochen des höchst- – A 1/A 61, FR Köln, 13. bis 19.06.2005 – und niedrigstbeanspruchten – A 33, FR Paderborn, 14. bis 20.03.2005 – Messquerschnitts herangezogen (Bild 43).

Die Stundenwerte der Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (obere Darstellung in Bild 43) weisen in beiden Messquerschnitten, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau, ausgeprägte Ganglinien an den Tagen der jeweils beiden ausgesuchten Wochen auf. Deutlich zeichnen sich die Wochenenden ab, an denen der Schwerverkehr durch das Sonntagsfahrverbot, das an Sonntagen für Kraftfahrzeuge und Fahrzeugkombinationen mit einem zulässi-

gen Gesamtgewicht über 7,5 t von 00:00 Uhr bis 22:00 Uhr gilt (§ 30 StVO), determiniert ist. In der Urlaubszeit Juli bis August gilt das Fahrverbot für Fahrzeuge, die dem Sonntagsfahrverbot unterliegen, zusätzlich auch an Samstagen von 07:00 Uhr bis 20:00 Uhr, aber nur auf bestimmten Autobahnstrecken.

Die Fahrverbote gelten nicht für den kombinierten Verkehr und auch nicht für Transporte von z. B. frischer Milch, frischen Milcherzeugnissen, Fleisch oder leicht verderblichem Obst und Gemüse. Leerfahrten, die in Zusammenhang mit diesen Transporten stehen, sind auch vom Sonntagsfahrverbot ausgenommen. Erkennbar wird das an dem nicht auf null zurückgehenden DTVSV in beiden Messquerschnitten, wobei festzustellen ist, dass die Stundenwerte der Verkehrsstärke des DTVSV ab Sonntag 00:00 Uhr, wenn auch nur geringfügig, zunehmen. Erst ab dem Ende des Sonntagsfahrverbots nimmt der DTVSV wieder deutlich zu. Im Messquerschnitt auf der A 1/A 61 ist das bereits ab 18:00 Uhr der Fall.

Für den Messquerschnitt auf der A 33 bilden sich erkennbar zwischen Freitag, 25.03.2007 und Sonntag, 27.03.2007 die Osterfeiertage ab, an denen der DTVSV und somit die Straßenbeanspruchung gegen null tendieren.

Das Minimum des DTVSV liegt für die beiden dargestellten Fälle mit ca. 180 Fz/h bzw. knapp 50 Fz/h um Mitternacht herum. Er geht also nicht auf null zurück. Danach nimmt er stark zu und hat an Werktagen streckenspezifisch zwischen etwa 06:00 Uhr und ca. 18:00 Uhr aufgrund der dann allgemeinen Geschäftstätigkeit mit zwischen 60 und 70 % den jeweils größten Anteil im Tagesverlauf. In diesem Zeitraum liegt auch zumeist das Maximum des DTVSV. Danach nimmt der DTVSV dann wieder stark ab, bis auf das Minimum um Mitternacht herum.

Der qualitative Unterschied zwischen den Tagesganglinien des DTVSV beider jeweils aufeinanderfolgenden Wochen ist für beide Messquerschnitte nur geringfügig. Auch die Tagesganglinien der Stundenwerte der aus dem Schwerverkehr hervorgehenden Lastmengen (Bild 43, mittlere Darstellung) und der daraus resultierenden äquivalenten 10-t-Achsübergänge (Bild 43, untere Darstellung) verlaufen in den beiden Wochen qualitativ sehr ähnlich. Anhand der gleichförmigen Schwellbeanspruchung der Straßenbefestigungen der BAB wird erneut das schon beschriebene über die Zeit hin-

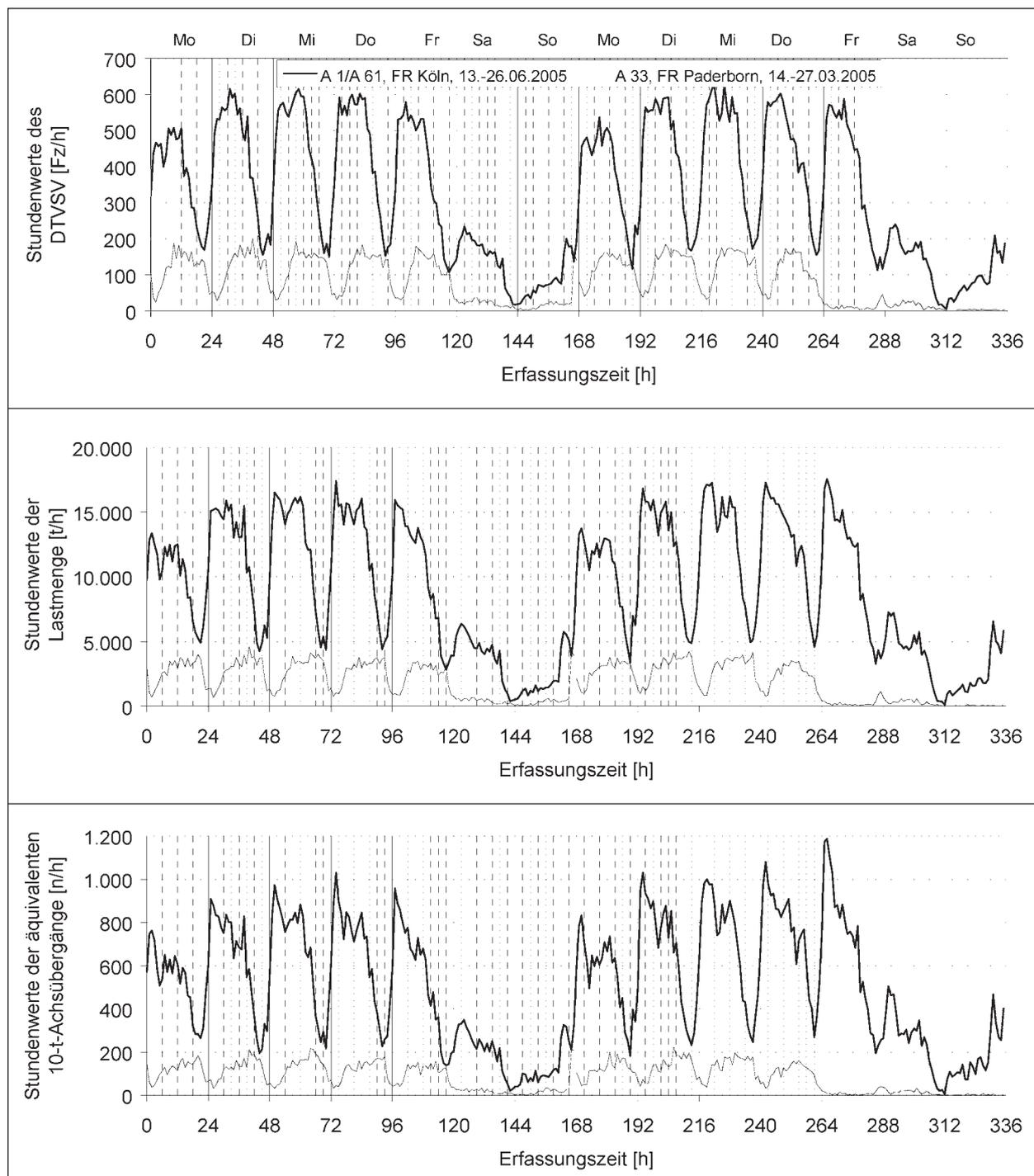


Bild 43: Tagesganglinien der Verkehrsstärke des Schwerververkehrs, der Lastmenge und der äquivalenten 10-t-Achsübergänge für den Messquerschnitt auf der A 1/A 61 in Fahrtrichtung Köln und der A 33 in Fahrtrichtung Paderborn für die Woche vom 13. bis 26.06.2005 bzw. 14. bis 27.03.2005

weg gleichförmige wirtschaftliche Geschehen in Deutschland sichtbar.

Die Straßenbeanspruchung ist also keine über den Tag verlaufende konstante Größe, sondern sie weist im Tagesverlauf eine ausgeprägte Ganglinie auf. Dieses Muster wiederholt sich quantitativ ähnlich für die Werktage, die Wochenenden und Feier-

tage. Die Ausprägung dieser Ganglinie hängt hauptsächlich von den streckenspezifischen Gegebenheiten ab, die die Verkehrsstärke des DTVSVs beeinflussen. Erst auf den nächsthöheren Aggregationsebenen – Tages-, Wochen-, Monats- oder Jahresmittelwerte – liegt ein recht gleichmäßiger zeitlicher Verlauf der Straßenbeanspruchung mit nur geringen Amplituden vor.

Die Straßenbeanspruchung hängt aber nicht nur von der Ausprägung der Tagesganglinie des DTVSV und der aus ihm hervorgehenden zeitlich stochastisch aufeinanderfolgenden unterschiedlich hohen Achslasten ab, sondern auch von dem Tagesgang der Temperatur in einer Straßenbefestigung.

Zum Zeitpunkt t einer Achsüberrollung mit der Achslast i herrscht in der Straßenbefestigung eine Temperaturverteilung y über die Dicke des gebundenen Asphaltpakets oder der Betondecke. Sie ist vom Wettergeschehen und von den Materialeigenschaften der einzelnen Schichten des Aufbaus abhängig. Vom Wettergeschehen abhängig ist auch der hydrologische Zustand des Untergrundes. Die Überlagerung der durch eine Achsüberrollung im Straßenaufbau hervorgerufenen mechanogenen und der zum selben Zeitpunkt in Asphaltbefestigungen bei tiefen Temperaturen auftretenden temperaturbedingten inneren Spannungen, der kryogenen Spannungen, bzw. in Betonbefestigungen auftretenden Wölb- und Temperaturspannungen ergeben die Spannungen, die den Aufbau zum Zeitpunkt t der Überrollung beanspruchen. Diese Beanspruchung führt zu einem Substanzverlust, dessen Größe von den zum Zeitpunkt t der Überrollung vorhandenen zulässigen Spannungen abhängig ist.

In den Sommermonaten trifft, im Zeitraum etwa zwischen 06:00 Uhr und ca. 18:00 Uhr, die hohe Verkehrsbelastung mit den dann zumeist hohen Asphalttemperaturen zusammen, vor dem Hintergrund der Spurrinnenentwicklung bei Straßenbefestigungen in Asphaltbauweise eine denkbar ungünstige Kombination. In den Wintermonaten mit insbesondere in den Nachtstunden tiefen Temperaturen und auch schneller Abkühlung kann trotz des dann deutlich geringeren DTVSV die Überlagerung mechanogener und kryogener Spannungen zur Rissbildung in Asphaltbefestigungen insbesondere an ihrer Oberfläche führen.

Allgemein ist festzuhalten: Die Straßenbeanspruchung stellt sich an Werktagen als Schwellbeanspruchung dar, mit einer Sockelbeanspruchung um Mitternacht herum und hohen Beanspruchungen zwischen etwa 06:00 Uhr und ca. 18:00 Uhr.

Die für die beiden Messquerschnitte gemachten Aussagen treffen qualitativ auch für die anderen Messquerschnitte zu.

4.11 Abgleich mit den bemessungsrelevanten Kenngrößen nach den RStO 01

Die Dimensionierung der Straßenbefestigungen in Deutschland erfolgt heutzutage hauptsächlich nach den RStO 01 [RS01]. Dabei erfolgt die Zuordnung zu den die Aufbaudicken bestimmenden Bauklassen anhand von gewichteten äquivalenten 10-t-Achsübergängen des Schwerverkehrs, die in der Regel im 30-jährigen Nutzungszeitraum zu ertragen sind. In die so genannte bemessungsrelevante Beanspruchung B (Gleichung (18)) fließen u. a. der mittlere Lastkollektivquotient q_{BM} und die mittlere Anzahl der Achsen pro Fahrzeug des Schwerverkehrs f_A ein.

$$B = N \cdot \text{DTV}^{(\text{SV})} \cdot f_A \cdot q_{BM} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365 \quad (18)$$

N	Anzahl der Jahre des zugrunde gelegten Nutzungszeitraums; in der Regel 30 Jahre
$\text{DTV}^{(\text{SV})}$	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs [Fz/24h]
f_A	durchschnittliche Achsanzahl pro Fahrzeug des Schwerverkehrs
q_{BM}	mittlerer Lastkollektivquotient
f_1	Fahrstreifenfaktor
f_2	Fahrstreifenbreitenfaktor
f_3	Steigungsfaktor
f_z	mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs

Datengrundlage für die Ableitung des mittleren Lastkollektivquotienten q_{BM} und der mittleren Anzahl der Achsen pro Fahrzeug des Schwerverkehrs waren die im Rahmen des BAST-AP-Projekts „Langzeitbeobachtungen“ [LZB92] im Zeitraum Mitte der 60er Jahre bis einschließlich 1994 im Rahmen der Einzelfahrzeugdatenerfassung auf BAB, Bundes- und Landesstraßen erhobenen Achslastdaten.

Inzwischen sind 13 Jahre vergangen. Ein Abgleich der beiden aus den aktuellen Einzelfahrzeugdaten abgeleiteten Kenngrößen q_{BM} und f_A mit den nach den RStO 01 anzusetzenden Werten für BAB soll zeigen, ob hier für die Straßenklasse BAB Aktualisierungsbedarf besteht.

4.11.1 Mittlerer Lastkollektivquotient q_{Bm}

Der mittlere Lastkollektivquotient q_{Bm} drückt die straßenklassenspezifische mittlere Beanspruchung der jeweiligen tatsächlichen Achsübergänge aus. Er ist der Quotient aus der Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge und der Summe der tatsächlichen Achsübergänge des Schwerververkehrs. Je größer der Quotient ist, desto größer ist die aus dem Schwerverkehr hervorgehende Straßenbeanspruchung.

Für den vorliegenden Fall wird der Lastkollektivquotient q_{Bm} für die Messquerschnitte anhand der im jeweiligen Erfassungszeitraum erfassten Achslasten berechnet (Gleichung (19)).

$$q_{Bm,q} = \frac{\sum_{i=1}^{nAchs.q} \left(\frac{Achslast_{i,q}}{10} \right)^4}{nAchs.q} \quad (19)$$

$q_{Bm,q}$ mittlerer Lastkollektivquotient im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum

Achslast $_{i,q}$ Achslast der i -ten Achse des Schwerververkehrs im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum [t]

10 äquivalente Achslast [t]

$nAchs.q$ Anzahl der Achsen des Schwerververkehrs im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum

Für den größten Teil der Messquerschnitte werden mittlere Lastkollektivquotienten festgestellt, die überwiegend deutlich über dem nach den RStO 01 für BAB anzusetzenden Mittelwert von $q_{Bm} = 0,26$ liegen (Bild 44, mit aufgenommen ist die Standardabweichung innerhalb des Erfassungszeitraums).

Für die ersten fünf der absteigend gereihten Messquerschnitte in Bild 44 ergibt sich i. M. ein mittlerer Lastkollektivquotient von $q_{Bm} = 0,32$ mit einem Maximalwert von $q_{Bm} = 0,34$ im Messquerschnitt auf der A 1/A 61 in Fahrtrichtung Koblenz. I. M. liegen sie 23 % über dem RStO 01 Wert. Die Werte für die drei folgenden Messquerschnitte liegen mit maximal $q_{Bm} = 0,28$ und minimal $q_{Bm} = 0,25$ im Bereich der Größenordnung des RStO 01 Werts von $q_{Bm} = 0,26$.

Für die letzten beiden Messquerschnitte ergeben sich unterhalb des RStO 01-Werts liegende q_{Bm} -Werte zwischen 0,24 – Messquerschnitt auf der A 33 in Fahrtrichtung Paderborn – und 0,23 – Messquerschnitt auf der A 24 in Fahrtrichtung Ham-

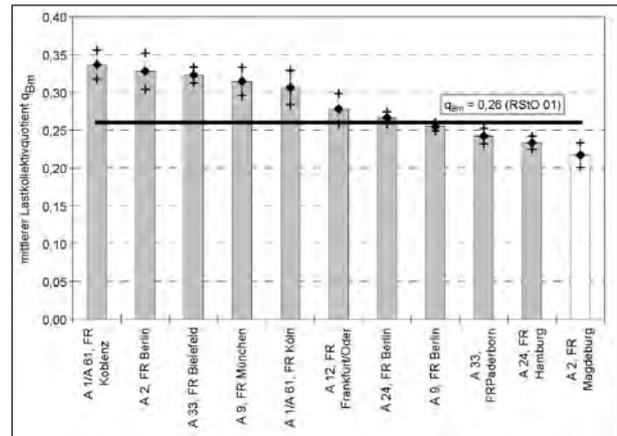


Bild 44: Mittlere Lastkollektivquotienten q_{Bm} für die Messquerschnitte auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

burg. Der Messquerschnitt auf der A 2 in Fahrtrichtung Magdeburg – weiß hinterlegte Säule – wird zwar angezeigt, aber nicht in die Betrachtung mit aufgenommen, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass hier die Achslastwaage im Erfassungszeitraum dekalibriert war (s. Kapitel 4.8). Über alle Messquerschnitte hinweg ergibt sich i. M. ein Lastkollektivquotient von $q_{Bm} = 0,28 \pm 0,042$.

Die Zunahme des Lastkollektivquotienten beruht zum einen auf der deutlichen Zunahme des Relativanteils des Sattelkraftfahrzeugs mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsigem Sattelanhänger (Fahrzeugart 98, siehe Bild 19) am Schwerverkehr in den letzten Jahren, woraus insbesondere in den beiden Achslastklassen ≥ 6 bis < 7 t und ≥ 7 bis < 8 t Zuwächse zu verzeichnen waren, zum anderen aber auch auf einer Erhöhung des Auslastungsgrades der Schwerverkehrsfahrzeuge durch eine verbesserte Logistik.

Fazit: Eine Erhöhung des in die standardisierte Dimensionierung nach den RStO 01 eingehenden Lastkollektivquotienten $q_{Bm} = 0,26$ scheint auf Basis der in Bild 44 dargestellten Ergebnisse angebracht.

4.11.2 Mittlere Achszahl pro Fahrzeug des Schwerverkehrs f_A

Die durchschnittliche Anzahl der Achsen pro Fahrzeug des Schwerververkehrs im Erfassungszeitraum ergibt sich nach Gleichung (20).

$$f_{A,q} = \frac{nAchs.q}{nFz.q} \quad (20)$$

- $f_{A,q}$ Durchschnittliche Achsanzahl pro Fahrzeug des Schwerververkehrs im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum
- $n_{\text{Achse},q}$ Anzahl der Achsen des Schwerververkehrs im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum
- $n_{\text{Fz},q}$ Anzahl der Fahrzeuge des Schwerververkehrs im Messquerschnitt q im Erfassungszeitraum

Für den größten Teil der Messquerschnitte werden mittlere Achsanzahlen pro Fahrzeug des Schwerververkehrs festgestellt, die über dem nach den RStO 01 für BAB anzusetzenden Mittelwert von $f_A = 4,2$ liegen (Bild 45, mit aufgenommen ist die Standardabweichung innerhalb des Erfassungszeitraums). Der Messquerschnitt in Fahrtrichtung Magdeburg auf der A 2 ist hier mit aufgenommen, da im Gegensatz zur Bestimmung des Lastkollektivquotienten die Kalibrierung der Achslastwaage an dieser Stelle keine Rolle spielt.

Für die ersten sechs der absteigend gereihten Messquerschnitte in Bild 45 ergibt sich i. M. eine mittlere Achsanzahl pro Fahrzeug des Schwerververkehrs von $f_A = 4,4$. Die nächsten drei Messquerschnitte liegen mit i. M. $f_A = 4,3$ noch knapp über dem RStO 01-Wert. Die mittleren Achsanzahlen pro Fahrzeug für die letzten beiden Messquerschnitte entsprechen mit $f_A = 4,2$ dem RStO 01-Wert.

Dass die nach den RStO 01 anzusetzende mittlere Achsanzahl pro Fahrzeug des Schwerververkehrs von $f_A = 4,2$ zum größten Teil übertroffen wird, kann, wie schon im Kapitel 4.11.1 ausgeführt, auf den in den letzten Jahren gestiegenen Relativanteil des Sattelkraftfahrzeugs mit zweiachsiger Sattelzugmaschine

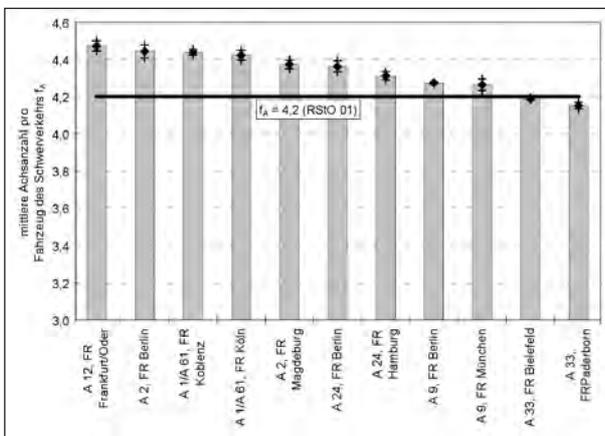


Bild 45: Mittlere Achsanzahlen f_A pro Fahrzeug des Schwerververkehrs für die Messquerschnitte auf den BAB A 1/A 61, A 2, A 9, A 12, A 24 und A 33 im Erfassungszeitraum Juni 2004 bis Dezember 2005

und dreiachsigen Sattelanhänger (Fahrzeugart 98, siehe Bild 19) am Schwerverkehr, das insgesamt fünf Achsen aufweist, zurückgeführt werden.

Fazit: Auch hinsichtlich der durchschnittlichen Achsanzahl pro Fahrzeug des Schwerververkehrs besteht für die RStO 01 Aktualisierungsbedarf.

5 Modellansatz zur Berechnung der schwerverkehrsinduzierten Belastung/Beanspruchung der BAB

5.1 Struktur des Modells SVIB-BAB

Auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln abgeleiteten Zusammenhänge zwischen der täglichen Verkehrsstärke des Schwerververkehrs und der Lastmenge sowie den äquivalenten 10-t-Achsübergängen lässt sich ein Belastungs-/Beanspruchungsmodell aufbauen, mit dem nur mit der Kenntnis der täglichen Verkehrsstärke des Schwerververkehrs auf die schwerverkehrsinduzierte Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens der BAB geschlossen werden kann. Das macht es möglich, die im BAB-Netz an 603 Dauerzählstellen (Stand: 2006) erfassten Verkehrsmengen des Schwerververkehrs in eine netzweite Betrachtung der Belastung/Beanspruchung der Straßenbefestigungen einzubinden, um so Aussagen zum Dimensionierungsstatus des BAB-Netzes zu erhalten.

Darüber hinaus ist es aufgrund der ebenfalls abgeleiteten Zusammenhänge zwischen Gesamtgewichten und Achslasten innerhalb einer Fahrzeugart des Schwerververkehrs möglich, Wirkungsanalysen von Szenarien wie z. B. die Auswirkungen von Änderungen in der Zusammensetzung des Schwerververkehrs oder von Änderungen der im § 34 StVZO verkehrsrechtlich festgelegten zulässigen Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewichte auf die Belastung/Beanspruchung der BAB über die Kopplung an das zuvor erwähnte Modell durchzuführen.

Der Modellansatz gliedert sich in die vier Ebenen Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Metaebene (siehe Bild 46).

Die Kontaktebene zwischen Reifen und Fahrbahn, im Weiteren mit Primärebene bezeichnet, ist ge-

kennzeichnet durch einen Strom verschieden hoher Achslasten, die in mehr oder weniger großen Zeitabständen stochastisch aufeinanderfolgen. Diese Ebene wird herangezogen, um messquerschnittsbezogene Achslastverteilungen bzw. eine mittlere Achslastverteilung für das BAB-Netz auf Basis der in situ gemessenen Achslasten bzw. der Auswirkungen von Szenarien auf der Sekundär- und Tertiärebene zu erstellen.

Auf der Sekundärebene sind die Achsen und die zugehörigen Achslasten mit der entsprechenden Fahrzeugart verknüpft. Auf dieser Ebene werden fahrzeugartbezogene Zusammenhänge abgeleitet, die notwendig sind, um die Wirkung von Szenarien wie z. B. Änderungen in der Zusammensetzung des Schwerverkehrs und/oder in der Festsetzung von Grenzwerten für Achslasten und Gesamtgewichte (§ 34 StVZO) oder auch Änderungen des Auslastungsgrades der Schwerverkehrsfahrzeuge auf die Achslastverteilungen (Primärebene) und/oder die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (Tertiärebene) und somit der Belastung/Beanspruchung (Metaebene) zu untersuchen.

Auf der Tertiärebene liegen die aus den Einzelfahrzeugdaten (Sekundärebene) abgeleiteten Zusammenhänge zwischen der täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der Lastmenge bzw. der äquivalenten 10-t-Achsübergänge vor. Durch Ein-

setzen der auf BAB an 603 Dauerzählstellen (Stand: 2006) erfassten Verkehrsmengen des Schwerverkehrs kann die schwerverkehrsinduzierte Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens netzweit ermittelt werden. Durch Kopplung mit angenommenen zeitlichen Veränderungsrate des Schwerverkehrs lassen sich auf der Metaebene des Modells die Auswirkungen von Prognosen der zeitlichen Entwicklung des Schwerverkehrs (Stichwort: 2010- bzw. 2050-Prognose) auf die zeitliche Entwicklung der Straßenbelastung/-beanspruchung netzweit abbilden und beschreiben. Über die zusätzliche Verknüpfung mit aus der ZEB abgeleiteten Verhaltensfunktionen lässt sich die Auswirkung dieser Prognosen auf die zeitliche Entwicklung des Straßenzustands ebenfalls beschreiben.

Auf der Metaebene schließlich steht als Ergebnis der auf der Sekundär- und/oder Tertiärebene durchgeführten Berechnungen mit In-situ-Daten bzw. durchgeführten Szenarien die schwerverkehrsinduzierte Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens des BAB-Netzes bzw. von Teilnetzen oder einzelner Querschnitte an. Diese wird dann straßenbautechnischen Analysen zugeführt. Weiterhin können für den Hauptfahrstreifen auch Lastkollektive für den Brückenbau erstellt werden, auch unter dem Einfluss von schwerverkehrsbaasierten „Was wäre wenn“-Szenarien.

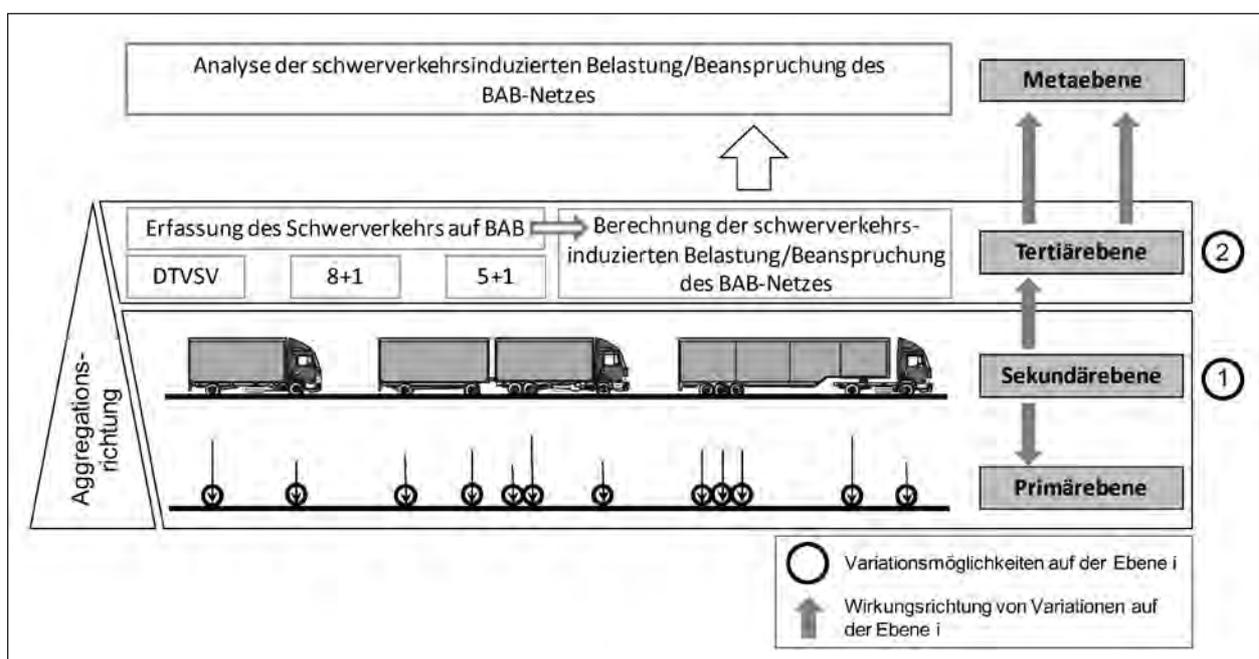


Bild 46: Schematische Darstellung des SVIB-BAB Modells zur Ermittlung der schwerverkehrsinduzierten Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens von BAB

5.2 Erfassung des Schwerverkehrs an Dauerzählstellen

Zunächst einige Ausführungen zur Erfassung des Schwerverkehrs im Bundesfernstraßennetz: Grundlage für aktuelle Aussagen über z. B. die Verkehrsentwicklung im Bundesfernstraßennetz bilden die Daten der Dauerzählstellen. Seit 1975 werden Verkehrsmengen auf ausgewählten Abschnitten der BAB und außerörtlichen Bundesstraßen durch automatische Dauerzählstellen erhoben. Das Zählstellennetz auf Bundesfernstraßen umfasst mit Stand 2006 insgesamt 1.332 Zählstellen, davon befinden sich 603 auf Bundesautobahnen und 729 auf außerörtlichen Bundesstraßen [FI05].

Die Beschreibung der erfassten Fahrzeugarten richtet sich nach der Grundklassifizierung gemäß TLS [TLS02]. Danach werden die erfassten Fahrzeuge unter den in Tabelle 5 aufgeführten Fahrzeugklassifizierungsgruppen subsummiert. Die Gruppe DTVSV, die die Gesamtheit des Schwerverkehrs umfasst, ist zusätzlich der Tabelle angehängen. Die für das Modell relevanten Fahrzeugklassifizierungsgruppen sind grau hinterlegt.

Erwähnt sei hier noch, dass an den meisten Dauerzählstellen der erfasste Verkehr im 8+1-Modus klassifiziert wird [FI05].

5.3 Tertiärebene des Modells SVIB-BAB

Die in den Kapiteln 4.6 und 4.8 aufgezeigten Zusammenhänge zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der durchschnittlichen täglichen aus ihm resultierenden Lastmenge bzw. der äquivalenten 10-t-Achsübergänge wurden zunächst nur für die Fahrzeuggruppe DTVSV, also der alle relevanten Fahrzeugarten des Schwerverkehrs (siehe Bild 19) umfassenden Fahrzeuggruppe, abgeleitet (siehe Bild 26 und Bild 34). Um auch im BAB-Netz an 597 Dauerzählstellen erfasste Verkehrsmengen des Schwerverkehrs im 5+1- und 8+1-Modus nutzen zu können, ist auch für diese beiden Klassifizierungsgruppen ein entsprechender Formalismus abzuleiten. Dafür ist es zunächst notwendig, die Grundgesamtheit der relevanten Fahrzeugarten im DTVSV gemäß der fahrzeugartspezifischen Klassifizierung nach Tabelle 5 in diese beiden Klassifizierungsgruppen zu splitten (siehe Bild 47).

Hinter den so gebildeten Fahrzeuggruppen des DTVSV innerhalb der beiden Klassifizierungsgruppen 5+1 und 8+1 stehen die aus den erfassten Einzelfahrzeugdaten berechneten durchschnittlichen täglichen Fahrzeuganzahlen, Lastmengen und äquivalenten 10-t-Achsübergänge (Anhang 5). Für die formale Beschreibung der entsprechenden Zusammenhänge wird auch hier ein potenzieller Ansatz der Form $y = ax^b$ für die entsprechenden Regressionen gewählt.

Klassifizierungsgruppen gemäß TLS					
1	2	5+1	8+1	Beschreibung	DTVSV
Kfz	Pkw-ähnlich	nk Kfz	nk Kfz	nicht klassifizierbare Fahrzeuge	
		Pkw-Gruppe	Krad	Motorräder	
			Pkw	Pkw	
			Lfw	Lieferwagen, zul. GG max. 3,5 t	
	Lkw-ähnlich	PkwA	PkwA	Pkw und Lfw mit Anhänger	
		Lkw	Lkw	Lkw, zul. GG > 3,5 t	
		LkwA	LkwA	Lkw, zul. GG > 3,5 t, mit Anhänger	
		Sattel-Kfz	Sattel-Kfz	Sattelfahrzeuge	
		Bus	Bus	Busse, mit mehr als 9 Sitzplätzen	

Tab. 5: Fahrzeugarterfassung an den Dauerzählstellen auf BAB [FI05]; die Gruppe DTVSV ist vom Verfasser zusätzlich an die Tabelle angehängen

DTVSV	5+1 Erfassung	8+1 Erfassung	Fahrzeugart	
			Kennziffer	Beschreibung
alle SV Fz-Arten	LKW	LKW	8	(E,E)
			9	(E,Dp)
			12	(Dp,Dp)
	LKW+A	LKW mit Anhänger	32	(E,E + E)
			33	(E,E + E,E)
			34	(E,E + Dp)
			35	(E,E + E,Dp)
			41	(E,Dp + E,E)
			42	(E,Dp + Dp)
	LKW+A Sattelfahrzeuge	Sattelfahrzeuge	96	(E,E + E)
			97	(E,E + Dp)
			98	(E,E + Dr)
			99	(E,E + E,E)
			105	(E,Dp + Dp)
	Busse	Busse	120	(E,E)
			121	(E,Dp)

EA: Einzelachse Dp: Doppelachse Dr: Dreifachachse

Bild 47: Gruppierung der relevanten Fahrzeugarten des Schwerverkehrs auf BAB in die Fahrzeuggruppen DTVSV, 8+1 und 5+1

Die Ergebnisse der Regressionen für die einzelnen Fahrzeuggruppen innerhalb der Klassifizierungsgruppen 8+1, 5+1 und DTVSV (siehe Bild 26 und

Bild 34) sind für die Abhängigkeit der durchschnittlichen täglichen Lastmenge von der mittleren täglichen Verkehrsstärke des Schwerververkehrs in Bild 48

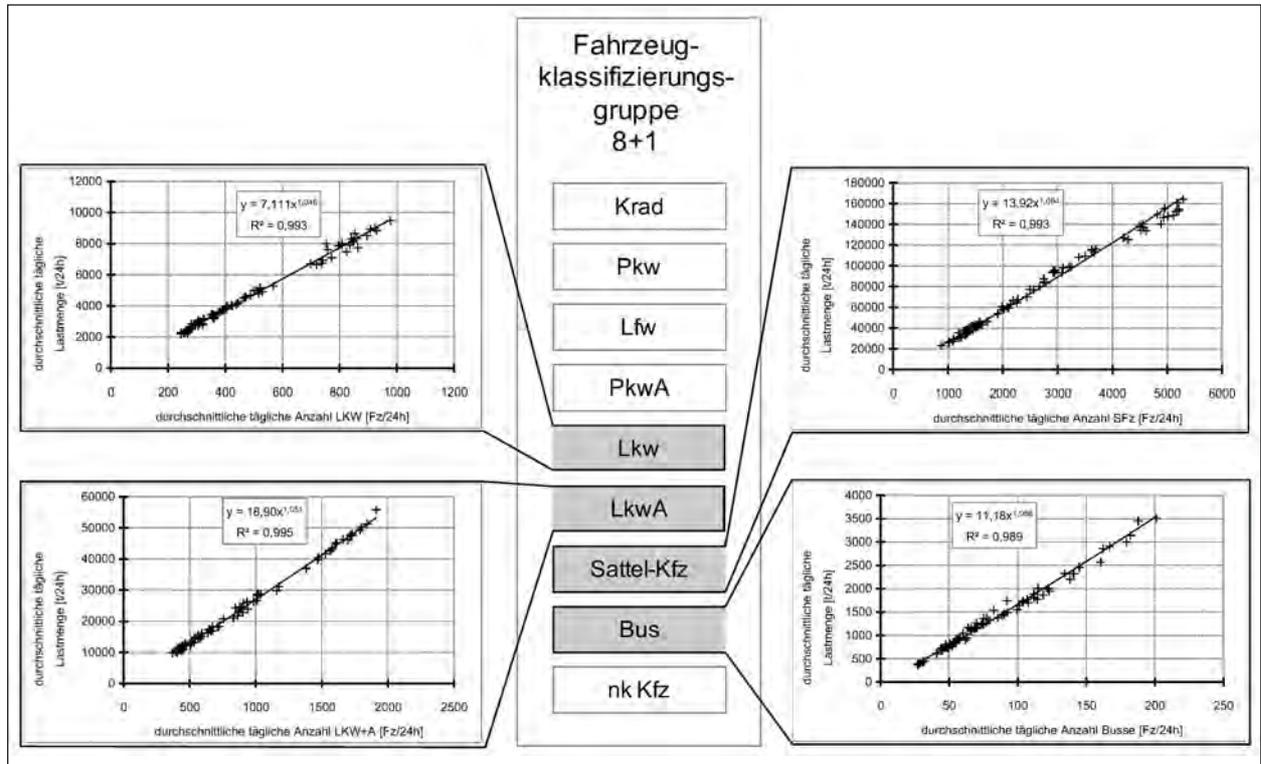


Bild 48: Abhängigkeiten der durchschnittlichen täglichen Lastmenge von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke der Fahrzeuguntergruppen des DTVSV innerhalb der 8+1 Klassifizierungsgruppe; gelten nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

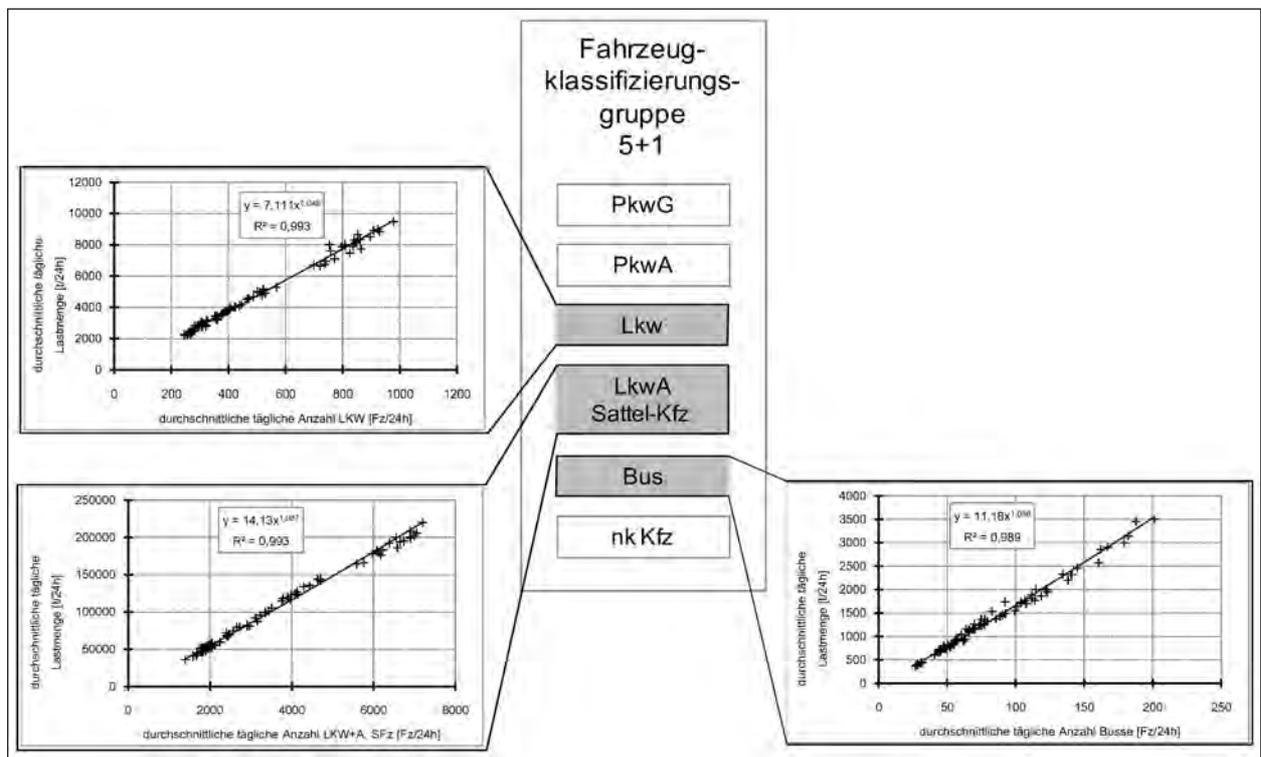


Bild 49: Abhängigkeiten der durchschnittlichen täglichen Lastmenge von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke der Fahrzeuguntergruppen des DTVSV innerhalb der 5+1 Klassifizierungsgruppe; gelten nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

bis Bild 50 visualisiert. Die entsprechenden Abhängigkeiten der durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge zeigen die Bilder 51 bis Bild 53.

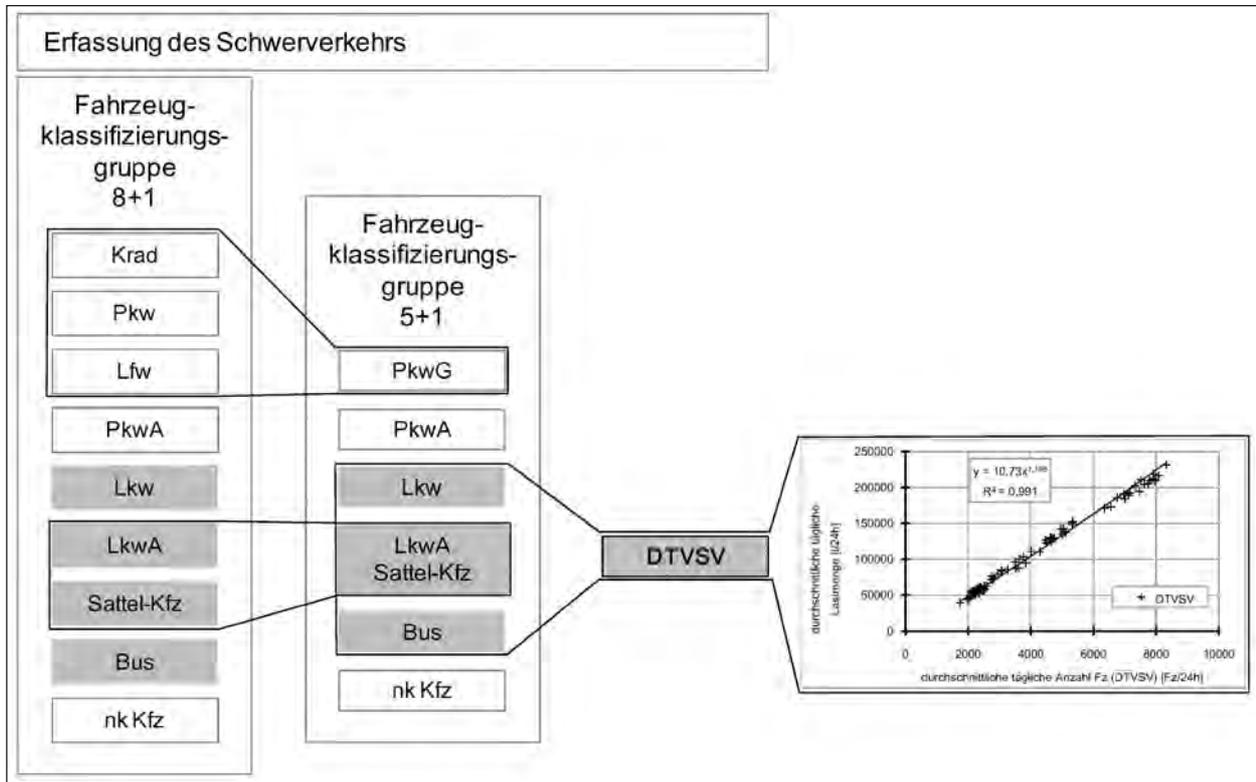


Bild 50: Abhängigkeit der durchschnittlichen täglichen Lastmenge vom DTFSV (siehe Bild 4.18); gilt nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

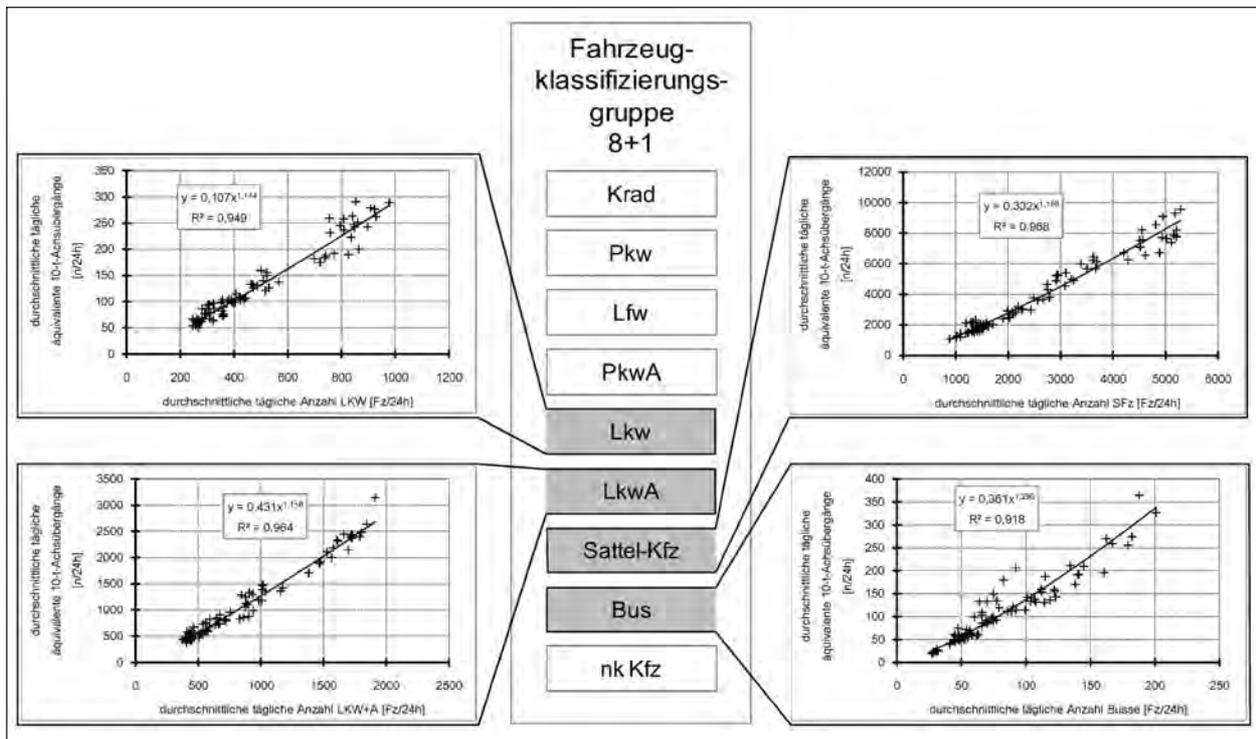


Bild 51: Abhängigkeiten der durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke der Fahrzeuguntergruppen des DTFSV innerhalb der 8+1 Klassifizierungsgruppe; gelten nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

In allen Fällen sind sehr enge Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Größen gegeben, die sich in Bestimmtheitsmaßen von $R^2 = 0,99$ hinsichtlich der Zielgröße durchschnittliche tägliche Lastmenge

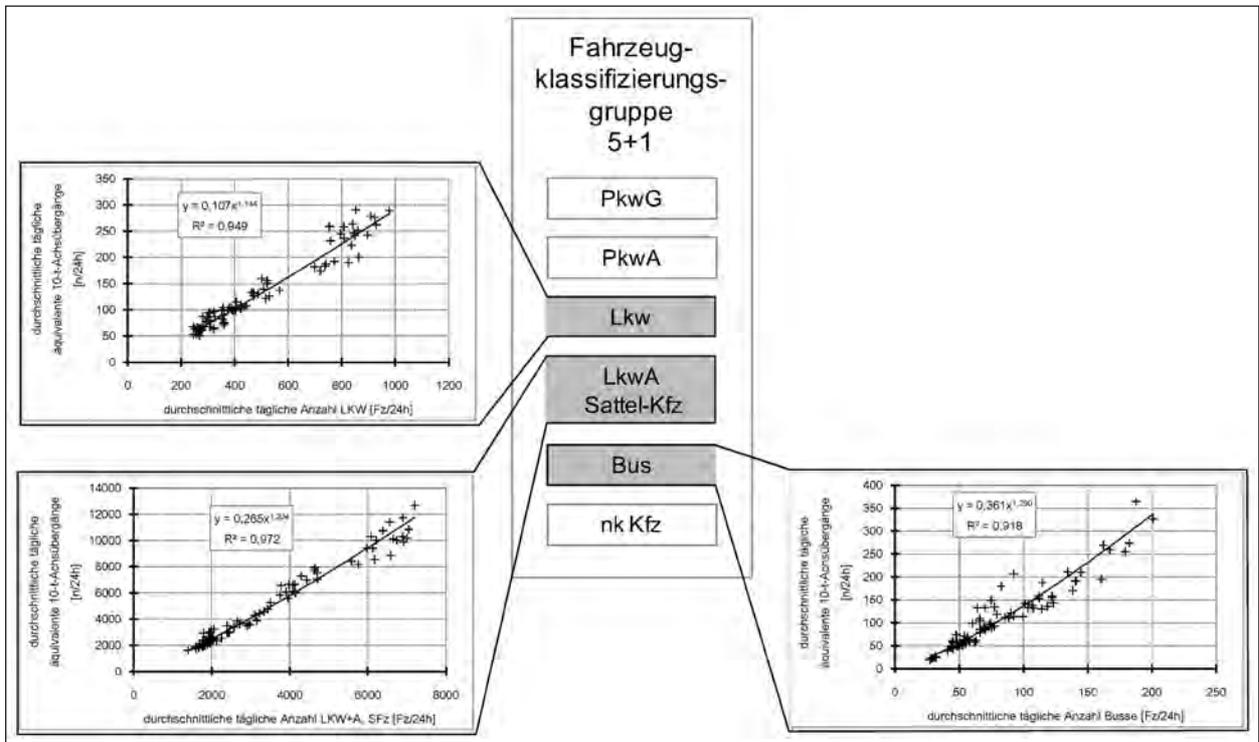


Bild 52: Abhängigkeiten der durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsenübergänge von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke der Fahrzeuguntergruppen des DTVSV innerhalb der 5+1 Klassifizierungsgruppe; gelten nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

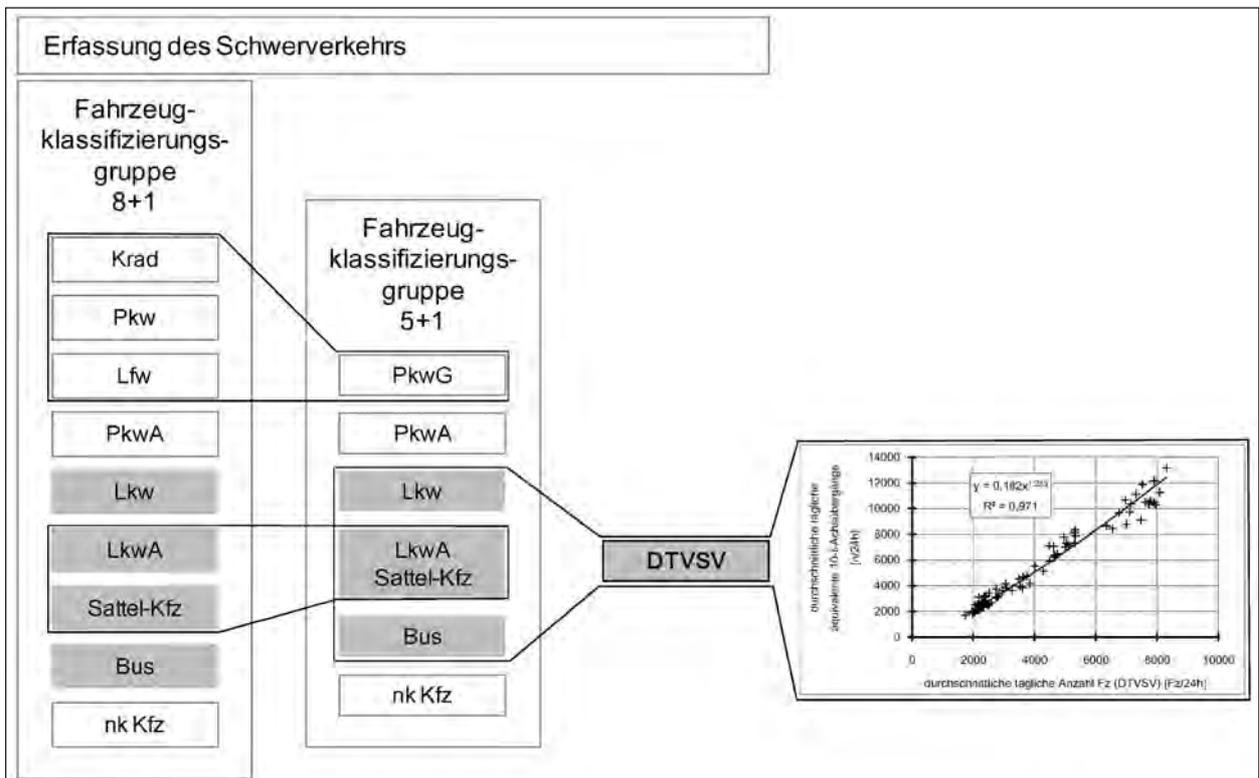


Bild 53: Abhängigkeit der durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsenübergänge vom DTVSV (s. Bild 4.26); gilt nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

bzw. von überwiegend $R^2 = 0,97$ hinsichtlich der Zielgröße durchschnittliche tägliche äquivalente 10-t-Achsübergänge ausdrücken.

Für die Berechnung der hauptfahrstreifenbezogenen durchschnittlichen täglichen Lastmenge bzw. äquivalenten 10-t-Achsübergänge sind dann die einzelnen Formalismen in den jeweiligen Fahrzeugklassifizierungsgruppen als Terme aufzufassen und additiv miteinander zu verknüpfen (siehe Bild 54).

Der in Bild 54 dargestellte Formalismus gestattet es, die schwerverkehrsinduzierte Belastung/Beanspruchung des BAB-Netzes oder von Teilen von ihm zu berechnen, was beispielhaft anhand von Bild 55 für die Beanspruchung, ausgedrückt in äquivalenten 10-t-Achsübergängen, erläutert werden soll.

In einem Messquerschnitt MQ_i wurde zum Zeitpunkt t der Schwerverkehr in der Klassifizierungsgruppe 8+1 erfasst; bei den Verkehrsmengen kann es sich um Monats- oder Jahresmittelwerte handeln. Für eine 8+1 Erfassung werden mittels Gleichung (20) die durchschnittlichen täglichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge zum Zeitpunkt t für diesen Messquerschnitt berechnet. Diese müssen dann mit einem, die gewählte Zeiteinheit berücksichtigenden Faktor (f_t) multipliziert werden – beispielsweise 365 für die Zeiteinheit Jahre – und es werden die durchschnittlichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge für eben diese gewählte Zeiteinheit erhalten ($\dot{a}q10t.MQ_{i,t}$). Liegt bis zum Zeitpunkt t die entsprechende Zeitreihe der kumulativen Summe der durchschnittlichen äquivalenten 10-t-Achsübergänge seit der Verkehrsübergabe vor (kumSum. $\dot{a}q10t.MQ_{i,t-1}$), so ist der berechnete Wert hinzuzuzaddieren. Es wird so die von der Verkehrsübergabe bis zum Zeitpunkt t von der Befestigung ertragene schwerverkehrsinduzierte Beanspruchung, ausgedrückt in äquivalenten 10-t-Achsübergängen, erhalten (kumSum. $\dot{a}q10t.MQ_{i,t}$). Bei Vorlage von im 5+1- oder DTV(SV)-Modus erfassten Verkehrsmengen des Schwerverkehrs ist unter Ansatz der entsprechenden Formalismen ebenso zu verfahren.

Ein Vergleich mit der für die Dimensionierung angesetzten kumulativen Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge bis zum Zeitpunkt t (kumSum. $\dot{a}q10t.Dim$) gibt Auskunft über den Dimensionierungsstatus des Messquerschnitts MQ_i zum Zeitpunkt t . Hierzu wird der Quotient aus beiden kumulativen Summen gebildet ($q.\dot{a}q10t.MQ_{i,t}$). Quotienten $> 1,0$ zeigen eine nicht, Quotienten $\leq 1,0$ eine dimensionierungskonforme Beanspruchungs-

Fahrzeugklassifizierungsgruppe	Formalismus (gilt nur für den Hauptfahrstreifen von BAB)	
Durchschnittliche tägliche Lastmenge [t/24h]		
8+1	$LMT.81 = 7,111 \cdot nLKW^{8+1} + 18,9 \cdot nLKW^{10+1} + 13,92 \cdot nSFz^{10+1} + 11,18 \cdot nBus^{10+1}$	(17)
5+1	$LMT.51 = 7,111 \cdot nLKW^{5+1} + 14,13 \cdot nLKWASFz^{5+1} + 11,18 \cdot nBus^{5+1}$	(18)
DTV/SV	$LMT.DTVSV = 10,73 \cdot DTVSV^{10+1}$	(19)
Durchschnittliche tägliche äquivalente 10-t-Achsübergänge [n/24h]		
8+1	$\dot{a}q10t.81 = 0,107 \cdot nLKW^{10+1} + 0,431 \cdot nLKW^{10+1} + 0,332 \cdot nSFz^{10+1} + 0,361 \cdot nBus^{10+1}$	(20)
5+1	$\dot{a}q10t.51 = 0,107 \cdot nLKW^{10+1} + 0,285 \cdot nLKWASFz^{10+1} + 0,361 \cdot nBus^{10+1}$	(21)
DTV/SV	$\dot{a}q10t.DTVSV = 0,182 \cdot DTVSV^{10+1}$	(22)
LMT.81	durchschnittliche Lastmenge pro Tag auf Basis einer 8+1 Verkehrserfassung [t/24h]	
LMT.51	durchschnittliche Lastmenge pro Tag auf Basis einer 5+1 Verkehrserfassung [t/24h]	
LMT.DTVSV	durchschnittliche Lastmenge pro Tag auf Basis der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs [t/24h]	
$\dot{a}q10t.81$	durchschnittliche äquivalente 10-t-Achsübergänge pro Tag auf Basis einer 8+1 Verkehrserfassung [n/24h]	
$\dot{a}q10t.51$	durchschnittliche äquivalente 10-t-Achsübergänge pro Tag auf Basis einer 5+1 Verkehrserfassung [n/24h]	
$\dot{a}q10t.DTVSV$	durchschnittliche äquivalente 10-t-Achsübergänge pro Tag auf Basis der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs [n/24h]	
nLKW	durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in der Gruppe LKW	
nLKWA	durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in der Gruppe LKW + Anhänger	
nSFz	durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in der Gruppe Sattelkraftfahrzeuge	
nBus	durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in der Gruppe Busse	
nLKWASFz	durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in der Gruppe LKW + Anhänger und Sattelkraftfahrzeuge	
DTVSV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs [Fz/24h]	

Bild 54: Formalismus zur Berechnung der durchschnittlichen täglichen Lastmenge bzw. äquivalenten 10-t-Achsübergänge in Abhängigkeit von der Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs in den einzelnen Teilgruppen der Fahrzeugklassifizierungsgruppen; gilt nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

entwicklung an. Eine Normierung der Zeitachse auf den Nutzungszeitraum der Befestigung ($q.t.MQ_{i,t}$) macht verschiedene Messquerschnitte auch hinsichtlich der relativen Nutzungsdauer bis zum Zeitpunkt t miteinander vergleichbar.

Die Messquerschnitte mit automatischen Dauerzählstellen können als Stützstellen des BAB-Netzes hinsichtlich seiner schwerverkehrsinduzierten Beanspruchung aufgefasst werden. Die Einbeziehung einer Teilmenge oder aller 603 Messquerschnitte (Stand: 2006) in die zuvor beschriebene Vorgehensweise mit anschließender Visualisierung der Wertepaare ($q.\dot{a}q10t.MQ_{i,t}$; $q.t.MQ_{i,t}$) in einer das BAB-Netz umfassenden Karte, wobei der Quotient $q.\dot{a}q10t.MQ_{i,t}$ als maßstabsgerechter Balken dargestellt werden kann (Werte $> 1,0$ in schwarz, Werte $\leq 1,0$ gepunktet) – beispielhafte Darstellung in Bild 55 –, erlaubt eine Aussage über den Dimensionierungszustand eines Teilnetzes, verschiedener Teilnetze oder des Gesamtnetzes. Für die Analyse der Lastmenge ist ebenso zu verfahren.

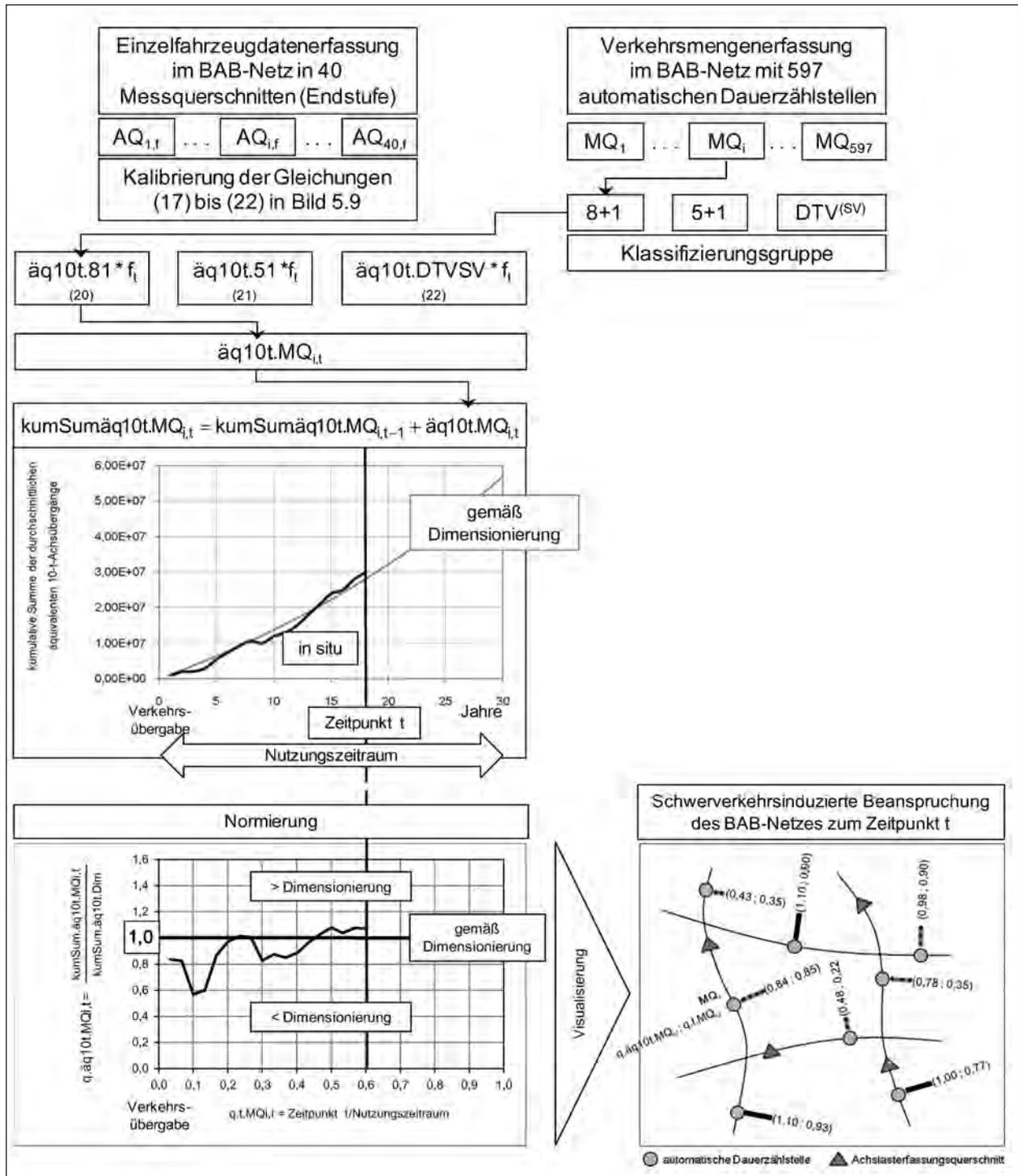


Bild 55: Schematisches Beispiel für die Ermittlung der schwerverkehrsinduzierten Beanspruchung des BAB-Netzes oder von Teilen von ihm; gilt nur für den Hauptfahrstreifen von BAB

5.4 Sekundärebene des Modells SVIB-BAB

Mit den aus in situ erfassten Einzelfahrzeugdaten abgeleiteten Zusammenhängen zwischen dem DTVSV und der aus ihm hervorgehenden Lastmenge oder äquivalenten 10-t-Achsübergängen kann

eine Aussage über die Belastung/Beanspruchung des BAB-Netzes getroffen werden (siehe Kapitel 5.3). Wirkungsanalysen von „Was wäre wenn?“-Szenarien sind mit diesem Werkzeug nur hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung des Schwerverkehrs möglich. Aussagen hinsichtlich der Wirkung z. B. einer Veränderung in der Zusammensetzung des

DTV^(SV) und/oder des Auslastungsgrades des Schwerverkehrs und/oder der nach § 34 StVZO verkehrsrechtlich festgelegten zulässigen Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewichte auf die Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens des BAB-Netzes können dagegen zunächst nicht getroffen werden. Hierzu sind auf der fahrzeugspezifischen Ebene, der Sekundärebene des SVIB-BAB Modells (siehe Bild 46), Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Fahrzeug-Gesamtgewicht, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten notwendig, damit auf die Achslasten bzw. die äquivalenten 10-t-Achsübergänge eines jeden Fahrzeugs des Schwerverkehrs und somit des Schwerverkehrskollektivs geschlossen werden kann. Notwendige Eingangsgrößen sind darüber hinaus die Relativanteile der einzelnen relevanten Fahrzeugarten am Schwerverkehr und die Gesamtgewichtsverteilungen mit den Relativanteilen in den einzelnen Gesamtgewichtsklassen. Letztere liegen bereits vor (siehe Bild 19 und Anhang 7).

Die engen Zusammenhänge zwischen Fahrzeuganzahl, gesplittet in die Klassifizierungsgruppen DTVSV, 5+1 sowie 8+1, und Lastmenge bzw. äquivalenten 10-t-Achsübergängen (siehe Bilder 48 bis 53) implizieren, dass sich auf der fahrzeugspezifischen Ebene für alle 18 relevanten Fahrzeugarten (siehe Bild 19) ebenfalls relativ enge Zusammenhänge zwischen Fahrzeug-Gesamtgewicht, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten abbilden. Über die Ableitung der entsprechenden Zusammenhänge wird im Kapitel 5.4.1 berichtet.

5.4.1 Fahrzeugartbezogene Zusammenhänge zwischen Fahrzeug-Gesamtgewicht, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten

Um für die 18 relevanten Fahrzeugarten die Zusammenhänge zwischen Fahrzeug-Gesamtgewicht, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten untersuchen zu können, erfolgte zunächst die Selektion der Datensätze der einzelnen Fahrzeugarten aus den messquerschnittsbezogenen SPSS-Dateien, die dann in fahrzeugartbezogene SPSS-Dateien überführt wurden.

Für jeden Messquerschnitt erfolgte dann die Untersuchung hinsichtlich der zuvor aufgeführten spezifischen Zusammenhänge. Für alle 18 relevanten Fahrzeugarten zeigen sich unabhängig vom Messquerschnitt und der durchschnittlichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs recht ähnliche Zusammenhänge. Sie wurden daher zu messquer-

schnittsunabhängigen fahrzeugartspezifischen Zusammenhängen zusammengefasst. Beispielhaft ist das für die Fahrzeugart 41 in den Bildern 56 bis 58 dargestellt.

Bei einigen Fahrzeugarten zeigen sich in den Zusammenhängen spezifische Besonderheiten. Wie aus Bild 57 ersichtlich ist, gilt das auch für die hier beispielhaft dargestellten Zusammenhänge für die Fahrzeugart 41. Zwischen der Doppelachslast und den Achslasten der sie umfassenden beiden Achsen (Achslast 2 und Achslast 3) besteht kein eindeutiger Zusammenhang. Vielmehr stellen sich vier Bereiche mit einer deutlich unterschiedlichen Anzahl von Wertepaaren dar, wobei sich in drei Bereichen wiederum straffe Zusammenhänge zwischen den Achslasten zeigen. Der oberste Bereich bei der ersten Achse (Achslast 2) und der unterste Bereich bei der zweiten Achse der Doppelachse (Achslast 3) zeigen dagegen einen atypischen Verlauf der Punktwolke.

In diesen beiden Diagrammen zeigt sich die unterschiedliche Bauweise von Doppelachsen an Kraftfahrzeugen, die zu unterschiedlichen Achslasten und somit zu einem unterschiedlichen Lastabtrag in die Straßenbefestigungen führt.

Doppelachsen werden unterschieden in Doppelachsen mit Vor- bzw. Nachläufer (siehe Bild 59), die jeweils nur eine doppelbereifte Antriebsachse aufweisen. Der Vor- bzw. Nachläufer ist dagegen einzelbereift. Bei diesen Ausführungen weist die jeweilige Antriebsachse die größte Achslast auf. Bei Doppelachsen mit zwei Antriebsachsen dagegen, die beide doppelbereift sind, verteilt sich die Doppelachslast gleichmäßig auf beide Achsen.

Bei regelbaren Doppelachsen wird die Achslast des Nachläufers mit zunehmender Nutzlast zunächst mit etwa 1.000 kg konstant gehalten und die Antriebsachse entsprechend belastet. Erreicht die Antriebsachse die nach § 34 StVZO vorgeschriebene maximale Einzelachslast für angetriebene Achsen von 11,5 t, so wird diese bei weiter zunehmender Nutzlast nicht weiter belastet, sondern der Nachläufer entsprechend mehr belastet. Das führt in den Diagrammen, in denen die Achslasten der beiden Achsen der Doppelachse in Abhängigkeit von der Doppelachslast aufgetragen sind, zu einem Bereich, in dem die Wertepaarewolke keine straffe Abhängigkeit erkennen lässt, sondern einen deutlich abknickenden Verlauf aufweist.

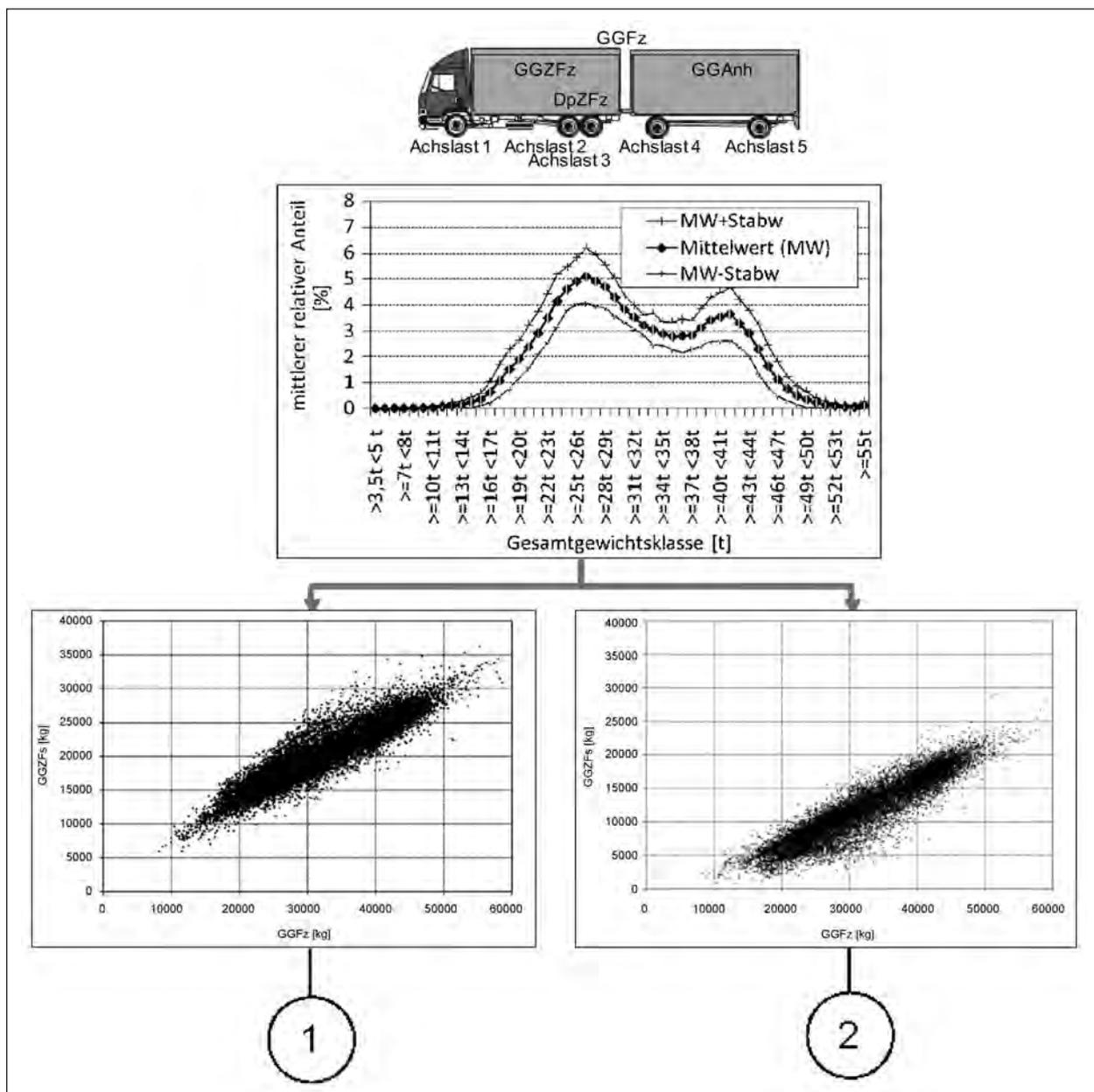


Bild 56: Zusammenhänge zwischen dem Fahrzeug-Gesamtgewicht (GGFz) und den Fahrzeug-Teilgewichten (Zugfahrzeug (GGZFz), Anhänger (GGAnh)) für die Fahrzeugart 41

Die Ausprägungen der Doppelachsen an den betreffenden Zugfahrzeugen der Fahrzeugarten 9, 41 und 42 (Lkw, Lkw mit Anhänger) sowie 105, 106 und 107 (Sattelkraftfahrzeuge) sind deutlich verschieden (siehe Bild 60).

Während Lkw und Lkw mit Anhänger zum überwiegenden Teil Doppelachsen mit einem Nachläufer aufweisen, sind Sattelzugmaschinen zumeist mit Doppelachsen ausgerüstet, die zwei Antriebsachsen (50/50) aufweisen. Die Fahrzeugart 9 ist gegenüber den anderen beiden Fahrzeugkombinationen mit ca. 30 % zu einem nicht unerheblichen Anteil ebenfalls mit Doppelachsen ausgerüstet, die

zwei Antriebsachsen aufweisen. Ausschließlich zwei Antriebsachsen weist die hier nicht aufgenommene Fahrzeugart 12 auf. Beide Fahrzeugarten finden insbesondere im Baustofftransport Verwendung. Busse mit hinterer Doppelachse, ebenfalls nicht mit in die Darstellung aufgenommen, weisen zu 98,7 % Doppelachsen mit Nachläufer auf. Nur 1,3 % sind mit zwei Antriebsachsen ausgerüstet.

Vorläufer und geregelte Doppelachsen finden sich nur zu einem untergeordneten Anteil an den Fahrzeugarten Lkw und Lkw mit Anhänger. Bei Lkw mit Anhängern liegt der Anteil der mit Nachläufern ausgestatteten Doppelachsen um die 90 %. Bei der

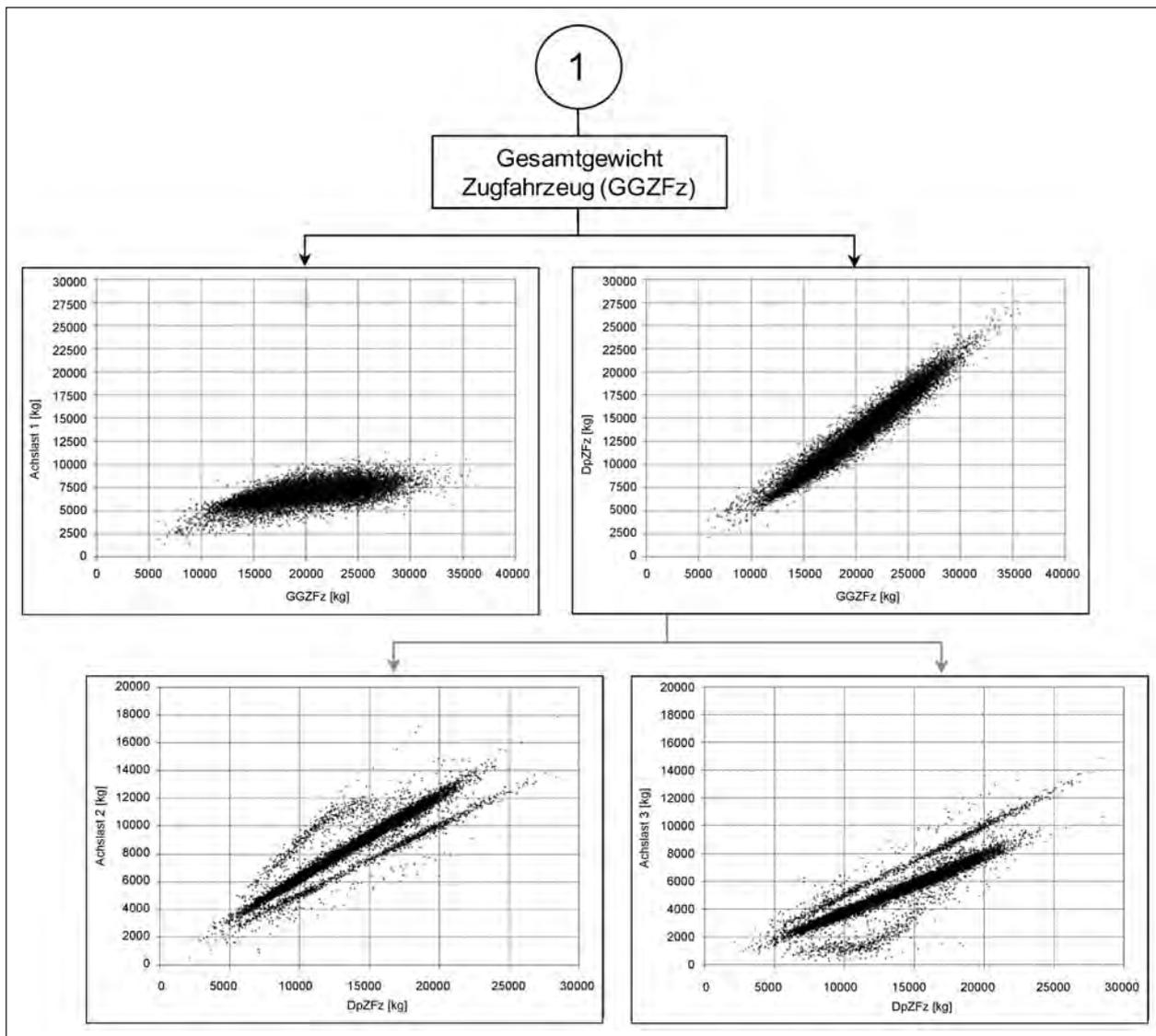


Bild 57: Zusammenhänge zwischen dem Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs (GGZFz) und der Achslast 1 sowie der Doppelachslast am Zugfahrzeug (DpZFz) und zwischen der Doppelachslast und der sie umfassenden Achslasten 2 und 3 für die Fahrzeugart 41

Fahrzeugart 9 dagegen aufgrund des hohen Anteils von Fahrzeugen mit zwei Antriebsachsen nur bei etwa 65 %. Alle anderen Ausprägungen der Doppelachsen liegen bei diesen Fahrzeugarten deutlich unter 10 %.

An Sattelzugmaschinen finden sich Doppelachsen mit Vor- und Nachläufern zu einem Anteil zwischen 10 und 20 %. Eine Ausnahme bildet das Sattelkraftfahrzeug mit der Kennziffer 106. Diese Fahrzeugart ist mit knapp 48 % mit Doppelachsen ausgestattet, die einen Vorläufer aufweisen. Geregelt Achsen an Doppelachsen finden sich bei Sattelzugmaschinen nur selten.

Doppelachsen an Anhängern und Sattelanhängern weisen demgegenüber ausschließlich eine 50/50-

Verteilung der Doppelachslast auf die beiden Achsen auf.

Um nun auch bei mit Doppelachsen ausgestatteten Kraftfahrzeugen zu eindeutigen Zusammenhängen zwischen der Doppelachslast und den Achslasten der sie umfassenden Achsen kommen zu können, werden entsprechende Teilmengen der betreffenden Fahrzeugarten gebildet. Notwendig ist das für die Fahrzeuggruppen Lkw mit der Fahrzeugart 9, Lkw+Anhänger mit den Fahrzeugarten 41 und 42 und Sattelkraftfahrzeuge mit den Fahrzeugarten 105, 106 und 107 (s. Bild 19). Die Fahrzeugarten 12 (Fahrzeuggruppe Lkw) und 121 (Fahrzeuggruppe Bus), die ebenfalls hintere Doppelachsen am Kraftfahrzeug aufweisen, werden hierbei nicht berücksichtigt, da sich entweder die Doppelachs-

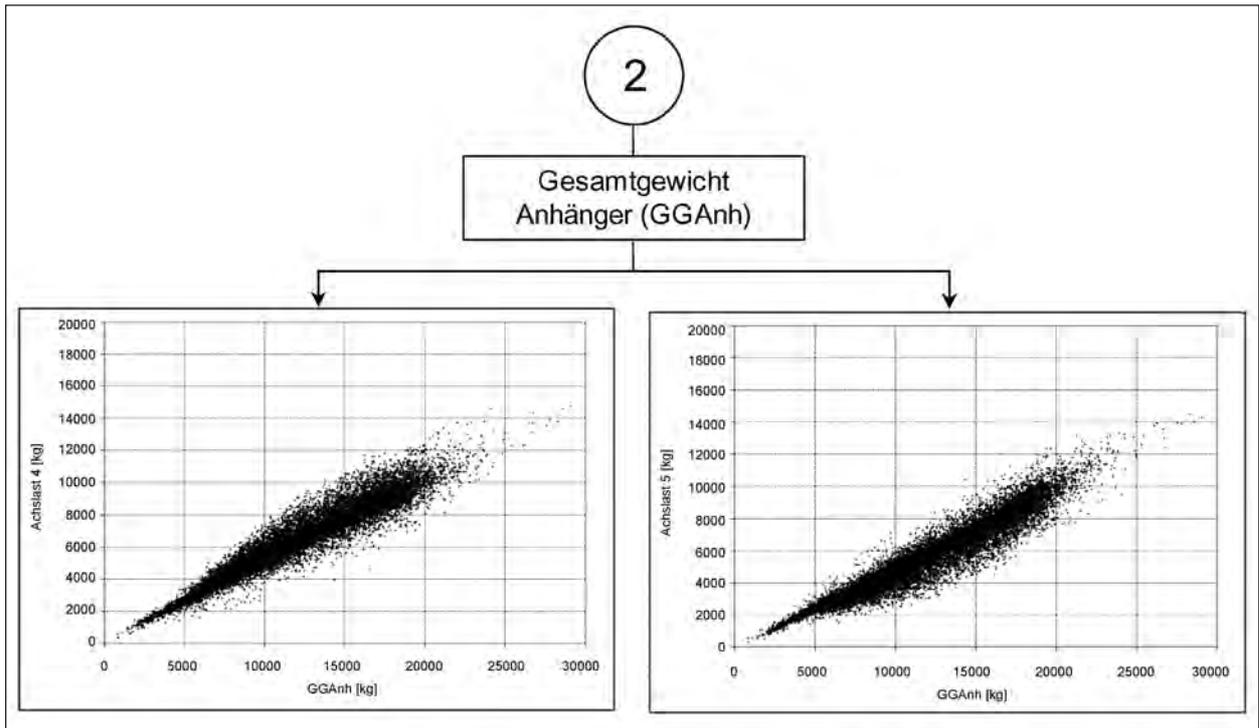


Bild 58: Zusammenhänge zwischen dem Gesamtgewicht des Anhängers (GGAnh) und seiner Achslasten 4 und 5 für die Fahrzeugart 41

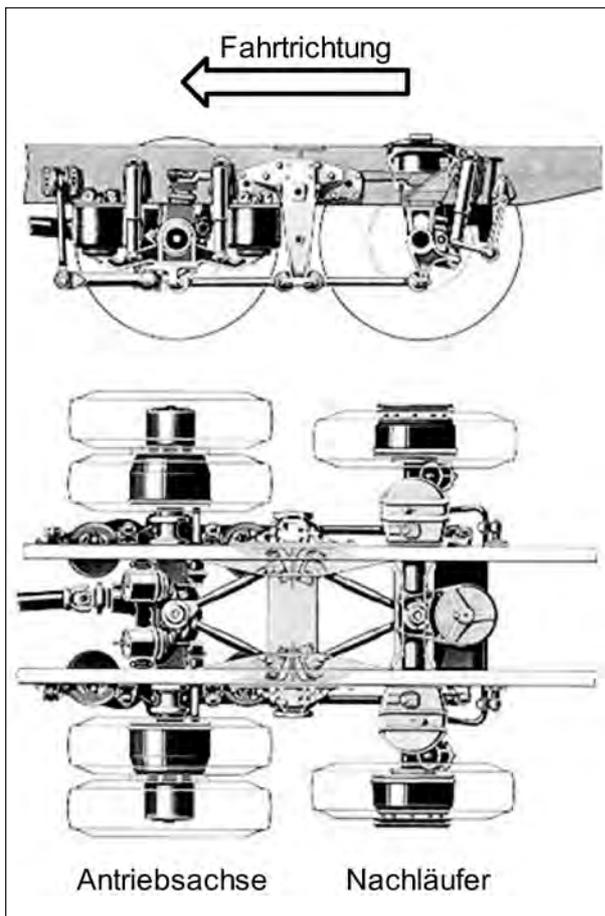


Bild 59: Beispielhafte Darstellung einer Doppelachse mit Nachläufer an einem Kraftfahrzeug

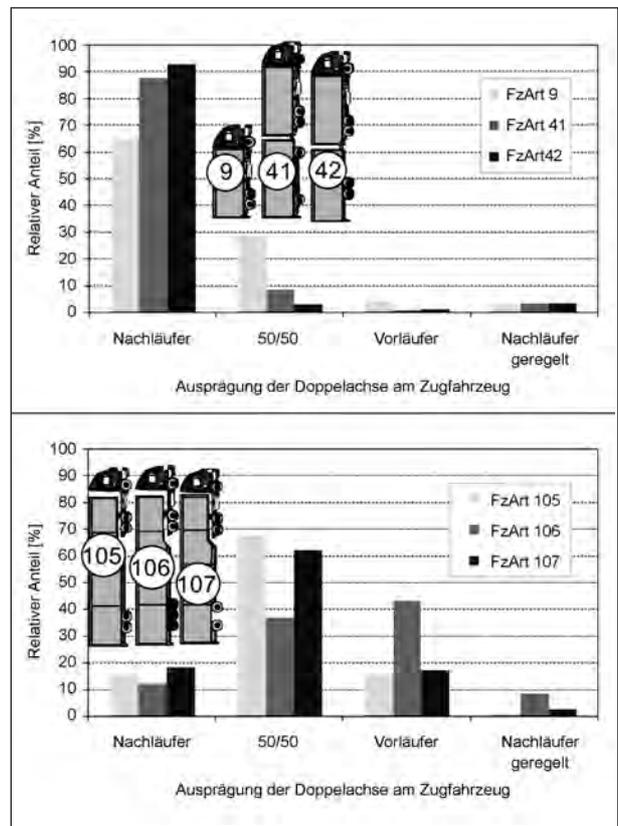


Bild 60: Ausprägung der Doppelachsen an Zugfahrzeugen verschiedener Fahrzeugarten des Schwerververkehrs

last zu 50/50 auf beide Achsen aufteilt (Fahrzeugart 12) oder zum überwiegenden Teil nur Doppelachsen mit Nachläufern vorhanden sind (Fahrzeugart 121).

Die Daten zeigen, dass für die Fahrzeugarten 9, 41 und 42 sowie 105, 106 und 107 jeweils dieselben Abgrenzungsfunktionen zwischen den einzelnen Bereichen gelten (siehe Bild 61 und Bild 62). Deren Lagebestimmung erfolgte visuell.

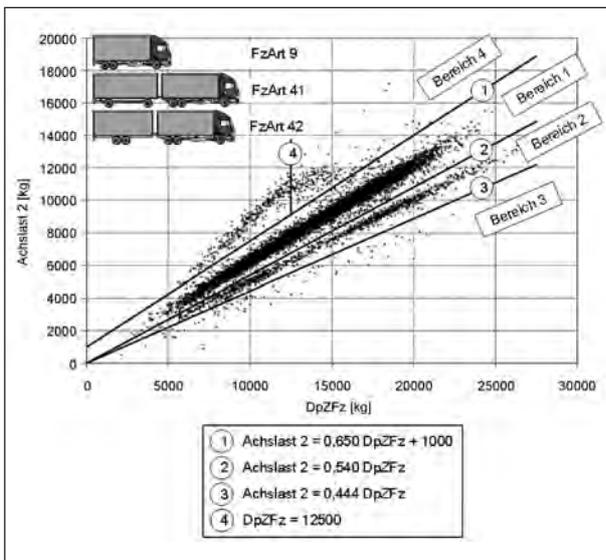


Bild 61: Abgrenzungsfunktionen zwischen den einzelnen Bereichen des Zusammenhangs zwischen der Doppelachslast (DpZFz) und der Achslast der ersten Achse der Doppelachse am Zugfahrzeug (Achslast 2) für die Fahrzeugarten 9, 41 und 42

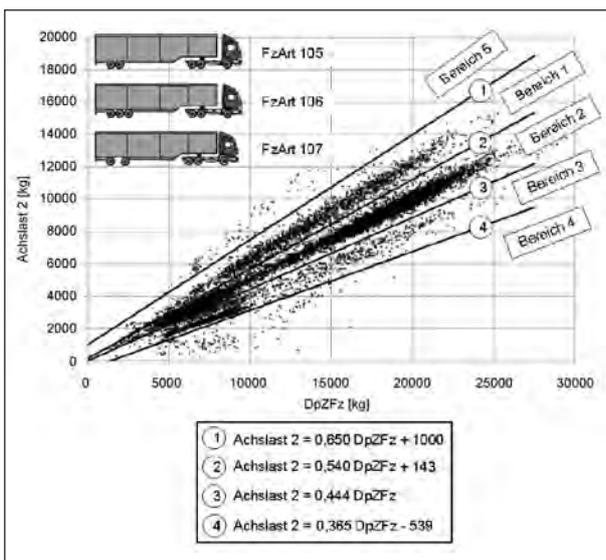


Bild 62: Abgrenzungsfunktionen zwischen den einzelnen Bereichen des Zusammenhangs zwischen der Doppelachslast (DpZFz) und der Achslast der ersten Achse der Doppelachse am Zugfahrzeug (Achslast 2) für die Fahrzeugarten 105, 106 und 107

Für die Fahrzeugarten 9, 41 und 42 werden insgesamt vier Teilbereiche gebildet, wobei der Teilbereich vier in zwei Subbereiche aufgeteilt wird (siehe Bild 61). Die entsprechenden Grenzfunktionen der Bereiche sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Für die Fahrzeugarten 105, 106 und 107 werden aufgrund der nur geringen absoluten Anzahlen der Fahrzeuge in den Bereichen 4 und 5 (siehe Bild 62) nur drei Teilbereiche gebildet. Die Fahrzeuge der Bereiche 4 und 5 werden den benachbarten Bereichen 1 und 3 zugeordnet. Die Grenzfunktionen der Bereiche finden sich in Tabelle 7.

Für alle betreffenden Fahrzeugarten (32, 34, 35, 96, 97 sowie die in Bild 61 und Bild 62 dargestellten Fahrzeugarten 9, 41 und 42 sowie 105 bis 107) sind die Grenzfunktionen zur entsprechenden Bereichsbildung im Anhang 8 zusammengestellt. Die Aufteilung der Gesamtmenge der Fahrzeuge der betreffenden Fahrzeugarten in Fahrzeugteilmengen bedingt, dass für jede Teilmenge die entsprechende Häufigkeitsverteilung der Gesamtgewichte der Fahrzeugkombinationen erstellt werden muss, da sie Eingangsgröße in das Modell ist. Für alle anderen Fahrzeugarten, die nicht in Teilmengen un-

Bereich	Grenzfunktionen der Bereiche
1	Achslast.2 ≤ 0,65 DpZFz + 1.000 und Achslast.2 > 0,54 DpZFz
2	Achslast.2 ≤ 0,54 DpZFz und Achslast.2 > 0,444 DpZFz
3	Achslast.2 ≤ 0,444 DpZFz
41	Achslast.2 > 0,65 DpZFz + 1.000 und DpZFz ≤ 12.500
42	Achslast.2 > 0,65 DpZFz + 1.000 und DpZFz > 12.500

Tab. 6: Grenzfunktionen der Bereiche des Zusammenhangs zwischen der Doppelachslast (DpZFz) und der Achslast der ersten Achse der Doppelachse am Zugfahrzeug (Achslast 2) für die Fahrzeugarten 9, 41 und 42

Bereich	Grenzfunktionen der Bereiche
1	Achslast.2 ≤ 0,65 DpZFz + 1.000 und Achslast.2 > 0,554 DpZFz + 143
2	Achslast.2 ≤ 0,554 DpZFz + 143 und Achslast.2 > 0,444 DpZFz
3	Achslast.2 ≤ 0,444 DpZFz und Achslast.2 > 0,365 DpZFz - 538

Tab. 7: Grenzfunktionen der Bereiche des Zusammenhangs zwischen der Doppelachslast (DpZFz) und der Achslast der ersten Achse der Doppelachse am Zugfahrzeug (Achslast 2) für die Fahrzeugarten 105, 106 und 107

terteilt werden müssen, ist die Gesamtgewichtsverteilung gemäß Anhang 7 Eingangsgröße. Alle Histogramme der Gesamtgewichtsverteilungen mit der tabellarischen Auflistung der Relativanteile in den einzelnen Gesamtgewichtsklassen enthält Anhang 9.

Auf dieser Grundlage lassen sich nun für jede Fahrzeugart die Zusammenhänge zwischen Gesamtgewicht der Fahrzeugkombination, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten eindeutig mit einem potenziellen Ansatz der Form $y = ax^b$ approximieren. Die Achslast 1 wird aufgrund ihrer nicht so engen Abhängigkeit vom Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs

durch Differenzbildung ermittelt. Weist das Zugfahrzeug eine hintere Einzelachse auf, so ergibt sie sich aus der Differenz zwischen dem Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs (GG.ZFz) und der Achslast der Antriebsachse (Achslast 2). Ist das Zugfahrzeug mit einer Doppelachse ausgestattet, so ergibt sie sich aus der Differenz zwischen dem Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs und der Achslast der Doppelachse (Dp.ZFz).

Ebenfalls kein potenzieller Ansatz wird gewählt bei einer 50/50-Verteilung der Doppelachslast auf ihre beiden Achsen. Diese Fälle liegen vor bei Doppelachsen an Anhängern und Sattelanhängern, aber

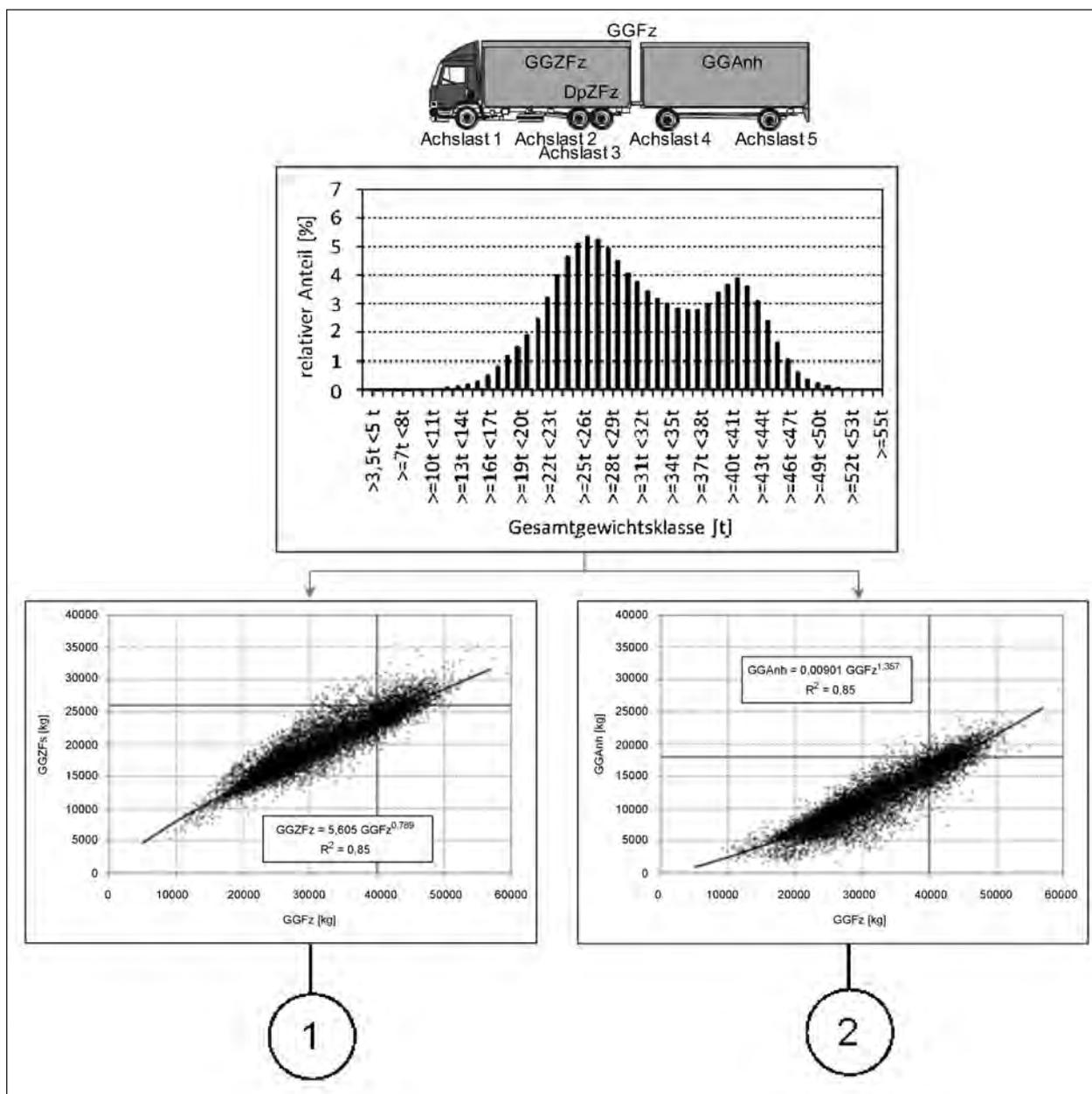


Bild 63: Funktionale Zusammenhänge zwischen dem Fahrzeug-Gesamtgewicht (GGFz) und den Fahrzeug-Teilgewichten (Zugfahrzeug (GGZFz), Anhänger (GGAnh)) für die Teilmenge TM1 der Fahrzeugart 41

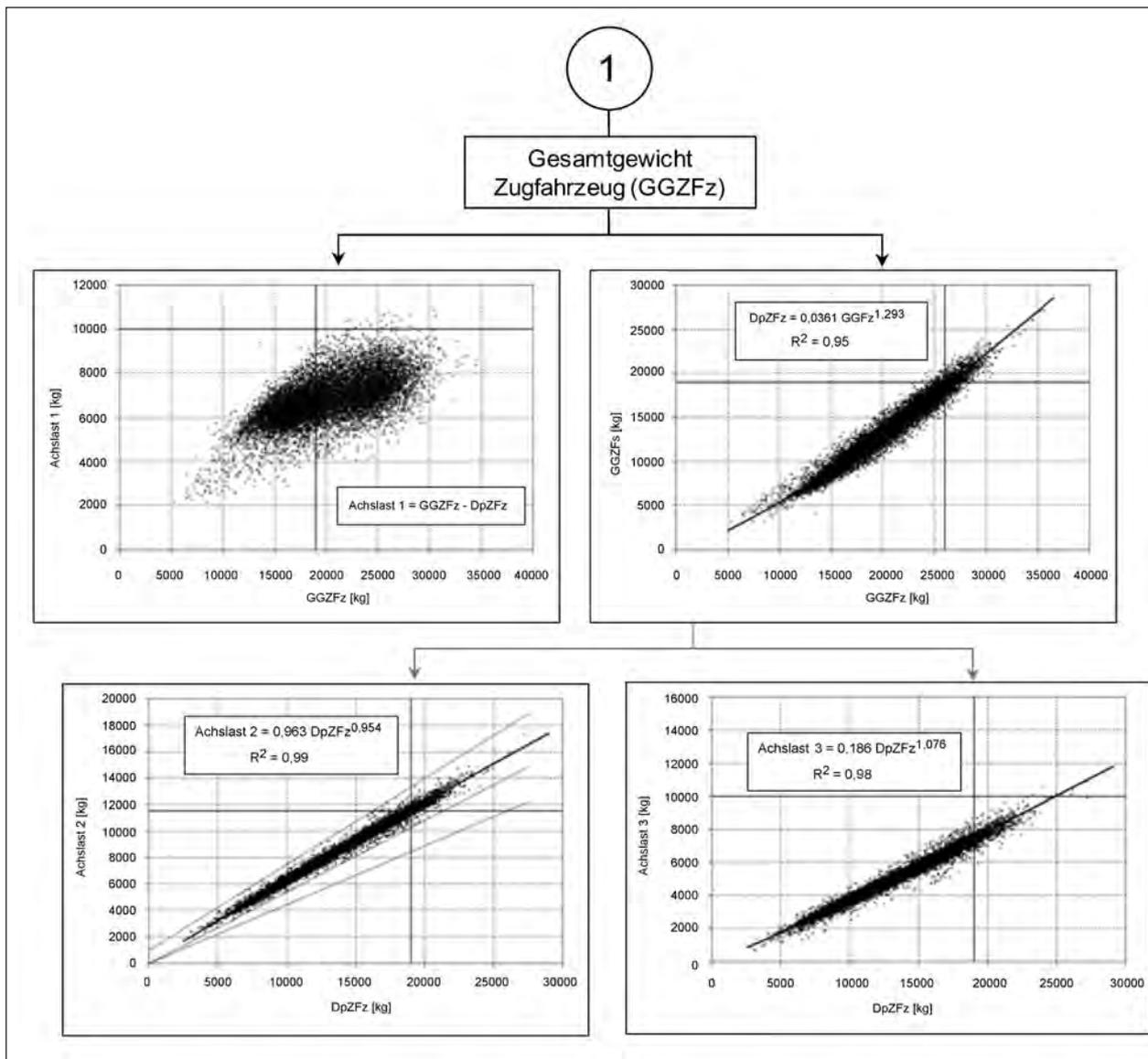


Bild 64: Funktionale Zusammenhänge zwischen dem Gesamtgewicht des Zugfahrzeugs (GGZFz) und der Achslast 1 sowie der Doppelachslast am Zugfahrzeug (DpZFz) und zwischen der Doppelachslast und den sie umfassenden Achslasten 2 und 3 für die Teilmenge TM1 der Fahrzeugart 41

auch bei zwei Antriebsachsen aufweisenden Doppelachsen an Zugfahrzeugen. In diesen Fällen wird die Doppelachslast mit dem Faktor 0,5 auf ihre beiden Achsen verteilt. Für mit einer Dreifachse ausgerüstete Sattelanhänger (Fahrzeugart 98 und 106) beträgt der Verteilungsfaktor der Dreifachachslast auf die drei Achsen dementsprechend 0,333.

Die Bilder 63 bis 65 zeigen, wiederum am Beispiel der Fahrzeugart 41 und hier für die Teilmenge 1 (TM1: Doppelachse am Zugfahrzeug mit Nachläufer), die sich ergebenden funktionalen Zusammenhänge. In Tabelle 7 sind für alle Teilbereiche dieser Fahrzeugart die Koeffizienten und Bestimmtheitsmaße der potenziellen Approximationen zusammengefasst.

Für alle relevanten Fahrzeugarten finden sich die Koeffizienten und Bestimmtheitsmaße der funktionalen Zusammenhänge im Anhang 10. Die Variablen sind in Tabelle 8 erläutert.

Mit diesen Funktionen können nun die Achslasten eines Fahrzeugs mit beliebigem Gesamtgewicht berechnet werden und somit durch Einbindung der Gleichung 6 in den entsprechenden Gesamtformalismus auch die äquivalenten 10-t-Achsübergänge. Über den Anteil der jeweiligen Fahrzeugart am DTVSV und der fahrzeugartabhängigen Einbindung der Abgrenzungsfunktionen nach Anhang 8 werden durch Summation die äquivalenten 10-t-Achsübergänge aller Fahrzeuge einer Fahrzeugart erhalten. Auf der Sekundärebene stehen somit die

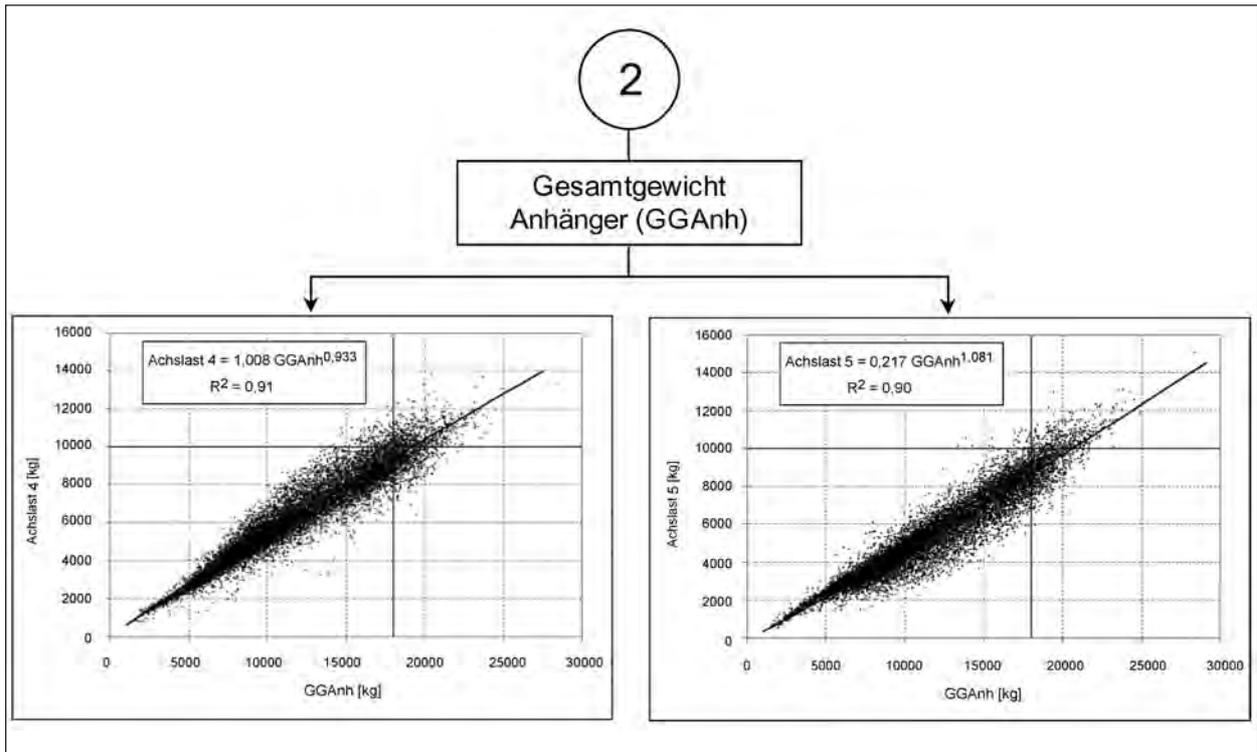


Bild 65: Funktionale Zusammenhänge zwischen dem Gesamtgewicht des Anhängers (GGAnh) und seiner Achslasten 4 und 5 für die Teilmenge TM1 der Fahrzeugart 41

Fahrzeugart 41			Koeffizienten $y = a \cdot x^b$													
Bereich	Anzahl Fahrzeuge	rel. Anteil [%]	Kraftfahrzeug						Anhänger							
TM1	422.970	87,75	GGFz-GGFz	a1	5,605	b1	0,789	R ²	0,85	GGFz-GGAnh	a2	0,00901	b2	1,357	R ²	0,85
			alast1	GGZFz-DpZFz			GGAnh-alast4		a24	1,008	b24	0,933	0,91			
			GGZFz-DpZFz	a10	0,0361	b10	1,293		0,95	GGAnh-alast5	a25	0,217	b25	1,081		0,90
			DpZFz-alast2	a12	0,963	b12	0,954		0,99							
			DpZFz-alast3	a13	0,186	b13	1,076		0,98							
TM2	40.741	8,45	GGFz-GGFz	a1	8,402	b1	0,755	R ²	0,90	GGFz-GGAnh	a2	0,00252	b2	1,471	R ²	0,90
			alast1	GGZFz-DpZFz			GGAnh-alast4		a24	0,759	b24	0,959	0,96			
			GGZFz-DpZFz	a10	0,0866	b10	1,208		0,96	GGAnh-alast5	a25	0,315	b25	1,046		0,96
			DpZFz-alast2	a12	0,502	b12	1,000		0,99							
			DpZFz-alast3	a13	0,498	b13	1,000		0,99							
TM3	3.095	0,64	GGFz-GGFz	a1	3,602	b1	0,829	R ²	0,84	GGFz-GGAnh	a2	0,0216	b2	1,278	R ²	0,83
			alast1	GGZFz-DpZFz			GGAnh-alast4		a24	0,862	b24	0,943	0,91			
			GGZFz-DpZFz	a10	0,0240	b10	1,335		0,95	GGAnh-alast5	a25	0,281	b25	1,060		0,92
			DpZFz-alast2	a12	0,318	b12	1,022		0,96							
			DpZFz-alast3	a13	0,695	b13	0,986		0,98							
TM41	9.691	2,01	GGFz-GGFz	a1	34,021	b1	0,607	R ²	0,64	GGFz-GGAnh	a2	0,000164	b2	1,759	R ²	0,81
			alast1	GGZFz-DpZFz			GGAnh-alast4		a24	0,553	b24	0,997	0,91			
			GGZFz-DpZFz	a10	0,127	b10	1,166		0,84	GGAnh-alast5	a25	0,448	b25	1,004		0,88
			DpZFz-alast2	0,917 * DpZFz - 355												
			alast3	1.000												
TM42	5.545	1,15	GGFz-GGFz	a1	253,063	b1	0,423	R ²	0,49	GGFz-GGAnh	a2	2,62E-05	b2	1,918	R ²	0,87
			alast1	GGZFz-DpZFz			GGAnh-alast4		a24	1,064	b24	0,929	0,88			
			GGZFz-DpZFz	a10	11,223	b10	0,719		0,65	GGAnh-alast5	a25	0,201	b25	1,087		0,87
			alast2	11.500												
			alast3	0,843 * DpZFz - 9.128												
Summe	482.042	100,00														



Tab. 8: Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß der potenziellen Approximation der Zusammenhänge zwischen Fahrzeug-Gesamtgewicht, Fahrzeug-Teilgewichten und Achslasten für die einzelnen Bereiche der Fahrzeugart 41

äquivalenten 10-t-Achsübergänge aller 18 relevanten Fahrzeugarten an. Durch Summation dieser äquivalenten 10-t-Achsübergänge auf der Tertiärebene des Modells (s. Bild 46) werden schließlich die äquivalenten 10-t-Achsübergänge des DTV(SV) im betrachteten Messquerschnitt erhalten (siehe auch Bild 69).

Im Kapitel 5.4.2 werden die Grundlagen für eine programmtechnische Umsetzung des Berechnungsalgorithmus aufgezeigt.

5.4.2 Modellierung des Modells SVIB-BAB auf der Sekundärebene mittels Petri-Netzen

5.4.2.1 Was sind Petri-Netze?

Im Jahre 1962 legte der Mathematiker und Informatiker Carl Adam Petri mit seiner Dissertation den Grundstein zu der nach ihm benannten Netzmethode. Besonders gut eignen sich Petri-Netze zur Modellierung von diskreten verteilten Systemen sowie zur Modellierung von Nebenläufigkeit und Parallelität. In ihnen herrscht kein strenges Muster von Ursache und Wirkung, vielmehr können Ereignisse nebenläufig, also unabhängig voneinander, auftreten.

Ein Petri-Netz stellt aus graphentheoretischer Sicht einen bipartiten Graphen dar, der aus zwei verschiedenen Sorten von Knoten besteht, die streng voneinander getrennt sind (Bild 66): Stellen und Transitionen. Eine Stelle (passives Element) entspricht einer Zwischenablage für Daten bzw. Informationen und wird durch einen Kreis symbolisiert. Eine Transition (aktives Element) beschreibt die Verarbeitung von Daten bzw. Informationen und wird durch ein Rechteck symbolisiert. Ferner existieren Kanten, die jeweils nur von einer Knotensor-

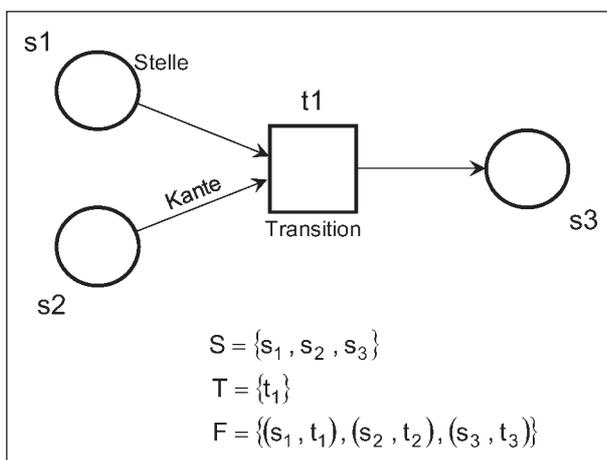


Bild 66: Grundstruktur der Petri-Netze [GRE02]

te zur anderen führen dürfen [GRE02, KER94, UDU].

Mit S wird die Menge aller Stellen, mit T die Menge aller Transitionen und mit F die Menge aller Kanten zwischen Stellen und Transitionen bezeichnet.

5.4.2.2 Modellierung des Modells SVIB-BAB auf der Sekundärebene

Die im Kapitel 5.4.2.1 erläuterte Petri-Netzmethode ist Grundlage für die Modellierung des Algorithmus für das SVIB-BAB Modell auf der Sekundärebene, der dann entsprechend programmiert aber auch mit einem Tabellenkalkulationsprogramm umgesetzt werden kann.

Für jede der 18 relevanten Fahrzeugarten wird auf Basis der entsprechenden funktionalen Zusammenhänge (s. Anhang 10) jeweils ein Algorithmus modelliert, der zum Ergebnis die jeweiligen Achslasten und äquivalenten 10-t-Achsübergänge hat (Anhang 11). Die Erläuterung des Algorithmus erfolgt wiederum am Beispiel der Teilmenge 1 (TM1: Doppelachse am Zugfahrzeug mit Nachläufer) der Fahrzeugart 41 (Bild 67 und Bild 68). Die Erläuterung der verwendeten Variablen ist in Tabelle 9 zusammengestellt.

Bei Fahrzeugkombinationen ist im ersten Schritt das Gesamtgewicht, das dem entsprechenden Mittelwert der jeweiligen betrachteten Gesamtgewichtsklasse (s. Anhang 9) entspricht (GGK_i), auf die beiden Fahrzeugteile Zugfahrzeug ($GG.ZFz$) und Anhänger/Auflieger ($GG.Anh$) aufzuteilen. Im nächsten Schritt erfolgt dann für beide Fahrzeugteile die Berechnung der Achslasten ($alast.i$). Hierbei ist bei Zugfahrzeugen zumeist die Einteilung in Teilbereiche (s. Anhang 8) (Fahrzeugart 41: TM1 bis TM4) bzw. Subbereiche (Fahrzeugart 41: TM41 und TM42) zu berücksichtigen. Die berechneten Achslasten einer jeden Fahrzeugart können dann der Klassierung zugeführt werden, an deren Ende die messquerschnittsbezogene Achslastverteilung des Schwerverkehrs steht. Im Weiteren werden mit dem Vierte-Potenz-Gesetz (s. Gleichung (6)) zunächst die äquivalenten 10-t-Achsübergänge einer jeden Achse berechnet ($\text{äq}10t.achse.i$) und daraus mittels Summation die gesamtgewichtsklassenabhängigen äquivalenten 10-t-Achsübergänge eines Fahrzeugs oder einer Fahrzeugkombination ($\text{äq}10t.GGK_i.Fz$). Für die jeweils betrachtete Fahrzeugart ergibt sich die Anzahl ihrer Fahrzeuge in der Gesamtgewichtsklasse GGK_i ($nFz.GGK_i.TM_k$)

unter Einbeziehung des DTV^(SV) im betrachteten Messquerschnitt, ihres relativen Anteils am DTVSV (rA.FzArt.i), ihres relativen Anteils in der entsprechenden Teilmenge TM_k (rA.Fz.FzArt.i.TM_k) und der Gesamtgewichtsklasse GGK_i (rA.Fz.GGK_i). Die Multiplikation mit den äquivalenten 10-t-Achs-

übergängen eines Fahrzeugs in der Gesamtgewichtsklasse (äq10t.GGK_i.Fz) führt zu den äquivalenten Übergängen der Teilmenge TM_k (äq10t.GGK_i.TM_k) in eben dieser Gesamtgewichtsklasse.

Die zuvor erläuterten Schritte sind für alle 52 Gesamtgewichtsklassen (s. Anhang 9) und alle Fahr-

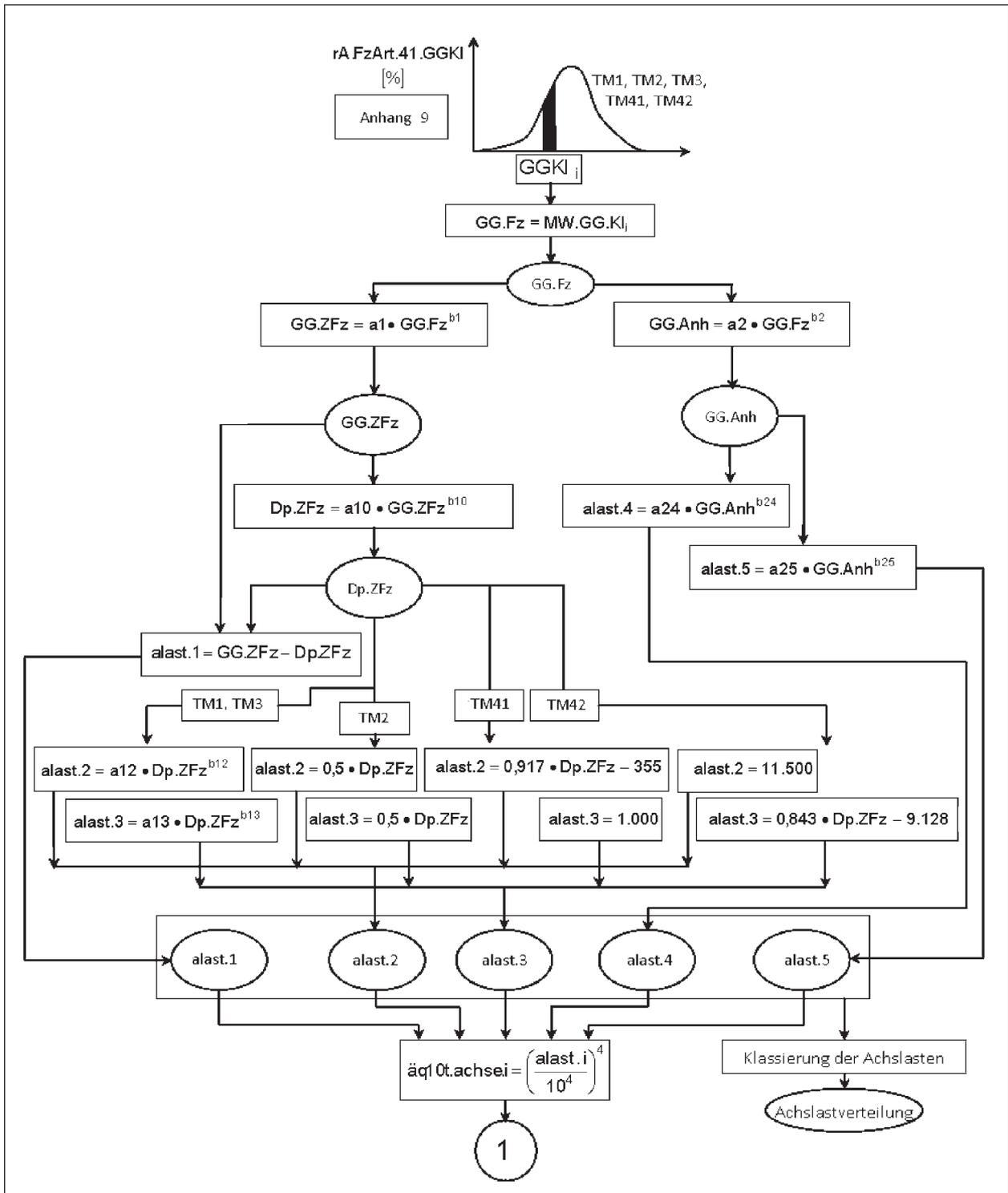


Bild 67: Petri-Netz für die Berechnung der Achslasten und äquivalenten 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugart 41 (Fortsetzung im Bild 68)

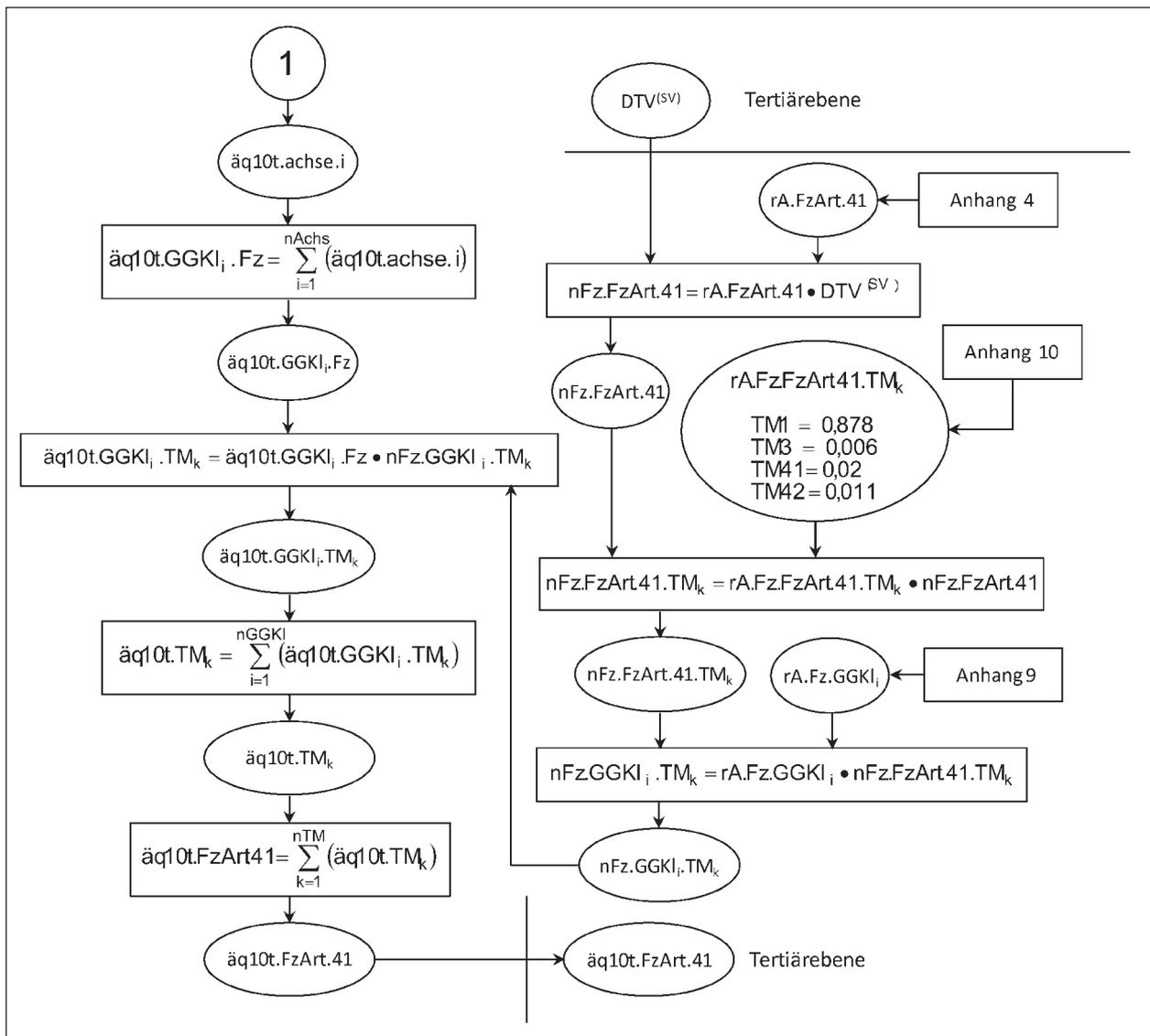


Bild 68: Petri-Netz für die Berechnung der Achslasten und äquivalenten 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugart 41 (Fortsetzung des Bildes 67)

zeugteilmengen zu durchlaufen. Durch anschließende Addition der äquivalenten 10-t-Achsübergänge über alle 52 Gesamtgewichtsklassen hinweg werden zunächst die äquivalenten Übergänge der Teilmenge TM_k (äq10t.TM_k) erhalten. Die Summation über alle Teilmengen der betrachteten Fahrzeugart hinweg ergibt schließlich die äquivalenten 10-t-Achsübergänge der betrachteten Fahrzeugart (äq10t.FzArt.i).

Für alle relevanten Fahrzeugarten ist der entsprechende fahrzeugartbezogene Algorithmus (s. Anhang 11) zu durchlaufen. Dann liegen auf der Sekundärebene des Modells die äquivalenten 10-t-Achsübergänge einer jeden relevanten Fahrzeugart vor. Ihre Addition auf der Tertiärebene ergibt schlussendlich die Anzahl der äquivalenten 10-

t-Achsübergänge des $DTV^{(SV)}$ im betrachteten Messquerschnitt (Bild 69).

Die dem SVIB-BAB Modell zugrunde liegenden Zusammenhänge werden durch die Einrichtung der restlichen Achslasterfassungsquerschnitte – der Ausbauzustand wird 40 Achslasterfassungsquerschnitte mit ca. 100 Achslastwaagen umfassen – auf eine immer breitere Datenbasis gestellt werden können. Diese „Kalibrierung“ anhand von Einzelfahrzeugdaten ist für die Aussagekraft von Wirkungsanalysen von straßen- und brückenbautechnischen Szenarien von großer Bedeutung.

Erfahrungen, in welchen zeitlichen Abständen eine solche Modell-Kalibrierung vorzunehmen ist, liegen noch nicht vor.

Variable	Erläuterung
GG.Fz	Gesamtgewicht Fahrzeugkombination (LKW+Anhänger, Sattelkraftfahrzeug, Bus) [kg]
GG.Zfz	Gesamtgewicht Zugfahrzeug (LKW, Sattelzugmaschine) [kg]
GG.Anh	Gesamtgewicht Anhänger/Sattelanhängen [kg]
Dp.Zfz	Achslast Doppelachse am Zugfahrzeug [kg]
Dp.Anh	Achslast Doppelachse am Anhänger/Sattelanhängen [kg]
alast.1	Achslast der 1. Achse der Fahrzeugkombination [kg]
alast.2	wie vor, jedoch 2. Achse [kg]
alast.3	wie vor, jedoch 3. Achse [kg]
alast.4	wie vor, jedoch 4. Achse [kg]
alast.5	wie vor, jedoch 5. Achse [kg]
alast.6	wie vor, jedoch 6. Achse [kg]
alast.i	Achslast der i-ten Achse der Fahrzeugkombination [kg]
äq10t.achse.i	äquivalente 10-t-Achsübergänge der i-ten Achse der Fahrzeugkombination
äq10t.GGkFz	äquivalente 10-t-Achsübergänge pro Fahrzeug in der Gesamtgewichtsklasse i
äq10t.GGkTM _k	äquivalente 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugteilmenge k in der Gesamtgewichtsklasse i
äq10t.TM	äquivalente 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugteilmenge k
äq10t.FzArt.i	äquivalente 10-t-Achsübergänge der Fahrzeugart i
rA.FzArt.i	relativer Anteil der relevanten Fahrzeugart i (s. Bild 4.11) am DTV ^{SV}
nFz.FzArt.i	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i
rA.Fz.FzArt.i.TM	relativer Anteil der Fahrzeuge der Fahrzeugart i in der Fahrzeugteilmenge k
TM _k	Fahrzeugteilmenge k
nFz.FzArt.i.TM	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugart i in der Fahrzeugteilmenge k
rA.Fz.GGkl	relativer Anteil der Fahrzeuge in der Gesamtgewichtsklasse i
nFz.GGkTM _k	Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugteilmenge k in der Gesamtgewichtsklasse i
nAchse	Anzahl der Achsen der Fahrzeugkombination
nGGkl	Anzahl der Gesamtgewichtsklassen
nTM	Anzahl der Fahrzeugteilmengen
a1, b1, a2, b2, a10, b10, a12, b12, a13, b13, a24, b24, a25, b25	Koeffizienten der funktionalen potenziellen Zusammenhänge (s. Anhang 10)

Tab. 9: Erläuterung der Variablen im SVIB-BAB Modell

6 Nutzen des SVIB-BAB Modells

Mit Hilfe des SVIB-BAB Modells ist die Möglichkeit gegeben, Auswirkungen von Szenarien z. B. hinsichtlich einer Veränderung in der Zusammensetzung des DTV^(SV) (z. B. Anpassung der Fahrzeugflotte an die Transportnachfrage oder an betriebswirtschaftliche Erfordernisse) und/oder des Auslastungsgrades des Schwerverkehrs (z. B. verbesserte Logistik) und/oder der fahrzeugartbezogenen Gesamtgewichtsverteilungen (z. B. Veränderungen der Transportnachfrage aufgrund von Veränderungen in den wirtschaftlichen Abläufen) auf die Belastung/Beanspruchung der Befestigung des Hauptfahrestreifens zu untersuchen und damit auch die Auswirkungen auf die Länge ihres Nutzungszeitraums sowie die Erhaltungs- und Investitionskosten. Durch Einbindung von an automatischen Dauerzählstellen auf BAB (603; Stand: 2006) erfassten Verkehrsmengen des DTV^(SV) lassen sich entsprechende Wirkungsanalysen für das gesamte BAB-Netz oder für Teile von ihm durchführen.

Auswirkungen einer angenommenen zeitlichen Entwicklung des DTV^(SV) (Stichwort: 2025- bzw. 2050-Prognose) auf die schwerverkehrsinduzierte

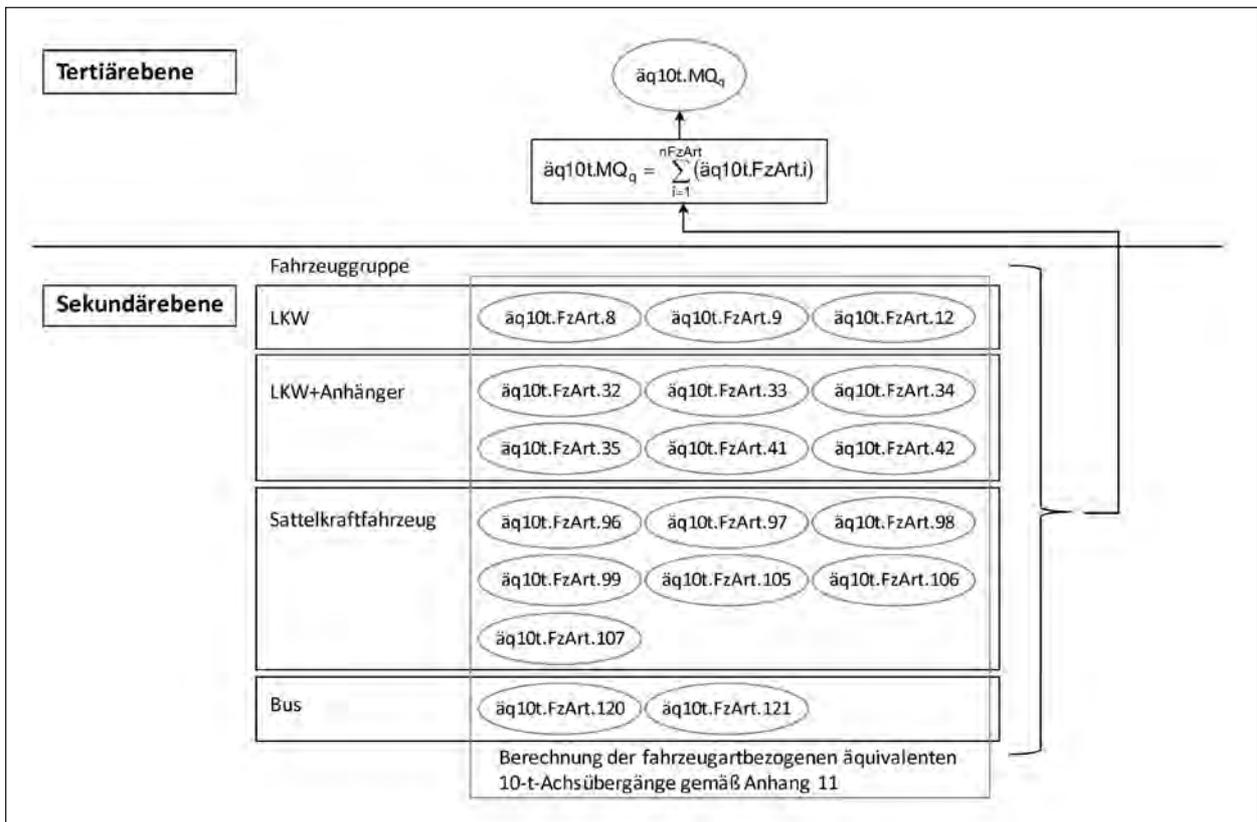


Bild 69: Ermittlung der messquerschnittsbezogenen äquivalenten 10-t-Achsübergänge für den Hauptfahrestreifen von BAB auf der Tertiärebene

Belastung/Beanspruchung des BAB-Netzes in situ lassen sich netzweit abbilden.

Darüber hinaus sind nicht nur die Auswirkungen der Überladungen auf die Dimensionierung und den Nutzungszeitraum der Befestigung des Hauptfahrstreifens sowie die Kosten seiner Erhaltung ermittelbar, sondern auch die einer möglichen Veränderung der nach § 34 StVZO verkehrsrechtlich festgelegten zulässigen Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewichte z. B. auch im Rahmen der EU-Harmonisierung.

Last- oder Achslastkollektive für brückenbautechnische Fragestellungen lassen sich aufgrund der zuvor beschriebenen Szenarien ebenfalls erstellen.

In einem weiteren Schritt sollen im Rahmen eines BAST-AP-Projekts die Ergebnisse des BAST-AP-Projekts 04 342/S4 „Messtechnische Erfassung der Beanspruchungen im Straßenaufbau infolge Lkw-Überfahrten über eine Modellstraße in Asphaltbauweise“ [RA0806], des geplanten BAST-AP-Projekts „Auswertung und Bewertung der an verschiedenen Asphaltaufbauten in situ erfassten Beanspruchungssituation durch den Schwerverkehr“ [RA08] und des hier vorliegenden vernetzt werden. Ziel ist es, durch die Vernetzung der Abhängigkeit der Dehnung im Asphaltpaket und des Vertikaldrucks auf dem Planum von der Höhe der Achslast, der gefahrenen Geschwindigkeit und der Asphalttemperatur in situ sowie die hier vorliegenden Erkenntnisse, einen Einblick in das Beanspruchungsgeschehen innerhalb von Straßenbefestigungen in Asphaltbauweise unter schwerverkehrsinduzierter Belastung in situ zu erhalten. So sollen bauklassenabhängige Häufigkeitsverteilungen von Dehnungs- bzw. Spannungsniveaus untersucht werden, um so Aussagen zur Häufigkeit ihres Auftretens im Aufbau ableiten zu können; auch besteht dadurch die Möglichkeit, das Niveau der im Rahmen von Ermüdungsversuchen in den Probekörper einzuleitenden Kraft beanspruchungsgerecht zu bestimmen. Häufigkeitsverteilungen des Ausnutzungsgrads von zulässigen Spannungen, die über die Verknüpfung der sich unter den Achslasten im Aufbau einstellenden Spannungen mit den gleichzeitig vorhandenen zulässigen Spannungen erhalten werden, können vor dem Hintergrund der Diskussion, die sich um Dauer- und Zeitfestigkeit von Asphalt dreht, zusätzliche Erkenntnisse liefern.

Darüber hinaus sollen zum einen auch die äquivalenten 10-t-Achsübergänge als in die standardisierte Dimensionierung von Straßenoberbauten nach

den RStO 01 eingehende Dimensionierungsgröße hinterfragt und zum anderen die Grundlagen für die rechnerische Dimensionierung nach den RDO-Asphalt [RDOA] und RDO-Beton [RDOB] (z. B. Achslast-, Dehnungs- und Spannungsverteilungen) erweitert werden.

Aber auch im Rahmen von Funktionsbauverträgen (FBV) sind die hier gewonnenen Erkenntnisse von Nutzen. In der Leistungsbeschreibung Teil B zu FBV wird eine bemessungsrelevante Beanspruchung B (gewichtete äquivalente 10-t-Achsübergänge) nach den RStO 01 festgeschrieben, die voraussichtlich innerhalb der Vertragslaufzeit zu erwarten ist. Diese bemessungsrelevante Beanspruchung gilt neben der Vertragslaufzeit als Abbruchkriterium für den FBV. Daher ist die Überwachung ihrer zeitlichen Entwicklung innerhalb der Vertragslaufzeit für Auftraggeber und Auftragnehmer von Interesse. Sie kann einerseits formal über den in den RStO 01 aufgeführten Formalismus erfolgen, andererseits über Einzelfahrzeugdaten, die mit einzubauenden Achslastwaagen erfasst werden.

Erstere Möglichkeit führt die äquivalenten 10-t-Achsübergänge über den mittleren Lastkollektivquotienten q_{BM} und die mittlere Achszahl f_A der Fahrzeuge des Schwerverkehrs in den Formalismus der RStO 01 ein. Beide Größen wurden aus Einzelfahrzeugdaten abgeleitet, die im Rahmen des Langzeitprojekts LZB [LZB92] zwischen 1965 und 1989 erfasst wurden. Die zeitliche Entwicklung des Schwerverkehrs innerhalb der etwa 20 Jahre seit dem Ende der LZB – hinsichtlich seiner Zusammensetzung und des Auslastungsgrads der Fahrzeuge – zeigt, dass beide Größen heutzutage einer Aktualisierung bedürfen (siehe Bilder 44 und 45). Innerhalb der Vertragslaufzeit, insbesondere über 20 Jahre und mehr, ist eine notwendige Aktualisierung der beiden Größen, evtl. auch mehrfach, nicht auszuschließen, um für beide Seiten brauchbare Werte für die Überwachung zu erhalten. Eine zeitnahe Berücksichtigung von Veränderungen in Richtlinien ist aber meist nicht zu realisieren. Der Einbau von Achslastwaagen ist zwar die genaueste Möglichkeit, da so der objektbezogene Schwerverkehr in situ abgebildet werden kann, ist aber mit hohen Investitions- (215.000 Euro pro Messquerschnitt, 107.500 Euro je Fahrtrichtung), Wartungs- und Kontrollkosten verbunden.

Eine Alternative zu beiden Möglichkeiten stellt der in den Bildern 51 bis 55 aufgezeigte Formalismus zur Berechnung und Verfolgung der zeitlichen Ent-

wicklung der äquivalenten 10-t-Achsübergänge dar. Mit ihm können die äquivalenten 10-t-Achsübergänge auf Basis des objektbezogenen DTV^(SV) oder seiner Zusammensetzung berechnet sowie ihre zeitliche Entwicklung verfolgt werden. Da im BAB-Netz die Einzelfahrzeugdaten kontinuierlich mit dem im Endausbau 40 Messquerschnitte umfassenden Achslasterfassungsnetz erfasst werden, ist eine zeitnahe Berücksichtigung von Veränderungen des DTV^(SV) auf BAB über eine Kalibrierung des Formalismus gewährleistet.

7 Zusammenfassung

In den letzten 29 Jahren bis 2007 nahm die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs im Gegensatz zu Eisenbahn und Binnenschifffahrt, die im selben Zeitraum kaum Zuwächse verzeichneten, von ca. 74 Mrd. t.km im Jahre 1978 bis auf knapp 449 Mrd. t.km im Jahre 2007 zu. Das entspricht einer Steigerung auf das Sechsfache oder einer durchschnittlichen jährlichen Zunahme um 6,4 %.

Die Ursachen für die vergangene starke Zunahme sind zum einen die Wiedervereinigung Deutschlands im Oktober 1990, die Schaffung des europäischen Binnenmarktes, die Ost-Erweiterung Europas sowie die Liberalisierung des Welthandels. Die Folgen für das geografisch in der Mitte Europas liegende Deutschland in einer erweiterten EU sind nicht nur eine Zunahme des Binnenverkehrs, sondern auch des grenzüberschreitenden und insbesondere des Transitverkehrs. Eine vom BMVBS in Auftrag gegebene Prognose [IB07] kommt zu dem Ergebnis, dass die Güterverkehrsleistung bis 2025 um knapp 74 % (Basisjahr 2004) wachsen wird. Das entspricht bezogen auf das aktuelle Jahr 2008 einer Zuwachsrate von 2,5 % pro Jahr. Aktuelle Prognosen ist eine Verdoppelung der Güterverkehrsleistung von etwas mehr als 600 Mrd. t.km im Jahr 2007 auf 1.200 Mrd. t.km im Jahr 2050 zu entnehmen [PT07]. Dabei wird das Wachstum des Güterverkehrs nach wie vor im Wesentlichen auf der Straße stattfinden. Deutschland ist also auch zukünftig mit deutlich wachsendem Verkehrsaufkommen konfrontiert.

Da ein nachfrageadäquater Ausbau des Straßennetzes aus ökonomischen und ökologischen Gründen kaum machbar ist, ist mit zunehmendem Straßengüterverkehr ein Beanspruchungszuwachs der gleichzeitig immer älter werdenden Straßeninfrastruktur verbunden. Zukünftig wird somit ein we-

sentlicher Anteil der trotz der in die Straßeninfrastruktur zurückfließenden Straßenbenutzungsgebühren knappen zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen in die Erhaltung von Straßen und Brücken investiert werden müssen.

Für die Entwicklung von Erhaltungsstrategien und eines optimalen Einsatzes der knappen finanziellen Ressourcen für die Straßenerhaltung, der Einführung neuer Finanzierungskonzepte im Straßenbau (Funktionsbauverträge, A-Modelle u. a.) und der rechnerischen Dimensionierung von Verkehrsflächen ist die Kenntnis der aus dem Straßengüterverkehr resultierende Belastung/Beanspruchung und deren zeitliche und räumliche Entwicklung von grundlegender Bedeutung, insbesondere auch vor dem Hintergrund des prognostizierten Zuwachses des Straßengüterverkehrs. Aber auch Wirkungsanalysen von Szenarien wie der Einführung neuer Fahrzeugkonzepte, der möglichen Erhöhung der zulässigen Gesamtgewichte und Achslasten im Rahmen der EU-Harmonisierung und nicht zuletzt der Entwicklung einer beanspruchungsgerechten Straßenbenutzungsgebühr mit der Möglichkeit einer ihr innewohnenden Verkehrssteuerung bedürfen als Grundlage der Kenntnis der Belastungssituation der Straßeninfrastruktur in situ. Daher ist die In-situ-Erfassung der aus dem Straßengüterverkehr resultierenden Belastung/Beanspruchung der Straßeninfrastruktur eine Notwendigkeit.

Seit 1989, dem Ende des Forschungsprojekts „Langzeitbeobachtungen an ausgewählten Straßenabschnitten“ [LZB92], liegen keine netzweiten Informationen über die aus dem Schwerverkehr hervorgehende Belastung/Beanspruchung und ihre zeitliche Entwicklung mehr vor. Daher entschied Mitte der neunziger Jahre das ehemalige Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) (jetzt Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)), ein neues repräsentatives Netz zur permanenten Achslasterfassung auf BAB bundesweit zu installieren. Die BAST wurde durch das BMVBW mit der Konzeption und der fachlichen Begleitung des Netzaufbaus beauftragt.

Das Achslasterfassungsnetz auf BAB wird in vier Ausbaustufen realisiert und soll 40 repräsentative Achslasterfassungsquerschnitte umfassen. Da die Achslasterfassungsquerschnitte eines hohen Investitionsaufwands bedürfen (ca. 215.000 Euro pro Messquerschnitt), wird in der Regel nur der Hauptfahrstreifen, der Fahrstreifen mit der höchsten Be-

lastung durch den Straßengüterverkehr mit ihnen ausgestattet.

Zwei Ausbaustufen mit insgesamt 14 Messquerschnitten und 38 Achslastwaagen sind in acht verschiedenen Bundesländern bereits realisiert. Zur Anwendung kamen zwei verschiedene Sensoren: die Biegeplatte und hauptsächlich der Piezosensor. Piezosensoren werden wohl auch in den beiden letzten Ausbaustufen 3 und 4 Verwendung finden.

Mit Erlass S 26/16.57.30/9 BASt 2000 vom 06.10.2000 des BMVBW wurde die BASt beauftragt, die Ergebnisse der Achslastmessungen im BAB-Netz im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen zu analysieren.

Eine erste Analyse erfolgte im Rahmen des BASt-AP-Projekts 98 341/S4 [WO00] anhand der im ersten Quartal 1998 mit dem Teilnetz in Hessen erfassten Einzelfahrzeugdaten des Schwerverkehrs. Zwischen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der Lastmenge bzw. den äquivalenten 10-t-Achsübergängen konnten Zusammenhänge aufgezeigt werden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde vom Verfasser ein erstes grobes Belastungs-/Beanspruchungs-Modell entwickelt, mit dem es erstmalig möglich wurde, nur anhand der Kenntnis der Verkehrsstärke des Schwerverkehrs die aus ihm resultierende Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens von BAB zu berechnen.

Mit der sukzessiven Inbetriebnahme der zweiten Ausbaustufe des Achslasterfassungsnetzes auf BAB ist nun die Möglichkeit gegeben, auf Basis von neueren und umfangreicheren Einzelfahrzeugdaten eine Aktualisierung, Präzisierung und Erweiterung des rudimentären Beanspruchungsmodells vorzunehmen. Basis für die Aktualisierung des SVIB-BAB Modells (Berechnung der Schwerverkehrsinduzierten Straßenbelastung/-beanspruchung der BAB) sind die Einzelfahrzeugdaten von 8 Mio. Fahrzeugen des Schwerverkehrs, die zwischen 2004 und 2005 erfasst wurden.

Als relevant für die Straßenbelastung/-beanspruchung erweisen sich in den einzelnen Messquerschnitten dieselben 18 Fahrzeugarten des Schwerverkehrs. Ihr Anteil am Schwerverkehr beträgt i. M. 99,2 %. Die restlichen um die 20 Fahrzeugarten werden nur vereinzelt festgestellt und spielen mit einem Gesamtanteil von i. M. 0,8 % eine zu vernachlässigende Rolle.

Die Zusammensetzung des Schwerverkehrs ist für die Straßenbeanspruchung von Bedeutung, da die verschiedenen Fahrzeugarten unterschiedliche Schädigungspotenziale aufweisen. Diese resultieren in der Hauptsache aus den unterschiedlichen Achsarten (Einzel-, Doppel-, Dreifachachse), der unterschiedlichen Achsanzahl und dem Auslastungsgrad der möglichen Nutzlast, der neben dem Eigengewicht des Fahrzeugs hauptsächlich die Achslasten und somit die Straßenbeanspruchung determiniert.

Den größten Anteil am Schwerverkehr und somit an der Straßenbelastung/-beanspruchung weist das im Fernverkehr eingesetzte Sattelkraftfahrzeug mit zweiachsiger Sattelzugmaschine und dreiachsigem Sattelanhängen auf. Sein Anteil ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen und liegt heutzutage je nach Messquerschnitt zwischen 35,2 % und 63,5 %. Den zweitgrößten Anteil weist der zumeist im Nahverkehr eingesetzte Lkw ohne Anhänger auf. Sein Anteil liegt zwischen 8,3 % und 16,8 %. Alle anderen 16 relevanten Fahrzeugarten haben einen Anteil am Schwerverkehr bis 10 %, zumeist aber deutlich darunter.

Die Zusammensetzung des Schwerverkehrs in den einzelnen räumlich weit auseinander liegenden Messquerschnitten stellt sich sehr stabil dar. Das gilt, wenn auch auf unterschiedlich hohem Niveau, auch für die aus dem Schwerverkehr resultierende Lastmenge (Leergewicht + Nutzlast) und die äquivalenten 10-t-Achsübergänge. Die relativen Gesamtgewichtsverteilungen der einzelnen relevanten Fahrzeugarten zeigen innerhalb des Erfassungszeitraums ebenfalls eine zeitliche Stabilität, wobei festzustellen ist, dass nur die wenigsten Fahrzeuge gewichtsvoll sind, also die nach § 34 StVZO höchstzulässigen Gesamtgewichte nicht ausgenutzt werden. Es ist aber auch festzustellen, dass ein nicht geringer Anteil der Fahrzeuge diese Grenzwerte überschreitet und somit die Straßenbefestigungen überproportional beanspruchen. Der „gewollte“ betriebswirtschaftliche Nutzen, der durch Grenzwertüberschreitungen generiert wird, führt zu volkswirtschaftlichen Nachteilen, wie z. B. zu zeitlich früher notwendig werdenden Instandsetzungsarbeiten. Die zeitliche Stabilität der aus dem Schwerverkehr hervorgehenden Lastmenge und ihrer Verteilungen führt zu sich ebenfalls stabil darstellenden Achslastverteilungen.

Die zeitliche Konstanz des Verlaufs der Belastung/Beanspruchung der BAB durch den Schwer-

verkehr ist ein Abbild des sich zeitlich nur langsam verändernden wirtschaftlichen Geschehens und der sich daraus generierenden zeitlich stabilen Transportnachfrage. Diese führt zu einer betriebswirtschaftlich optimalen Fahrzeugflotte zur Bewältigung des Transportaufkommens, deren Zusammensetzung ebenfalls nur langsamen Veränderungen unterworfen ist.

Aufgrund dieser zeitlichen Stabilitäten zeigen sich Abhängigkeiten zwischen der Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der aus ihm hervorgehenden Lastmenge sowie der äquivalenten 10-t-Achsübergänge. Diese Abhängigkeiten lassen sich funktional beschreiben und bilden die Grundlage des SVIB-BAB-Modells zur Berechnung der Straßenbelastung/-beanspruchung.

Das auf dieser Basis entwickelte SVIB-BAB-Modell gliedert sich in die vier Ebenen Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Metaebene.

Die Primärebene, die Kontaktebene zwischen Reifen und Fahrbahn, ist gekennzeichnet durch einen Strom verschieden hoher Achslasten, die in mehr oder weniger großen Zeitabständen stochastisch aufeinanderfolgen. Diese Ebene wird herangezogen, um messquerschnittsbezogene Achslastverteilungen bzw. eine mittlere Achslastverteilung für das BAB-Netz auf Basis der in situ gemessenen Achslasten bzw. der Auswirkungen von Szenarien auf der Sekundär- und Tertiärebene zu erstellen.

Auf der Sekundärebene sind die Achsen und die zugehörigen Achslasten mit der entsprechenden Fahrzeugart funktional verknüpft. Wirkungsanalysen von Szenarien wie z. B. Änderungen in der Zusammensetzung des Schwerverkehrs und/oder in der Festsetzung von Grenzwerten für Achslasten und Gesamtgewichte (§ 34 StVZO) oder auch Änderungen des Auslastungsgrades der Schwerverkehrsfahrzeuge auf die Achslastverteilungen (Primärebene) und/oder die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (Tertiärebene) und somit der Belastung/Beanspruchung (Metaebene) werden so möglich.

Auf der Tertiärebene liegen die aus den Einzelfahrzeugdaten (Sekundärebene) abgeleiteten Zusammenhänge zwischen der täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs und der Lastmenge bzw. der äquivalenten 10-t-Achsübergänge vor. Durch Einsetzen der auf BAB an 603 Dauerzählstellen (Stand: 2006) erfassten Verkehrsmengen des Schwerverkehrs kann die schwerverkehrsinduzier-

te Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens netzweit ermittelt werden. Durch Kopplung mit angenommenen zeitlichen Veränderungsdaten des Schwerverkehrs lassen sich auf der Metaebene des Modells die Auswirkungen von Prognosen der zeitlichen Entwicklung des Schwerverkehrs (Stichwort: 2010- bzw. 2050-Prognose) auf die zeitliche Entwicklung der Straßenbelastung/-beanspruchung netzweit abbilden und beschreiben. Über die zusätzliche Verknüpfung mit aus der ZEB abgeleiteten Verhaltensfunktionen lässt sich die Auswirkung dieser Prognosen auf die zeitliche Entwicklung des Straßenzustands ebenfalls beschreiben.

Auf der Metaebene schließlich steht als Ergebnis der auf der Sekundär- und/oder Tertiärebene durchgeführten Berechnungen mit In-situ-Daten bzw. durchgeführten Szenarien die schwerverkehrsinduzierte Belastung/Beanspruchung des Hauptfahrstreifens des BAB-Netzes bzw. von Teilnetzen oder einzelner Querschnitte an. Diese ist dann straßenbautechnischen Analysen zuführbar, wie z. B. der Analyse der Auswirkungen der Überladungen, aber auch einer möglichen Veränderung der nach § 34 StVZO verkehrsrechtlich festgelegten zulässigen Grenzwerte für Achslasten und Gesamtgewichte – z. B. auch im Rahmen der EU-Harmonisierung – auf die Dimensionierung und den Nutzungszeitraum der Befestigung des Hauptfahrstreifens sowie die Kosten seiner Erhaltung.

Auch im Rahmen von Funktionsbauverträgen (FBV) sind die hier gewonnenen Erkenntnisse von Nutzen, lässt sich doch die Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge, die voraussichtlich innerhalb der Vertragslaufzeit zu erwarten ist und die über die bemessungsrelevante Beanspruchung B nach den RStO 01 als ein Abbruchkriterium des FBV gilt, mit dem Formalismus berechnen und mit Kenntnis des objektbezogenen $DTV^{(SV)}$ zeitlich verfolgen.

Weiterhin können für den Hauptfahrstreifen auch Lastkollektive für den Brückenbau erstellt werden, auch unter dem Einfluss von schwerverkehrsbaasierten „Was wäre wenn“-Szenarien.

8 Literatur

- [FI05] FITSCHEN, A./KOßMANN, I. (2005): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 160, 2005
- [GL06] GLAESER, K.-P./LERNER, M./RODER, K./WEBER, R./WOLF, A./ZANDER, U. (2006): Abschätzung der Chancen und Risiken einer Zulassung neuer Fahrzeugkonzepte auf dem Bundesfernstraßennetz
- [GRE02] GREB, S. (2002): 2. Treffen der Arbeitsgruppe Verteiltes Prozessmodell, Petri-Netze. TU Darmstadt
- [HB98] LAFFONT, S./SCHMIDT, G. (1998): Aufbau eines Teilnetzes zur Achslasterfassung in Hessen – Phase 2 (Probebetrieb). Schlussbericht zum FE 01.143 R96C des BMVBW, Heusch Boesefeldt GmbH, Aachen, Dezember 1998
- [IB07] Intraplan Consult GmbH und BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH (2007): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. FE 96.0857/2005, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- [KER94] KERSTAN, T. (1994): Stoffströme in Petrinetzen. Die Zeit, Nr. 33, 12. August 1994
- [LZB92] HORZ, W./KALISCH, H. (1992): Daten von 23 Jahren Langzeitbeobachtungen an Straßen. Straße und Autobahn, Heft 9
- [ME97] MESCHÉDE, R. (1997): Ausbau der Achslasterfassung auf Bundesautobahnen. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, September 1997
- [ME04] MESCHÉDE, R. (2004): Aufbau eines Netzes zur Achslasterfassung auf BAB – 2. Ausbaustufe. Schlussbericht zum BAST-AP-Projekt 98 627/V5, Dezember 2004
- [PT07] ProgTrans AG (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Projekt 26.0185, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung
- [RA0806] RABE, R. (2006): Messtechnische Erfassung der Beanspruchungen im Straßenaufbau infolge Lkw-Überfahrten über eine Modellstraße in Asphaltbauweise. BAST-AP-Projekt 04 342/S4, August 2006
- [RA 1106] RABE, R. (2006): Mechanische Beanspruchung des Straßenaufbaus durch Nutzfahrzeuge – Untersuchungen an der Modellstraße der BAST, Vortragsseminar „Straßenwesen und Erdbau“ an der TU Braunschweig, 13. November 2006
- [RA08] RABE, R.: Auswertung und Bewertung der an verschiedenen Asphaltaufbauten in situ erfassten Beanspruchungssituation durch den Schwerverkehr. BAST-AP-Projekt, geplant
- [RDOA] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaues von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, RDO – Asphalt 08. FGSV, Entwurf März 2008
- [RDOB] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen, RDO – Beton 08. FGSV, Entwurf Dezember 2007
- [RS01] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, RStO 01. FGSV, Ausgabe 2001
- [SPSS] SPSS 14.0.1 (07. Dez 2005) für Windows
- [StVZO] Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO). Fassung der Bekanntmachung vom 28.08.1988 (BGBl I S. 1793), zuletzt geändert durch Verordnung vom 12.11.1996 (BGBl I S. 1738)
- [TLS02] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2002 (TLS 2002). Bundesanstalt für Straßenwesen
- [UDU] Informatik, UNI Duisburg: Petri-Netze

- [WO00] WOLF, A. (2000): Analyse der im 1. Quartal 1998 im Rahmen des Probebetriebs von 13 Achslastwagen auf Bundesautobahnen in Hessen erfassten Achslasten und Einzelfahrzeugdaten im Hinblick auf straßenbautechnische Fragestellungen. BASt-AP-Projekt 98 341/S4, Februar 2000
- [WO011] WOLF, A. (2001): Zusammenhänge zwischen der Stärke des Schwerverkehrs, der Anzahl der Achsübergänge, der Lastmenge und der Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge im Jahr 2015. BMVBW Erlass S10/20.70.62/14 S 01 II vom 07.06.2001
- [WO012] WOLF, A. (2001): Einfluss einer Zunahme des Auslastungsgrades von Schwerverkehrsfahrzeugen auf die bemessungsrelevante Beanspruchung nach den RStO 01. BMVBW (mündlicher Auftrag vom 29.08.2001), September 2001
- [WO031] WOLF, A. (2003): Berechnungsverfahren für die Ermittlung der gewichteten äquivalenten 10-t-Achsübergänge in Abhängigkeit von der Anzahl der Fahrzeuge des Schwerverkehrs im Rahmen von Funktionsbauverträgen. Juli 2003
- [WO032] WOLF, A. (2003): Auswirkungen von Überladungen auf den Erhaltungsaufwand von Bundesfernstraßen. BMVBW Erlass S 28/20.40.80/56 Va 03 vom 15.08.2003
- [WO041] WOLF, A. (2004): Überprüfung und Modifikation eines Ansatzes zur Ermittlung einer Sondernutzungsgebühr für Schwertransporte. Auftrag der AG „Großraum- und Schwertransporte“ der LKS vom 27.07.2004 im Auftrag des BMVBW
- [WO042] WOLF, A. (2004): Selektion von unter § 70 der StVZO fallende Schwerverkehrsfahrzeuge aus an fünf BAB-Abschnitten in Hessen im 1. und 2. Quartal 1998 erfassten Einzelfahrzeugdaten. Landespolizeischule Berlin, 11.11.2003

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand – Untersuchungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn
Ullrich, Glaeser, Sander, Chudalla, Hasskelo, Löffler, Sievert € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen – Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“ € 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdehnungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphaltsschichten – Prüfung der Grundlagen zu ihrer Berechnung
Wolf, Schickl € 13,00
- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Straßenerhaltungsmanagement € 14,50
- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Standfestigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nöslcr, Straube
- Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von Gesteinskörnungen
Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 14,00
- S 21: Walzbceton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
- Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbceton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
- Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbceton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
- Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbceton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
- Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichtverlauf und Ebenheit von Walzbceton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung € 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungsplolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken € 13,50

2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System – € 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50

S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50

S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00

S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50

S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

2008

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.