

Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 167

bast

Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung

von

Karl Villaret
Stephan Villaret

Villaret Ingenieurgesellschaft mbH
Hoppegarten

Thorsten Kathmann

DTV-Verkehrsconsult GmbH
Aachen

Markus Oeser
Andreas Ückermann
Stephan Schröder

ISAC
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
Aachen

Axel Riwe

Ingenieurbüro Axel Riwe
Anklam

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 167

bast

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

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 04.0285
Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung

Fachbetreuung
Lutz Pinkofsky

Referat
Analyse und Entwicklung von Straßenoberbauten

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

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

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-650-4

Bergisch Gladbach, Dezember 2021

Kurzfassung – Abstract

Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung

Die Verkehrsbelastung ist einer der maßgebenden Einflussfaktoren für Straßenkonstruktionen. In diesem Bericht werden detaillierte und aktuelle Achslastverteilungen für die Dimensionierung von Straßenoberbauten zur Verfügung gestellt.

Grundlage sind Messdaten der Achslastwaagen im deutschen Autobahnnetz. Diese sind nicht flächendeckend vorhanden. Es wird eine Methode zur flächendeckenden Projektion der Achslastmessstellendaten vorgestellt, die die nahezu flächendeckend vorhandenen Daten der Dauerzählstellen nutzt.

Mit dieser Methode können bei vorhandenen Dauerzählstellendaten streckenspezifische Verkehrsbelastungskollektive in Form von B-Zahl und Achslastverteilungen bei semiprobabilistischer bzw. Achslastverteilungsfunktionen für probabilistische Dimensionierungs- und Substanzbewertungsverfahren bereitgestellt werden.

Des Weiteren werden repräsentative Achslastverteilungen für Autobahnen des Fern-, Misch- und Nahverkehrs sowie für Straßen des nachgeordneten Netzes vorgestellt.

- load-repetition and axle-load-distributions for semi-probabilistic or
- axle-load-distribution-functions for probabilistic

dimensioning and substance evaluation methods.

Furthermore, representative axle-load-distributions for highways of long-distance, mixed and local traffic as well as for roads of the subordinated network are presented.

Traffic Loads - Updating and adapting of input data for pavement design

Traffic loads are a decisive influencing factors for road structures. This report provides detailed and current axle-load-distributions for the design of road superstructures.

Basis are measurements from axle-load-scales within the German motorway network. These scales exist only at selected locations. To project the identified axle-load-distributions to the whole road network a method was developed, which utilizes the comprehensive data of continuous traffic-counting-stations.

With this method - existing continuous counting data given - route-specific traffic-load-collectives can be estimated in the form of:

Summary

Traffic Loads - Updating and adapting of input data for pavement design

1 Task

The utilisation of latest axle-load measurements to update the traffic load distributions and the unification of traffic load distributions for all regulations are requirements for further development of the regulations in Germany. It is required for comparability and uniform assessment of the dimensioning results that can be generated with the different methods within the German regulations.

Aim was to identify updated axle load distributions and factors for the German regulations based on axle-load data that was measured within the German Autobahn network. Furthermore a method to project these axle-load distributions for the Autobahn to the subordinated roads is to be developed. The axle load distributions obtained are used as uniform bases for determining the input values q_{Bm} , q_{Bb} , γ_{E2} , γ_{E3} and the axle load spectra for the regulations [RStO12], [RDO Asphalt 09], [RDO Beton 09] (and their revisions), [RSO Asphalt NEU] and [RSO Beton NEU].

2 Method

2.1 Adoption and evaluation of available axle load data

The BASt data were transferred in station-related axle load data for several years.

An individual technical implementation of the required process for data organization and data analysis was created in order to sort and summarize several hundred million axle load data for further evaluation.

Due to the large amount of data and the large number of characteristics to be distinguished, the data analysis was carried out in a combined system (Fig. 1) consisting of Pythonscript and the database structure, which consists of subtables generated according to fixed rules.

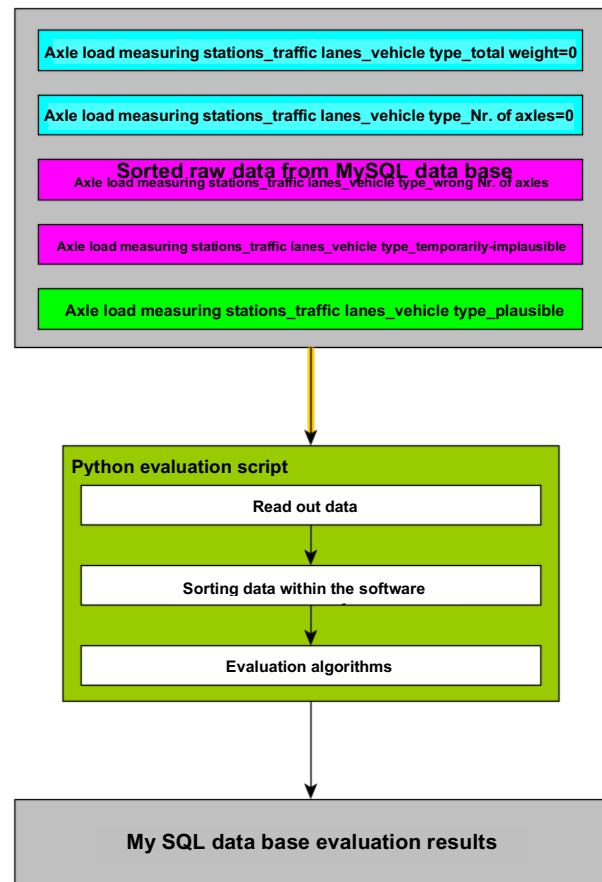


Figure 1: Technical program flow of the data analysis

2.2 Method for determining axle load distributions

The evaluation of the axle load data stored in the database initially provides site-related axle load distributions. These were created in the form of histogram values for 1t axle load classes in the value range up to 16t. Since the available data also contains the vehicle type according to [TLS 12] (very specific distinction of vehicles), it was possible to generate vehicle class (heavy traffic is divided in 4 classes) specific distributions.

It was examined whether these vehicle class specific axle load distributions are time- and location-dependent. It could be shown that it is largely independent of time. A location-dependent spreading of the distribution values was detected, but this apparently can be attributed to short-term effects.

It was also necessary to check whether the load status of the heavy traffic differs depending on the road category. The study of relevant statistics and the

questioning of relevant institutions led to the assessment that currently no information on the loading conditions in freight transport is available.

As a result of these investigations it could be determined that representative axle load distributions can be defined for the four vehicle classes of heavy traffic vehicles, which are valid with sufficient accuracy independent of time and location.

It can be shown that the composition of heavy traffic on any road section can be represented with sufficient accuracy by combining these vehicle classes. This makes it possible to obtain locally valid axle load distribution for a specific road section by combining the representative distribution functions for the four vehicle classes (Fig.2).



Figure 2: Determination of localized axle load distributions

In practice, only the counting of the vehicle types, combined with the assignment to the vehicle classes, is necessary. Alternatively there are many permanent traffic counting stations in Germany, that

record the number of vehicles of each 4 heavy traffic class.

To simplify the mathematical processing of the information contained in the distributions, axle load distribution functions were adapted to the found representative distributions. The adaptation was controlled by weighting the adaptation differences in such a way that a higher accuracy was achieved for the higher load classes (Fig.3).

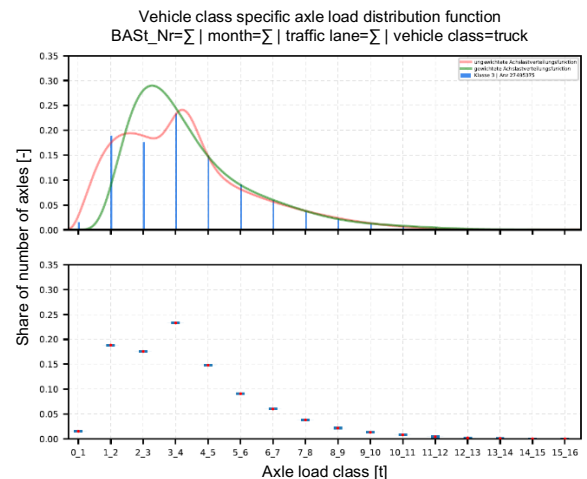


Figure 3: Average axle load distribution with identified weighted and unweighted distribution function – truck

The distribution functions determined in this way all have the same structure. They result as the sum of three logarithmic normal distributions, each weighted by a factor.

2.3 New calculation of dimensioning-relevant calculation parameters

The relevant regulations for dimensioning and assessment of structural performance contain parameters describing the traffic load. With the help of the data basis stored in the database and the derived distributions, it was possible to check or specify these values.

The axle load factor f_A can be determined directly from the data basis. The remaining parameters can be calculated using the histogram values or result as quantile values from the distribution function.

3 Results

Within the scope of this research work, a method was developed with which the axle load measurement data available at specific points can be projected onto the German road network utilising data from permanent traffic counting stations.

The method makes it possible to determine the distribution of axle loads for any road section, even in the subordinate network, using representative axle load distributions for the four vehicle classes of heavy traffic.

Within the research project this method was used to define representative axle load distributions for long-distance, mixed and local traffic on the German Autobahn.

In addition, it was also possible to derive a representative distribution for the axle loads of special transports on the German Autobahn from the database.

A recalculation of the traffic load-related parameter values within the valid dimensioning regulations essentially resulted in little to no changes. Only for the subordinated network there was a need for clarification in individual cases.

4 Conclusion for practice

With the newly developed methodology for determining locally valid axle load distributions, it is possible to record the traffic load realistically. This is an essential basis for a target-orientated dimensioning of the superstructure.

In practice, only the counting of the vehicle types is necessary. The local components of these vehicle classes result from their allocation to the vehicle classes of heavy traffic. By combining the axle load distributions of the vehicle classes given in this report accordingly, the locally valid axle load distribution for the entire traffic load spectrum can be obtained.

For the first time determining realistic axle load distributions for the subordinated network is possible.

The new defined distribution functions improve the mathematical basis for a further development of the dimensioning methods using probabilistic methods.

Literature

- [BAST, 2016] Automatische Zählstellen 2015, <http://www.bast.de>, Stand:19.12.2016
- [FITSCHEN, A., NORDMANN, H., 2014]: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 244, Bergisch Gladbach, Oktober 2014
- [HRDTV-Pro]: Programm zur Hochrechnung manueller Kurzzeitzählungen auf DTV, Analyse von Knotenstromzählungen, Anwenderhandbuch Version 1.2.4, Aachen, August 2016
- [KBA, 2015]: Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD), Inlandsverkehr Jahr 2014, VD 3, Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, 2015
- [VILLARET et al 2010] Villaret et al: Grundlagen zur Erfassung der Belastung für die analytische Dimensionierung von Straßenbefestigungen - Teil Betonstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1050, Bonn, 2010

Used Regulations

- [DWD] Richtlinie automatische Klimastationen für nebenamtliche Stationen und Partnernetze, Deutscher Wetterdienst, Ausgabe Februar 2001, überarbeitete Kurzfassung Mai 2010
- [RDO Asphalt 09] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, FGSV, Ausgabe 2009
- [RDO Beton 09] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Betondecke, FGSV, Ausgabe 2009
- [RStO 12], Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012, FGSV, Köln
- [TLS 12] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012, BMVBS, Berlin
- [ZTV Beton-StB 07], Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2007, FGSV, Köln

Inhalt

1	Aufgabenstellung.....	9	4.1.1	Methodik.....	46
1.1	Ziel	9	4.1.2	Ermittlung der repräsentativen Achslastverteilungen und Achsanzahlen für die Fahrzeugklassen LoA, Bus, LmA und Sat.....	47
2	Übernahme und Auswertung der verfügbaren Achslastdaten.....	10	4.1.3	Ermittlung der realen Achslastverteilungen der AMS	48
2.1	Übernahme der plausibilisierten Achslastdaten von der BAST.....	10	4.1.4	Ermittlung der berechneten Achslastverteilungen der AMS auf BAB..	50
2.1.1	Technische Umsetzung der Datenorganisation und der erweiterten Plausibilitätsprüfung	10	4.1.5	Vergleich von realen und berechneten Achslastverteilungen der AMS	51
2.1.2	Technische Umsetzung der Datenanalyse	14	4.1.6	Ableitung von Achslastverteilungen für BAB-Fern-, Misch- und stadtnahen Verkehr mit Daten der Dauerzählstellen BAB.....	51
2.2	Prüfung der Datenkontinuität.....	14	4.1.7	Vergleich der abgeleiteten Achslastverteilungen mit den Achslastverteilungen aus den RDO Asphalt	53
2.2.1	Erfassen zu betrachtender relevanter Messzeiträume sowie erfasster Fahrzeugtypen der einzelnen Stationen .	15	4.1.8	Fazit der Untersuchungen	54
2.2.2	Zusammenstellung der validen Achslastdaten.....	21	4.2	Achslastverteilungsfunktionen	55
2.3	Spektrum der Randbedingungen der Messstellen.....	21	4.2.1	Methodik.....	55
3	Methodik zur Ermittlung von Achslastkollektiven	22	4.2.2	Achslastverteilungsfunktionen der einzelnen Fahrzeugklassen.....	60
3.1	Datenausgangslage	22	4.2.3	Achslastverteilungsfunktionen für Fern-, Misch und Nahverkehr	63
3.2	Bestimmung flächendeckend repräsentativer Achslastverteilungen	23	4.3	Sonderfahrzeuge.....	66
3.3	Verwendung von Daten der Straßenverkehrszählung (SVZ).....	25	4.3.1	Rohachslastdaten der Sonderfahrzeuge	66
3.4	Abhängigkeiten der Achslastverteilungen .	25	4.3.2	Achslastverteilungsfunktion der Sonderfahrzeuge anhand selektierter Achslastdaten.....	68
3.4.1	Zeitabhängigkeit	26	5	Ermittlung von Fahrzeugklassenverteilungen für unterschiedliche Straßenkategorien und Randbedingungen	71
3.4.2	Ortsabhängigkeit	28	5.1	Datengrundlage.....	71
3.4.3	Fahrzeugklassenabhängigkeit	29	5.1.1	Automatische Dauerzählstellen	71
3.5	Fahrzeugklassenbezogene Abhängigkeiten	30	5.1.2	Daten des Verkehrsmonitorings Baden-Württemberg.....	72
3.5.1	Fahrzeugklassenbezogene Zeitabhängigkeit	30	5.2	Auswertung Verkehrskenngrößen.....	73
3.5.2	Fahrzeugklassen bezogene Ortsabhängigkeit	40	5.3	Auswertung Fahrzeugklassenverteilung....	78
3.6	Einfluss unterschiedlicher Straßenkategorien auf den Beladungszustand des Schwerverkehrs	45	6	Validierung des methodisches Ansatzes	97
4	Bestimmung der Achslastverteilungen und Achslast-verteilungsfunktionen	46	6.1	Untersuchung zur Stabilität der Eingangsgrößen.....	97
4.1	Achslastverteilungen.....	46			

6.2	Anwendung des Berechnungsverfahrens auf weitere Achslastmessstellennetze.....	99	8.2.5	Konstruktionsaufbauten	122
6.2.1	Umfrage zu weiteren Achslastmessstellen	99	8.2.6	Ergebnisse der Kalibrierrechnungen	124
6.2.2	Anwendung auf die AMS in der Schweiz	101	8.3	Einbindung in die bestehende RDO Beton	126
6.2.3	Anwendung auf die AMS HH-Köhlbrandbrücke	103	8.3.1	Ableitung der Lastkollektivquotienten q_{Bb} für die RDO Beton	126
6.2.4	Anwendung auf die AMS in Polen.....	104	8.3.2	Ableitung der Lastfaktoren γ_{E2}, γ_{E3} für die RDO Beton.....	126
6.2.5	Zusammenfassung für das über- und das nachgeordnete Netz	107	8.4	Einbindung in die neu zu erarbeitenden RDO und RSO Beton	128
6.2.6	Zusammenfassung und Fazit.....	110	8.4.1	Achslastverteilungsfunktionen für künftige Versionen der RDO und RSO Beton	128
7	Ableitung der belastungsabhängigen Eingangsgroßen.....	111	8.5	Erweiterung der auswertbaren Achslastverteilungen	129
7.1	Ableitung der Achszahlfaktoren.....	111	8.6	Bewertung der Dringlichkeit der Einarbeitung in RStO und RDO Beton.....	129
7.1.1	Methodik zur Bestimmung der Achszahlfaktoren f_A	111	9	Zusammenfassung und Fazit.....	130
7.1.2	Achszahlfaktor f_A für die unterschiedlichen Straßenklassen	111	Literatur	131	
7.2	Ableitung der Lastkollektivquotienten	113	Verwendete Regelwerke	131	
7.2.1	Methodik zur Bestimmung der Lastkollektivquotienten q_{Bm}	113	Tabellen.....	132	
7.2.2	Lastkollektivquotient q_{Bm} für die unterschiedlichen Straßenklassen; Berechnung nach den [RStO 12]	113	Bilder	134	
7.2.3	Vergleich zum Sicherheitsniveau in [RDO Asphalt 09]	115			
7.3	Fazit des Vergleiches der berechneten Achszahlfaktoren f_A und Lastkollektivquotienten q_{Bm} mit den Werten aus den [RStO 12]	116			
8	Einbettung in die Regelwerke	118			
8.1	Einbindung in die RStO.....	118			
8.2	Einbindung der dimensionierungsrelevanten Größen in die RDO und RSO Asphalt	118			
8.2.1	Kalibrierverfahren	118			
8.2.2	Klimatische Eingangsgroßen	119			
8.2.3	Verkehrliche Eingangsgroßen.....	120			
8.2.4	Materialkennwerte	120			
	Hauptkurve des Absoluten E-Moduls	120			
	Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht	121			
	Kälteverhalten der Asphalttragschicht	121			
	Weitere Materialeigenschaften.....	122			

1 Aufgabenstellung

1.1 Ziel

Ziel der Forschungsarbeit ist es, anhand von Achslastwägungen verfügbarer, valider Messstellen die Achslastverteilungen, die Achslastverteilungsfunktionen, sowie die Achszahlfaktoren f_A für die unterschiedlichen Messstellen zu identifizieren, diese soweit als möglich zusammenzufassen und daraus aktualisierte Eingangsgrößen zu bestimmen, die für die Dimensionierung erforderlich sind. Hierfür werden nach Evaluation der Messdaten und Aufnahme maßgeblicher Randbedingungen der einzelnen Messstellen jeweils die Achslastverteilung (Funktion) und der Achszahlfaktor f_A bestimmt. Im Folgenden wird geprüft, inwieweit sich die Achslastverteilungsfunktionen und die Achszahlfaktoren f_A für Bundesautobahnen zusammenfassen lassen und auf Bundes-, Land- sowie Kreisstraßen übertragen werden können.

So gewonnene Achslastverteilungen werden als einheitliche Basen zur Bestimmung der Eingangswerte q_{Bm} , q_{Bb} , γ_{E2} , γ_{E3} sowie der Achslastkollektive für die Regelwerke [RStO12], [RDO Asphalt 09], [RDO Beton 09] (und deren Überarbeitungen) sowie [RSO Asphalt NEU] und [RSO Beton NEU] genutzt.

Die Verwendung aktueller Messdaten zur Aktualisierung der Verkehrslasten sowie die Vereinheitlichung der Grundlage der Verkehrsbelastungsrechnung für alle Regelwerke bilden die Voraussetzung dafür, dass in der weiteren Regelwerksentwicklung die Vergleichbarkeit und die einheitliche Bewertung der Dimensionierungsergebnisse aller Regelwerke möglich werden. Somit ist die Bestimmung einer nachhaltigen und über den Nutzungszeitraum wirtschaftlichen Konstruktion für die jeweilige Straße gewährleistet, um einen wirtschaftlich akzeptablen Nutzungsausfall und somit einen optimalen Einsatz der öffentlichen Investitionen zu erreichen.

2 Übernahme und Auswertung der verfügbaren Achslastdaten

Nach Anfordern und Feststellen der verfügbaren Daten wurden zunächst alle Achslastmessstellen als valide Informationsquellen herangezogen. Die Eignung anhand der groben Merkmale, Art der Messwerte sowie der Messbereiche war für alle gegeben. Die Verfügbarkeit relevanter Daten sowie ausreichender Laufzeiten der einzelnen Messstationen waren augenscheinlich nicht immer gegeben. Eine Einzelauswertung bzw. auch Teilgruppenauswertung der einzelnen Stationen zur Diversifikation der in diesem Forschungsthema zu bestimmenden Zielgrößen war aufgrund der geringen Achslastmessstellenanzahl nicht zielführend. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, andere Methoden sowie Überlegungen zur Lösung der Problematik zur Anwendung zu bringen.

Die Datenübergabe der BAST erfolgte in stationsbezogenen Dateien, die jeweils die Achslastwägungen eines Kalendermonats umfassen. Die Daten waren von der BAST vorplausibilisiert, sodass Monate mit komplett unbrauchbaren Messergebnissen bereits aussortiert und nicht an die Forschungsnehmer übergeben worden sind.

In diesem Kapitel wird aufgezeigt wie die vorliegenden Daten strukturiert sind, zwischen welchen Datensatzqualitäten aus Sicht des Forschungsnehmers unterschieden wird und in welchem Umfang in den jeweiligen Zeiträumen Daten vorliegen.

2.1 Übernahme der plausibilisierten Achslastdaten von der BAST

Die Achslastmessstellendaten liegen in einer einzelfahrzeuggenauen Auflösung inklusive aller jeweils zugehörigen Achslasten vor. Aufgelöst nach Fahrstreifen werden erfasst: Tageskennung, Datensatzkennung, Datum, Uhrzeit, Fahrzeugtyp gemäß [TLS 12] (im weiteren Bericht: Fahrzeugtyp), Fahrzeuglänge, Fahrzeugabstand, Gesamtgewicht, Überladungskennung, Achsanzahl sowie für jede erfasste Achse jeweils Achstyp, Achslast und Achsabstand.

Die gelieferten Messwerte umfassen Daten von 21 Messstationen der letzten 10 Jahre. Diese erfassen bzw. erfassen teilweise die Hauptfahrstreifen beider Richtungsfahrbahnen, sodass Daten von 33

richtungsbezogenen Messstationen vorliegen. Die sich ergebende Datengrundlage führt zu sehr großen Datenmengen, die sich nicht zuverlässig in einer ‚einfachen Vorprüfung‘ bewerten lassen, um erste Schlüsse zu ziehen.

Aus diesem Grund wurde eine individuelle technische Umsetzung des benötigten Prozesses zur Datenorganisation und Datenanalyse geschaffen, um mehrere Hundertmillionen Achslastdatensätze für die weitere Auswertung zu sortieren und zusammenzufassen.

2.1.1 Technische Umsetzung der Datenorganisation und der erweiterten Plausibilitätsprüfung

<u>Datensätze der Achslastmessstellen</u>
Tageskennung
Datensatzkennung
Datum
Uhrzeit
Fahrstreifen
Fahrzeugtyp
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand
Gesamtgewicht des Fahrzeugs
Überladungskennung
Achsanzahl
Achstyp 1...x
Achslast 1...x
Achsabstand 1...x

Bild 2-1: Form der Datensätze der Achslastmessstellen

Im Laufe der Bearbeitung ist es notwendig, die Achslastdaten auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus abzuspeichern, um immer wieder darauf zugreifen zu können. Dabei wird es immer wieder notwendig, auf die vollständigen Rohdaten (Achslastwägungen der einzelnen Fahrzeuge) zurückzugreifen. Aufgrund der großen Datenmenge sollte dies möglichst flexibel erfolgen können, ohne jedes Mal den gesamten Datensatz durchsuchen zu müssen. Zu diesem Zweck werden die Daten in einem

ersten Schritt automatisiert über eine programmierte Schnittstelle in eine Datenbank geschrieben. In Bild 2-1 sind die in einem Achslastdatensatz enthaltenen Informationen aufgeführt. Die Daten werden während des Einleseprozesses nach Achslastwaage, Fahrstreifen, Fahrzeugtyp sowie Informationsgehalt gruppiert. Für jede Achslastwaagen-Fahrstreifen-Fahrzeugtyp-Informationen-Kombination wird eine eigene Tabelle angelegt, der die betreffenden Achslastdatensätze zugeordnet werden.

Die in Bild 2-1 orange markierten Informationen bestimmen somit die Bezeichnung der einzelnen Tabellen und die grün markierten Informationen werden diesen Tabellen als Datensätze zugeordnet. Diese Aufteilung reduziert zum einen den Speicherbedarf und zum anderen den numerischen Aufwand sowie den Arbeitsspeicherbedarf beim Abfragen der Daten, da die Daten bereits in logischen Gruppen strukturiert sind und beliebig wieder zusammengesetzt werden können. Die Struktur des Zuordnungssystems ist in Bild 2-2 erfasst.

Das orange Feld stellt den jeweiligen Tabellentitel, die grünen Felder den jeweiligen Tabelleninhalt dar.

Je nach Datenlage und entsprechend der Anzahl von Informationsgehaltszuständen eines Datensatzes, welche zu definieren sind, entstehen bei diesem Vorgehen eine Vielzahl an Tabellen.

Achslastmessstellen_Fahrstreifen_Fahrzeugtyp_Informationsgehalt
Zeitpunkt
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand
Gesamtgewicht des Fahrzeugs
Überlagerungskennung
Achszahl
Achstyp 1...x
Achslast 1...x
Achsabstand 1...x

Bild 2-2: Systematik zur Organisationsstruktur der Achslastdaten

Im Folgenden wurden 5 mögliche Informationsgehalte eines Datensatzes formuliert, deren jeweilige allgemeine Tabellenstruktur in der Datenbank Bild 2-4, Bild 2-5, Bild 2-6, Bild 2-7 und Bild 2-8 zu entnehmen ist.

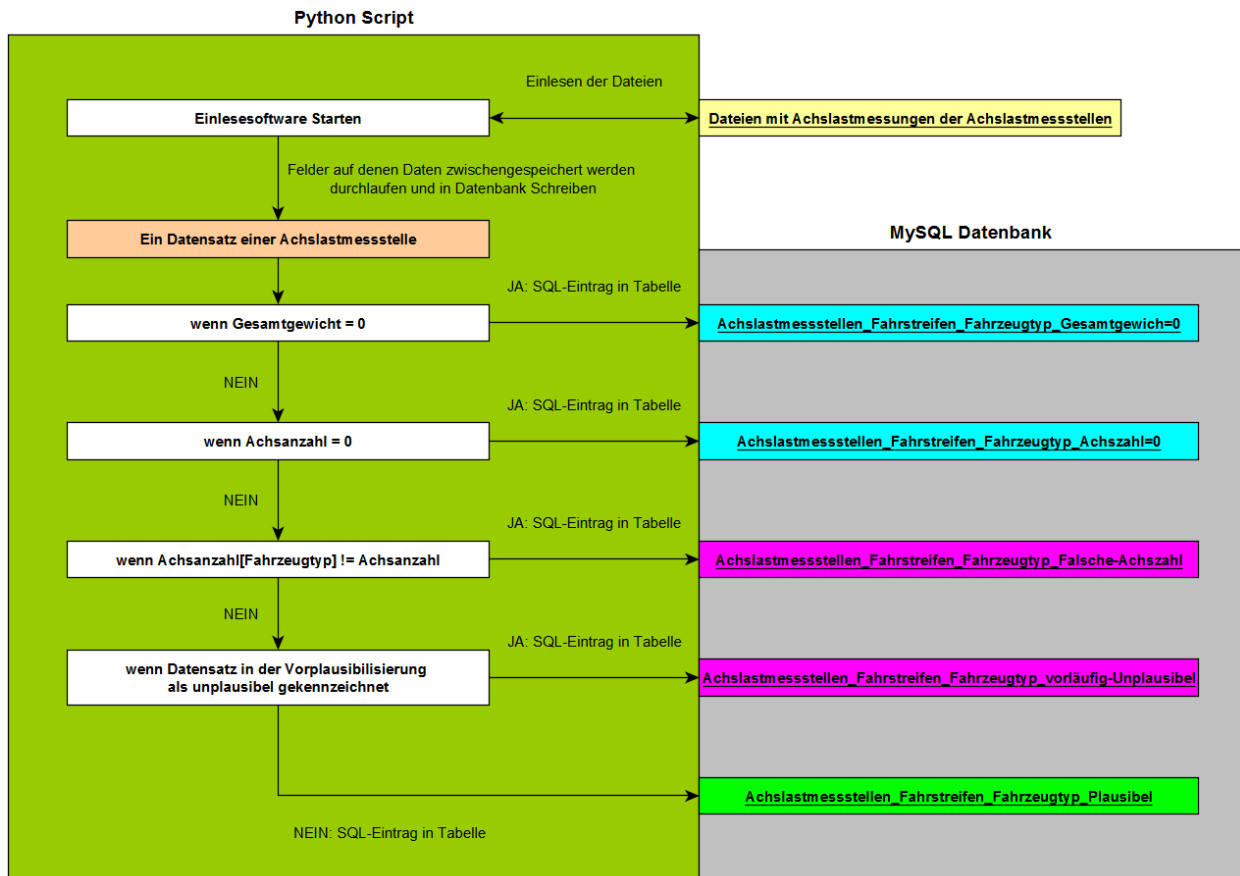


Bild 2-3: Einleseprozess der Achslastdaten in das Datenbanksystem

Hierbei ist zu beachten, dass jeder Datensatz nur genau einmal in der Datenbank vertreten ist. Dies wird durch die Priorisierung der Zuordnung von Datensätzen zu den einzelnen Tabellen entsprechend des in Bild 2-3 dargestellten Prozesses sichergestellt. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die so strukturierten Daten entsprechend der jeweiligen Fragestellung zusammenzustellen und zu analysieren. Diese Einteilung trennt die Daten auch in:

- direkt auswertbare Daten mit eingeschränktem Informationsgehalt (mit reinem Zählcharakter), da keine Gewichte erfasst wurden (Bild 2-4, Bild 2-5)
- zu überprüfende Daten mit im weiteren Verlauf zu untersuchendem Informationsgehalt, da sie falsche Fahrzeugtyp – Achsanzahl-Kombinationen aufweisen oder noch nicht weiter spezifizierte Unplausibilitäten aufweisen (Bild 2-6, Bild 2-7)
- direkt verwendbare Daten mit vollem Informationsgehalt (Bild 2-8).

<u>Achslastmessstellen_Fahrstreifen_Fahrzeugtyp_Gesamtgewicht=0</u>
Zeitpunkt
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand

Bild 2-4: Abgelegte Informationen von Datensätzen mit einem erfassten Gesamtgewicht von Null

<u>Achslastmessstellen_Fahrstreifen_Fahrzeugtyp_Achszahl=0</u>
Zeitpunkt
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand
Gesamtgewicht des Fahrzeugs

Bild 2-5: Abgelegte Informationen von Datensätzen mit einer erfassten Achszahl von Null

<u>Achslastmessstellen_Fahrstreifen_Fahrzeugtyp_Falsche-Achszahl</u>
Zeitpunkt
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand
Gesamtgewicht des Fahrzeugs
Überlagungskennung
Achszahl
Achstyp 1...x
Achslast 1...x
Achsabstand 1...x

Bild 2-6: Abgelegte Informationen von Datensätzen mit unplausibler Fahrzeugtyp – Achsanzahl-Kombination

<u>Achslastmessstellen_Fahrstreifen_Fahrzeugtyp_vorläufig-Unplausibel</u>
Zeitpunkt
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand
Gesamtgewicht des Fahrzeugs
Überlagungskennung
Achszahl
Achstyp 1...x
Achslast 1...x
Achsabstand 1...x

Bild 2-7: Abgelegte Informationen von Datensätzen, die in der Vorplausibilisierung als unplausibel gekennzeichnet und nicht den Kategorien in Bild 2-4 / Bild 2-5 / Bild 2-6 zugeordnet wurden

<u>Achslastmessstellen_Fahrstreifen_Fahrzeugtyp_Plausibel</u>
Zeitpunkt
Fahrzeuglänge
Fahrzeugabstand
Gesamtgewicht des Fahrzeugs
Überlagungskennung
Achszahl
Achstyp 1...x
Achslast 1...x
Achsabstand 1...x

Bild 2-8: Abgelegte Informationen von plausiblen Datensätzen

Die Erarbeitung dieser Einlesesystematik und der zugehörigen Softwareskripte zum wiederholbaren

automatisierten Einlesen wird im weiteren Projektverlauf benötigt, um ggf. eine weitere Auflösung und Zuordnung der Daten zu ermöglichen.

Die weitere Analyse, um insbesondere die in Bild 2-6 und Bild 2-7 erfassten Daten zu den plausibilisierten Daten zuordnen zu können, ist sehr aufwendig

und fehleranfällig. Aus diesem Grund werden die Daten im weiteren Verlauf getrennt nach den ausgewählten Informationsgehaltgruppen (Bild 2-9) ausgewertet, um die Notwendigkeit und den Nutzen der nachträglichen Plausibilisierung der Daten der einzelnen Fahrzeugtypen zu prüfen.

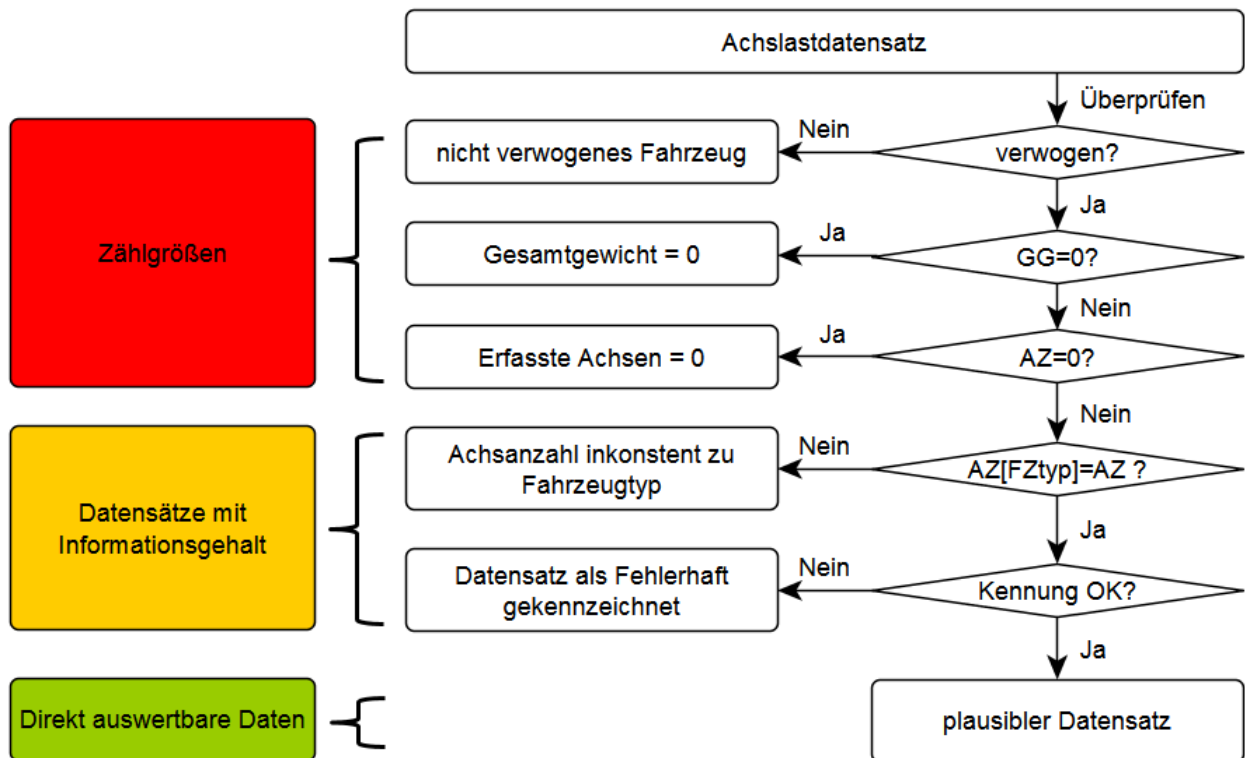


Bild 2-9: Unterschiedlicher Informationsgehalt der sortierten Daten

2.1.2 Technische Umsetzung der Datenanalyse

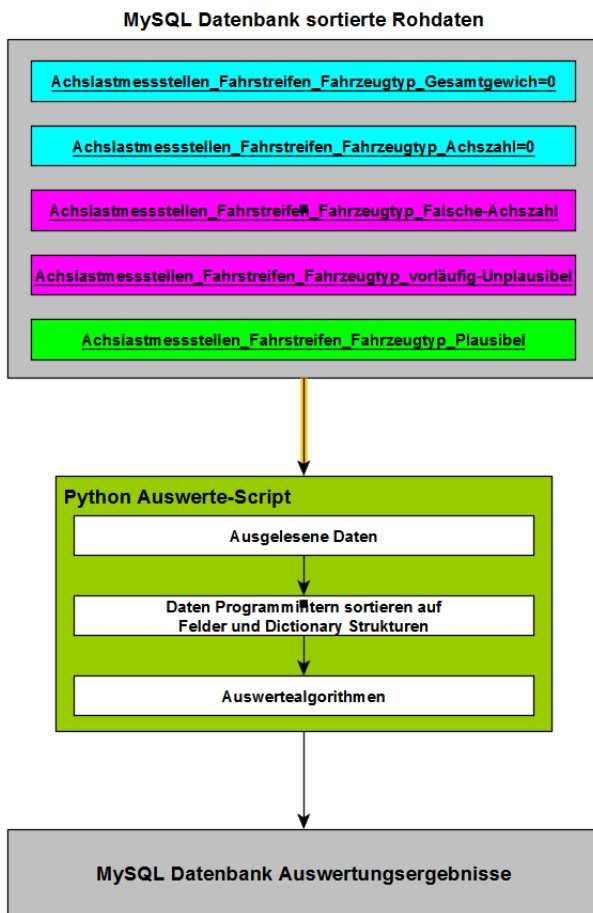


Bild 2-10: Programmtechnischer Ablauf der Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolgt aufgrund der umfangreichen Datenmenge und der Vielzahl an zu unterscheidenden Merkmalen in einem kombinierten System (Bild 2-10) aus Pythonscript und der bereits erörterten Datenbankstruktur, die aus nach festen Regeln erzeugten Untertabellen besteht.

Die gesamte Datenorganisation und –speicherung erfolgt innerhalb des Datenbanksystems. Dieses wird über das Script angesteuert, um die benötigten

Daten automatisiert auszulesen. Die Ergebnisse werden nach erfolgter Analyse in einer Auswertedatenbank gespeichert.

Der Auswertungen mehrerer hundert Millionen Achslastdatensätze geht zunächst eine Bündelung der Daten zu differenzierten Achslasthistogrammen voran.

Hierbei wurden die Achslastdatensätze gruppiert und ohne relevanten Informationsverlust zu Histogrammen zusammengefasst. Jedes dieser 52.266 Histogramme beschreibt die Achslastverteilung eines Fahrzeugtyps auf einem Fahrstreifen einer Achslastmessstation in einem Monat des Messzeitraums.

2.2 Prüfung der Datenkontinuität

Die erweiterte Prüfung der Datenkontinuität (auch Datendurchgängigkeit) greift bereits auf das geschaffene Datenbank-Software-System zurück. Es wurde eine Tabelle aufgestellt, die jeder erfassten Kombination aus:

- Achslastmessstation,
- Erfasstem Fahrstreifen und
- Fahrzeugtyp

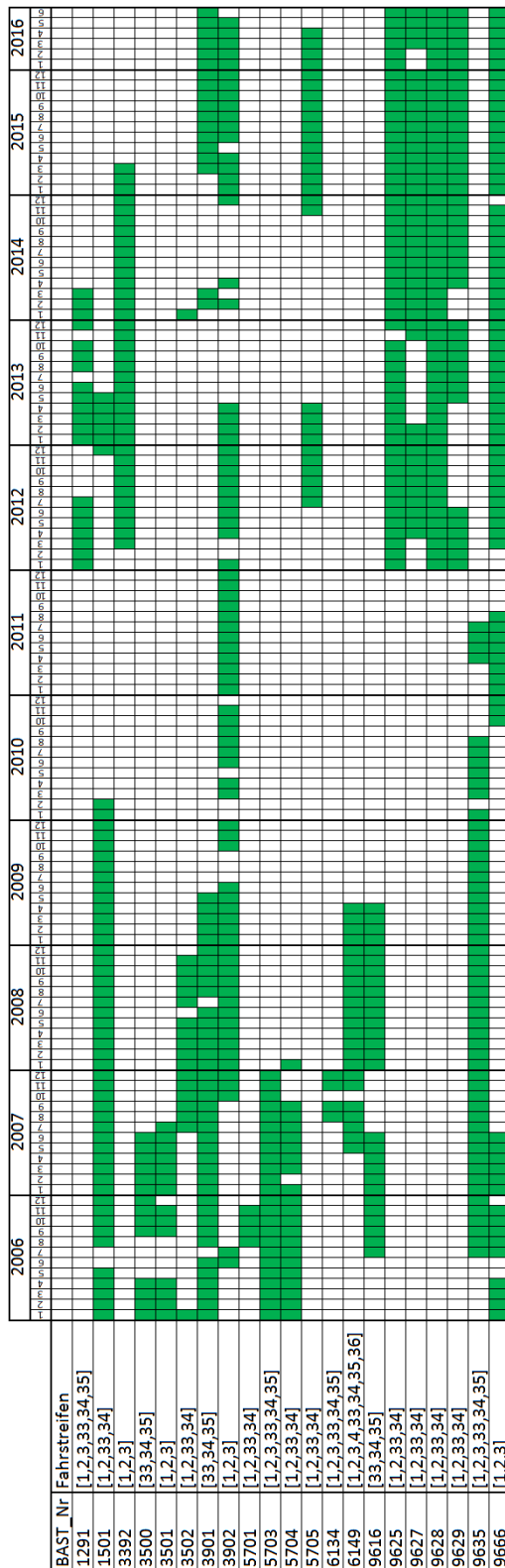
monatsweise die summierten Anzahlen erfasster Fahrzeuge zuordnet. Diese Anzahlen sind in die im Kapitel 2.1.1 erörterten Informationsgehaltskategorien aufgeteilt.

Die Auswertung der Summentabellen (siehe exemplarisch Tab. 2-1) gibt in Kapitel 2.2.1 Aufschluss über die Kontinuität der an den Achslastmessstationen vorhandenen Daten, über den betrachteten Zeitraum und die erfassten Fahrzeugtypen nach [TLS 12].

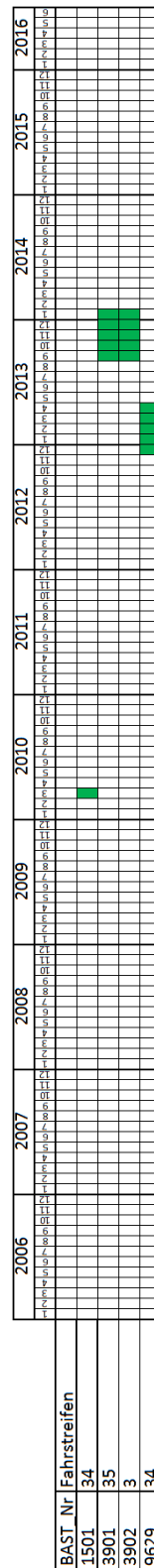
Achslastwaage_ID	BAStNr	Monat	Fahrstreifen	FZ_Typ	Anzahl_GesGewicht_0	Anzahl_AchsZ_0	Anzahl_AchsZ_Falsch	Anzahl_undef_unplausibel	Anzahl_plausibel
1	1501	601	1	34	0	0	0	10	1751
1	1501	601	1	3	0	0	0	0	2138

Tab. 2-1: Umsetzung einer Summentabelle der erfassten Fahrzeuge im Datenbanksystem

2.2.1 Erfassen zu betrachtender relevanter Messzeiträume sowie erfasster Fahrzeugtypen der einzelnen Stationen



Tab. 2-2: Darstellung der Zeiträume, in denen für die einzelnen Achslastmessstellen Daten über alle erfassten Haupt- und Überholfahrstreifen (HFS = 1,33 und ÜFS=2, 3, 34, 35) aufgeschlüsselt nach Richtungsfahrbahnen (RF1=1,2,3 und RF2=33,34,35) vorliegen



Tab. 2-3: Darstellung der Zeiträume, in denen für die einzelnen Achslastmessstellen Daten über einzelne Fahrstreifen vorliegen

In Tab. 2-2 sind die von den Achslastmessdaten abgeleiteten Zeiträume, in denen Daten über alle erfassten Fahrstreifen vorliegen, dargestellt. Die in Tab. 2-3 dargestellten Daten liegen nur für einzelne Fahrstreifen der jeweiligen Achslastmessstelle in den markierten Zeiträumen vor.

Die statistisch geringe Anzahl an Achslastwaagen, die teilweise geringe Laufzeit sowie der zeitliche Versatz in den Betriebszeiträumen lassen eine verlässliche, fundiert begründbare Festlegung relevanter Messzeiträume nicht ohne weiteres zu. Einige der erfassten Monate beinhalten für weniger als 10 Tage valide Daten, sodass, bei einer monats-scharfen Auftrennung der Daten und Bewertung dieser, jene Monate nur bedingt verwendbar sind.

Eine Aufstellung der Fahrstreifen, deren Verkehr ausschließlich gezählt wurde, ist in Tab. 2-4 gegeben. Wie zu erkennen ist handelt sich hierbei nur um Überhohlfahrstreifen, die für die weiteren Untersuchungen nicht relevant sind, da die Achslastverteilungen nur für den dimensionierungsrelevanten Hauptfahrstreifen benötigt werden.

Die Fahrstreifen deren Verkehr verworfen wurde, sind mit den absolut gezählten Fahrzeuganzahlen sowie den Teilmengen, die sich aus der Systematik des Kapitels 2.1 ergeben, in Tab. 2-5 aufgeführt. Hierbei sind die Teilmengen „Gesamtgewicht=0“ und „Achszahl=0“ ebenfalls als reine Zähl-daten zu verwenden.

In Tab. 2-6, Tab. 2-7 und Tab. 2-8 sind die an den Achslastmessstationen erfassten Fahrzeugtypen nach [TLS 2012] dargestellt. Die im jeweiligen Fahrstreifen erfassten Fahrzeugtypen ergeben sich aus der Superposition der Zeilen einer Achslastmessstation, in denen der jeweilige Fahrstreifen mit in der 2. Spalte aufgeführt ist. Diese Darstellung gibt ebenfalls Aufschluss über die Art der Achslastwaage, die im jeweiligen Fahrstreifen zum Erfassen der Daten genutzt wurde. Umfasst ein Fahrstreifen nur Fahrzeugtypen mit den Nummern 0-6 und 202-211, handelt es sich um reine Zähl-daten. Fahrstreifen mit anderen erfassten Fahrzeugtypen sind mit einer Achslastwaage ausgestattet, da diese nur auf diese Weise erfasst werden können. Aus Tab. 2-6, Tab. 2-7 und Tab. 2-8 wird ersichtlich, dass alle Achslastmessstationen die wesentlichen Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs erfassen.

BAST_Nr	Fahrstreifen	gezählte Fahrzeuge
1291	3	7121947
1291	35	3119036
1501	2	801596
1501	34	748173
3392	3	10196722
3500	34	334720
3500	35	24228
3501	2	274724
3501	3	20945
3502	2	194020
3502	34	136726
3901	35	3671849
3902	2	8107758
3902	3	2474620
5701	2	19080
5701	34	20268
5703	3	40712
5703	35	47562
5704	2	22002
5704	34	52666
5705	2	4903866
5705	34	5340847
6134	2	1356765
6134	3	800828
6134	34	1309207
6134	35	822595
6149	4	6977736
6149	35	10646012
6149	36	6928226
9625	2	6717502
9625	34	5599975
9616	35	207130
9627	2	17210449
9627	34	17252278
9628	2	11264488
9628	34	10510602
9629	2	10425427
9629	34	12260238
9635	3	194208
9635	35	185918
9666	3	257242

Tab. 2-4: Aufstellung der gezählten Fahrstreifen der jeweiligen Achslastmessstation

BAST_Nr	Fahrstreifen	gezählte Fahrzeuge	Teilmengen der Gezählten Fahrzeuge				
			Gesamtgewicht =0	Achsanzahl =0	Fahrzeugtyp - Achsanzahl Unplausibel	ungeklärt Unplausibel	Plausibel
1291	1	10120197	6521413	0	1191874	1069787	1337123
1291	2	5733258	4638088	0	434797	270466	389907
1291	33	9528635	5923574	0	2079177	1076277	449607
1291	34	7242655	5087123	1	767565	976018	411948
1501	1	4382962	774067	3	278	57552	3551062
1501	33	3660710	1325677	0	0	386751	1948282
3392	1	16938619	4	5222524	911222	667079	10137790
3392	2	17865859	2	13270280	939140	284683	3371754
3500	33	2178717	0	0	0	401735	1776982
3501	1	2133529	1	0	0	146099	1987429
3502	1	2203065	65259	0	36	656579	1481191
3502	33	1475595	73149	1	35	238249	1164161
3901	33	10230729	3568950	0	444354	512714	5704711
3901	34	5882291	5426946	0	0	142864	312481
3902	1	14800728	4041000	0	574020	634203	9551505
5701	1	248050	0	0	0	248050	0
5701	33	282809	0	0	0	88951	193858
5703	1	3541045	0	0	0	1831489	1709556
5703	2	678313	0	0	0	60014	618299
5703	33	3132988	0	0	0	3132988	0
5703	34	797222	0	0	0	362679	434543
5704	1	2233833	0	1	0	390259	1843573
5704	33	1734568	0	1	0	985402	749165
5705	1	12855071	118746	8316931	806810	872025	2740559
5705	33	13917941	808443	8240572	1247404	1888402	1733120
6134	1	477732	0	0	31922	290537	155273
6134	33	466162	0	0	42614	104438	319110
6149	1	3528720	0	0	176619	1559078	1793023
6149	2	478328	0	0	51837	122210	304281
6149	3	11080495	11080493	0	2	0	0
6149	33	3474786	0	0	214762	773250	2486774
6149	34	489087	0	0	71812	108416	308859
9616	33	2938572	0	0	0	860322	2078250
9616	34	405571	0	0	0	77609	327962
9625	1	13356680	7991521	1180	607641	505158	4251180
9625	33	14202082	8951650	1427	569717	1049155	3630133
9627	1	17816828	7699707	1622	2029893	3619307	4466299
9627	33	19361289	8299574	1049	1090611	4135810	5834245
9628	1	17081140	7886770	1328	958695	2439400	5794947
9628	33	21308606	10303714	1649	1035305	5584440	4383498
9629	1	18896221	11161955	3067	890255	823721	6017223
9629	33	20232799	12072982	3016	1344860	4063469	2748472
9635	1	4883668	0	0	0	2723183	2160485
9635	2	476844	0	0	0	150456	326388
9635	33	5646350	0	0	0	1031220	4615130
9635	34	627248	0	0	0	98242	529006
9666	1	9572571	0	0	0	1157910	8414661
9666	2	1166132	0	0	0	121682	1044450

Tab. 2-5: Aufstellung der verwogenen Fahrstreifen der jeweiligen Achslastmesstation

2.2.2 Zusammenstellung der validen Achslastdaten

Im Zuge der Überprüfung zur Verwendbarkeit der Messdaten erfolgte eine Zusammenstellung der validen Achslastdaten.

Die in Kapitel 2.1 bereits erörterte Datengrundlage unterteilt sich in drei Informationsgehaltsklassen:

- reine Zählraten,
- definiert und undefiniert unplausible Datensätze an Achslastwägungen, die ggf. plausibilisiert werden können und
- plausible Achslastwägungen die verwendet werden können.

Teile der unplausiblen Daten unterliegen einem systematischen Fehler, wie der falschen Zuordnung des Fahrzeugtyps im Widerspruch zur erfassten Achsanzahl. Systematische Fehler können je nach Komplexität des selbigen ggf. korrigiert werden, sodass diese Daten plausibilisiert werden können, sollten mit den anderen Daten keine nachvollziehbaren Ergebnisse erzeugt werden können.

Die Menge der Daten schließt ein händisches Vorgehen weitestgehend aus, da die Nachvollziehbarkeit, Reproduzierbarkeit und ggf. spätere Anpassung der Plausibilisierung notwendig ist. Dies erfordert einen großen Aufwand bei abzusichernder Fehleranfälligkeit.

Die im weiteren Verlauf des Forschungsthemas verwendete Methodik ermöglichte die Betrachtung der Achslastdaten aller Achslastmessstationen als ein Kollektiv, sodass eine ausschließliche Verwendung der plausiblen Achslastwägungen ermöglicht wurde.

2.3 Spektrum der Randbedingungen der Messstellen

Die Zusammenstellung unterschiedlicher Randbedingungen der Messstellen hinsichtlich des Standortes umfasst eine Lagebestimmung und Einordnung der Lage beispielsweise nach ortsnahem und Überlandverkehr. Die Lage in der Fahrbahn soll neben den im Kapitel 2.2.1 aufbereiteten Informationen (Achslastmessstation-Fahrestreifen bezogener Informationsgehalt der Daten) auch Aufschluss über den ggf. ablesbaren Einfluss der Streckenführung im Bereich der Achslastmessstation geben.

Anhand dieser Untersuchungen sollen repräsentative, randparameterbezogene Achslastkollektive erarbeitet werden, die auf das gesamte Netz projiziert werden können.

Mit der vorhandenen Datengrundlage:

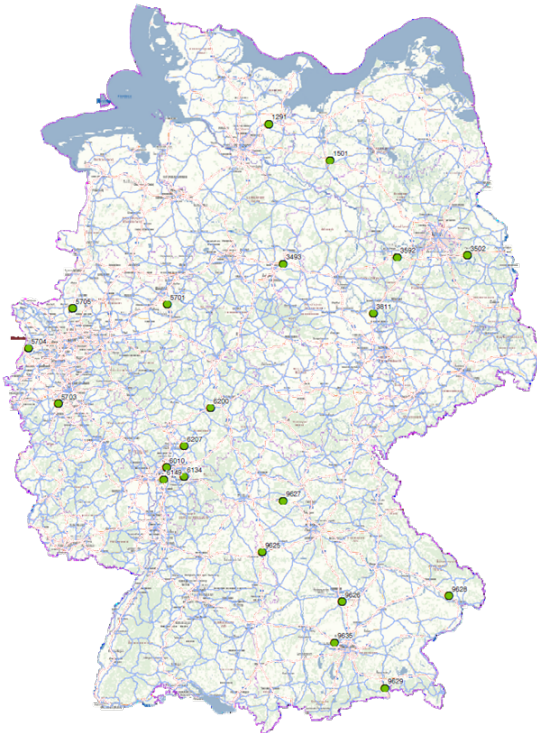
- statistisch wenige Achslastmessstationen,
- keine im urbanen Raum sowie
- unregelmäßig verwertbare Messzeiträume

ist dies nicht mit einer stationsbezogenen Herangehensweise möglich.

Eine Methodik, die nicht auf die Randbedingungen der Achslastmessstationen zurückgreift, um die zu ermittelnden Achslastkollektive auf das gesamte Autobahnnetz (und im weiteren Verlauf auf die nachgeordneten Netze) zu übertragen, wird im Kapitel 3 erörtert und in Kapitel 4 umgesetzt.

3 Methodik zur Ermittlung von Achslastkollektiven

Ziel ist die Entwicklung einer Methodik zur Bereitstellung von flächendeckenden repräsentativen Achslastverteilungen.

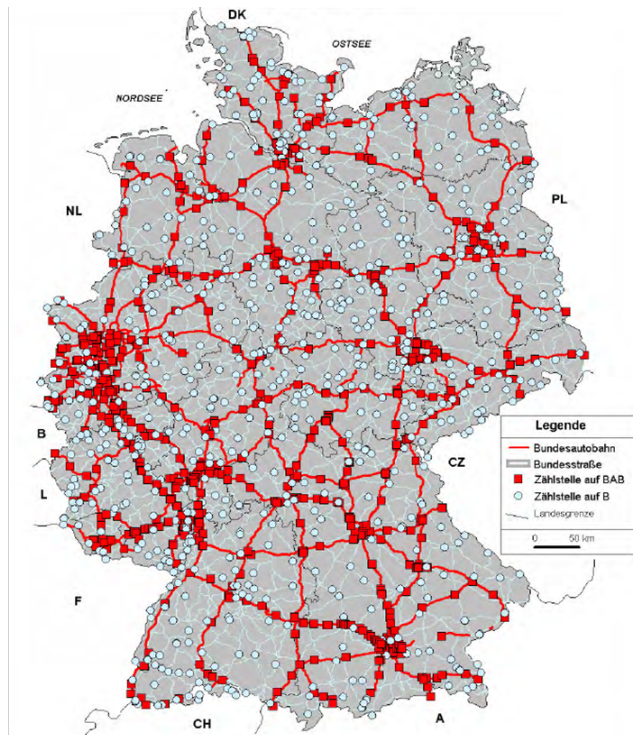


Achslastmessstellen

- nicht flächendeckend
- nicht im nachgeordneten Netz
- nicht über den gesamten Zeitraum
- detaillierte Daten
- Achslastdaten erfasst

3.1 Datenausgangslage

Hierfür stehen die Messdaten der Achslastmessstellen (AMS) sowie die Zähldaten der Dauerzählstellen (DZ) zur Verfügung. In Bild 3-1 sind Attribute der Daten der Achslastmessstellen sowie der Dauerzählstellen aufgeführt. Die Achslastmessstellen erfassen die für die Bestimmung von Achslastverteilungen notwendigen Achslasten der erfassten Fahrzeuge sowie weitere einzelfahrzeugbezogene detaillierte Daten.



Dauerzählstellen

- nahezu flächendeckend
- im nachgeordneten Netz
- über den gesamten Zeitraum
- generalisierte bzw. summierte Daten
- Zählung nach Fahrzeugklassen

Bild 3-1: Achslastmessstellen [FITSCHEN 2016] und Dauerzählstellennetz [FITSCHEN/NORDMANN 2014] in Deutschland mit zugehörigen Datencharakteristika

Die verhältnismäßig geringe Anzahl an Achslastmessstellen verhindert jedoch die ausschließliche Verwendung von Daten der Achslastmessstellen zur Erstellung differenzierter, flächendeckender, repräsentativer Achslastverteilungen.

Die Daten der Dauerzählstellen hingegen liegen in ausreichendem Umfang vor, um eine netzweite Repräsentation des Verkehrs abzuleiten. Jedoch lie-

fern die Daten der Dauerzählstellen keine Achslasten, die für die Bildung von Achslastverteilungen benötigt werden.

Im Folgenden werden die Methodik der Projektion und ihre Genauigkeitsgrenzen beschrieben. Im Anschluss wird die Orts- und Zeitabhängigkeit der Achslastmessstellendaten betrachtet, um die Notwendigkeit der Verwendung der Dauerzählstellendaten zur Projektion der Achslastmessstellendaten auf das gesamte Netz zu erörtern.

Alle weiteren Auswertungen der Achslastdaten erfolgten für die Daten des erfassten Schwerverkehrs auf den Hauptfahrstreifen. Dies ist notwendig, da die Dimensionierungs- und Substanzbewertungsverfahren ausschließlich den Hauptfahrstreifen betrachten, da dieser der am stärksten belastete Teil des Straßenkörpers ist. Die Verkehrsanteile, die nicht dem Schwerverkehr zugeordnet werden, sind von untergeordneter Bedeutung, da sie trotz ihrer hohen Anzahl sehr geringe Verkehrslasten in die Straßenkonstruktion einbringen und somit im Vergleich zum Schwerverkehr verschwindend geringe Schädigungen in der Konstruktion hervorrufen.

3.2 Bestimmung flächendeckend repräsentativer Achslastverteilungen

Zur Verknüpfung der Informationen der Achslastmessstationen mit den flächendeckend vorhandenen Dauerzählstellen muss zunächst die Schnittmenge der erfassten Daten beschrieben werden, um eine Projektion der Achslastverteilungen auf das gesamte Netz zu ermöglichen. Dauerzählstellen erfassen das Verkehrskollektiv in 8 Fahrzeugklassen plus Sonderfahrzeuge (8+1 Fahrzeugklassen [TLS 12]) und liefern stündlich summierte Fahrzeuganzahlen der 8+1 Fahrzeugklassen.

Die Achslastmessstationen erfassen die Fahrzeuge einzeln und ordnen Sie Ihrem Fahrzeugtyp gemäß [TLS 12] zu. Die Kategorisierung nach Fahrzeugtypen nach [TLS 12] ist deutlich detaillierter als die 8+1 Fahrzeugklassen der Dauerzählstellen nach [TLS 12].

Der für die Dimensionierung und Substanzbewertung relevante Schwerverkehr wird von den Dauerzählstellen in 4+1 Fahrzeugklassen erfasst:

- Bus (Abkürzung: Bus)
- Lastkraftwagen mit Anhänger (Abkürzung: LmA)
- Lastkraftwagen ohne Anhänger (Abkürzung: LoA)
- Sattelzüge (Abkürzung: Sat)
- Sonderfahrzeuge (Abkürzung: Sonder).

Anteil der Fahrzeugklasse objektspezifisch

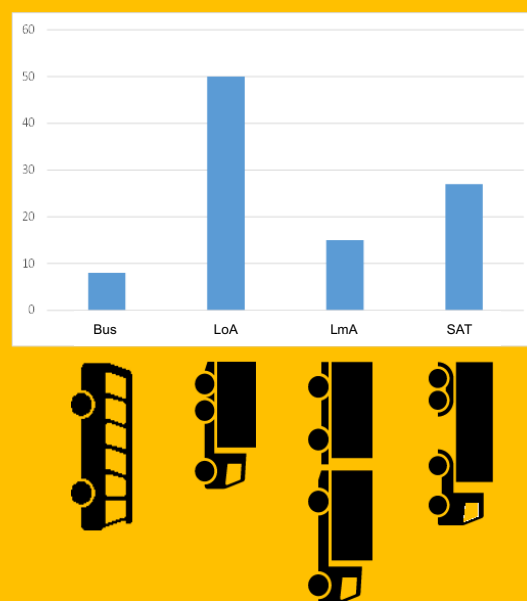


Bild 3-2: Fahrzeugklassenanteile des von Dauerzählstellen erfassten Verkehrskollektivs (aufgrund des geringen und streckenspezifischen Anteils ohne Sonderfahrzeuge)

Jeder der Fahrzeugtypen der Achslastmessstationen ist einer der 8+1 Fahrzeugklasse zuordenbar, sodass eine Auswertung der Achslastdaten auch bezogen auf die Fahrzeugklassen erfolgen kann. Dies erfordert eine entsprechende Summierung der Daten der Achslastmessstationen. Der vorgehensbedingte Informationsverlust ist zur Sicherstellung der Übertragbarkeit der Achslastverteilungen auf die Dauerzählstellen notwendig, da diese als Flächendatenlieferanten die Datengenauigkeit vorgeben.

Die Analyse der Achslastdaten führt zu vier fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen des Schwerverkehrs (Bild 3-3) sowie einer Achslastverteilung für Sonderfahrzeuge, die für das gesamte Netz oder für Teilnetze gültig sind. Eine tiefere Auflösung des Verkehrskollektivs in mehr als diese 4+1 Achslastverteilungen auf Fahrzeugtypenebene, wie sie anhand der Achslastmessdaten möglich wäre, ist nicht zielführend, da diese zusätzlichen Informationen nicht auf das nachgeordnete Netz übertragen werden können. Aufgrund des geringen Anteils von Sonderfahrzeugen am Schwerverkehr sowie der hohen Streckenabhängigkeit dieses Anteils, werden die Sonderfahrzeuge keine dimensionierungsrelevante Berücksichtigung finden. Für Strecken mit

hohem Sonderverkehrsanteil ist in Kapitel 4.3 eine Achslastverteilungsfunktion hergeleitet worden.



Bild 3-3: Achslastverteilungen der 4 relevanten Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs auf Basis von Achslastmessdaten

Zur Bestimmung der lokalen Achslastverteilung werden die fahrzeugklassenbezogenen Achslastverteilungen mit den lokal vorhandenen Fahrzeugklassenanteilen am Schwerverkehr (Bild 3-2) gewichtet und addiert.

Zusammenfassend kann die Methodik wie folgt beschrieben werden:

Es wird nicht das Achslastkollektiv der einzelnen Stationen als Ganzes, sondern die fahrzeugtypenspezifischen Achslastverteilungen verwendet.

Zerlegt man die einzelnen Achslastkollektive der Achslastmessstationen in fahrzeugtypbezogene Teilkollektive, erreicht man eine hohe Diversität an Teilkollektiven. Man kann für jedes dieser Teilkollektive die Achslastverteilungsfunktionen bestimmen und diese in Kombination mit dem Anteil des jeweiligen Fahrzeugtyps am Gesamtverkehr zu neuen Achslastkollektiven zusammensetzen.

Stationsunabhängige Achslastverteilungsfunktionen für die einzelnen Fahrzeugtypen werden ermittelt und bilden die Grundlage zur Bestimmung von Achslastverteilungsfunktionen mit reinen Dauerschätzstellendaten nach einem festen Algorithmus. Hierfür werden fahrzeugklassenbezogene anstelle

von fahrzeugtypenbezogenen Achslastverteilungen verwendet.



Bild 3-4: Bestimmung lokalisierter Achslastverteilungen

3.3 Verwendung von Daten der Straßenverkehrszählung (SVZ)

Die Daten der Straßenverkehrszählung (SVZ) werden derzeit automatisiert mit TZ5 Zählgeräten gewonnen. Im Gegensatz zu den Dauerzählstellen erfassen diese den Schwerverkehr nur in drei SV-Klassen (LoA, Lzg und Bus). Lzg bezeichnet dabei die Lastzüge, die sich aus den Sattelkraftfahrzeugen (Sat) und Lkw mit Anhänger (LmA) zusammensetzen. Perspektivisch werden vermehrt TZ4 Messgeräte eingesetzt, die nur zwei SV-Klassen erfassen. Sollen solche Strassenverkehrszählungsdaten (SVZ-Daten) verwendet werden, so sind die vorliegenden Schwerverkehrsklassen mit Hilfe einer nahegelegenen repräsentativen Dauerzählstelle oder eines methodischen Ansatzes in die vier SV-Klassen zu zerlegen.

3.4 Abhängigkeiten der Achslastverteilungen

Die begrenzte Anzahl an Achslastmessstationen sowie deren variierenden Erfassungszeiträume erfordern eine Überprüfung der zusammen auswertbaren Daten. In Tab. 3-1 sind die Anzahlen an erfassten Monaten der Jahre 2006 bis 2016 stationsweise aufgeführt. Im farblich hinterlegten Bereich sind für verschiedene Zeitspannen die prozentualen Anteile an erfassten Monaten aufgeführt, um eine Übersicht der vorhandenen Zeiträume zu erhalten.

Station	erfasste Monate von Jan 2006 bis Jun 2016											Erfasst in %				Erfasst in %	
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2006-2010	2011-2016	2006-2016	2013-2015	von	bis
	1291						5	6	4	2			0,0	25,8	13,5	16,7	85
1501	10	12	12	12	3		1	5				81,7	9,1	43,7	13,9	70	85
3392							10	12	12	8		0,0	63,6	33,3	88,9	40	70
3500	8	6										23,3	0,0	11,1	0,0	20	40
3501	7	7										23,3	0,0	11,1	0,0	0	20
3502	1	6	10						1			28,3	1,5	14,3	2,8		
3901	11	12	11	5				4	3	10	5	65,0	33,3	48,4	47,2		
3902	2	3	12	9	8	12	10	8	5	12	5	56,7	78,8	68,3	69,4		
5701	4											6,7	0,0	3,2	0,0		
5703	12	12										40,0	0,0	19,0	0,0		
5704	12	8	1									35,0	0,0	16,7	0,0		
5705						11	12	3	2	10	3	0,0	62,1	32,5	41,7		
6134		4										6,7	0,0	3,2	0,0		
6149		7	12	4								38,3	0,0	18,3	0,0		
9616	6	6	12	4								46,7	0,0	22,2	0,0		
9625						7	12	11	12	12	6	0,0	90,9	47,6	97,2		
9627						7	11	4	8	12	4	0,0	69,7	36,5	66,7		
9628						9	12	11	12	12	4	0,0	90,9	47,6	97,2		
9629						10	7	12	9	12	6	0,0	84,8	44,4	91,7		
9635	6	11	12	12	7	4						80,0	6,1	41,3	0,0		
9666	9	6			2	8	10	12	11	12	6	28,3	89,4	60,3	97,2		

Tab. 3-1: Verfügbare direkt auswertbare Zeiträume der Achslastmessstationen

Die Untersuchung der zeitlichen Abhängigkeit der Achslastverteilungen im folgenden Kapitel erfolgt, um nach Möglichkeit Achslastdaten unterschiedlicher Stationen, die in unterschiedlichen Zeiträumen erfasst worden sind, zusammen auszuwerten. Eine Betrachtung der saisonalen Schwankung über das Jahr ist notwendig, um zu prüfen, wie stark die Verwendung unvollständiger Jahresdatensätze das Ergebnis verzerrt. Im anschließenden Kapitel wird die Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen betrachtet.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Klassen der Achslastverteilungen (Histogramme) mit Kürzeln der Form „x_y“ bezeichnet. Dabei ist x die exklusive Untergrenze und y die inklusive Obergrenze der Achslastklasse. Somit umfasst beispielsweise die Achslastklasse „1_2“ alle Achslasten größer 1 t und kleiner-gleich 2 t.

3.4.1 Zeitabhängigkeit

Zur Auswahl gemeinsam auswertbarer Achslastdaten wird die zeitliche Entwicklung der Achslastverteilungen der einzelnen Messstationen bestimmt.

Hierbei ist zwischen saisonalen Schwankungen innerhalb eines Jahres und den langfristigen Entwicklungen der Achslastverteilungen zu unterscheiden (Bild 3-5).



Bild 3-5: Übersicht der zu untersuchenden Aspekte der zeitlichen Abhängigkeit von Achslastverteilungen

In Bild 3-6 sind sämtliche direkt auswertbaren Achslastdaten enthalten. Hierbei werden die vorhandenen Daten summiert über alle Stationen, Jahre, Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs und Hauptfahrstreifen und nur anhand des Erfassungsmonats aufgeteilt dargestellt. Das Balkendiagramm gibt die Anteile (Ordinate) der jeweiligen Achslastklasse (Abszisse) der Achslasten am Achslastkollektiv der einzelnen Monate wieder. Die korrespondierende Violin-Box-Whiskers-Grafik ist ein Kondensat des Balkendiagramms und erleichtert die Beurteilung der Streuung des entsprechend der Erfassungsmonate aufgeteilten Achslastkollektivs.

Die saisonale Schwankung der über alle Stationen, Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs, Jahre und Hauptfahrstreifen summierten Achslastverteilung kann entsprechend Bild 3-6 als vernachlässigbar klein beurteilt werden.

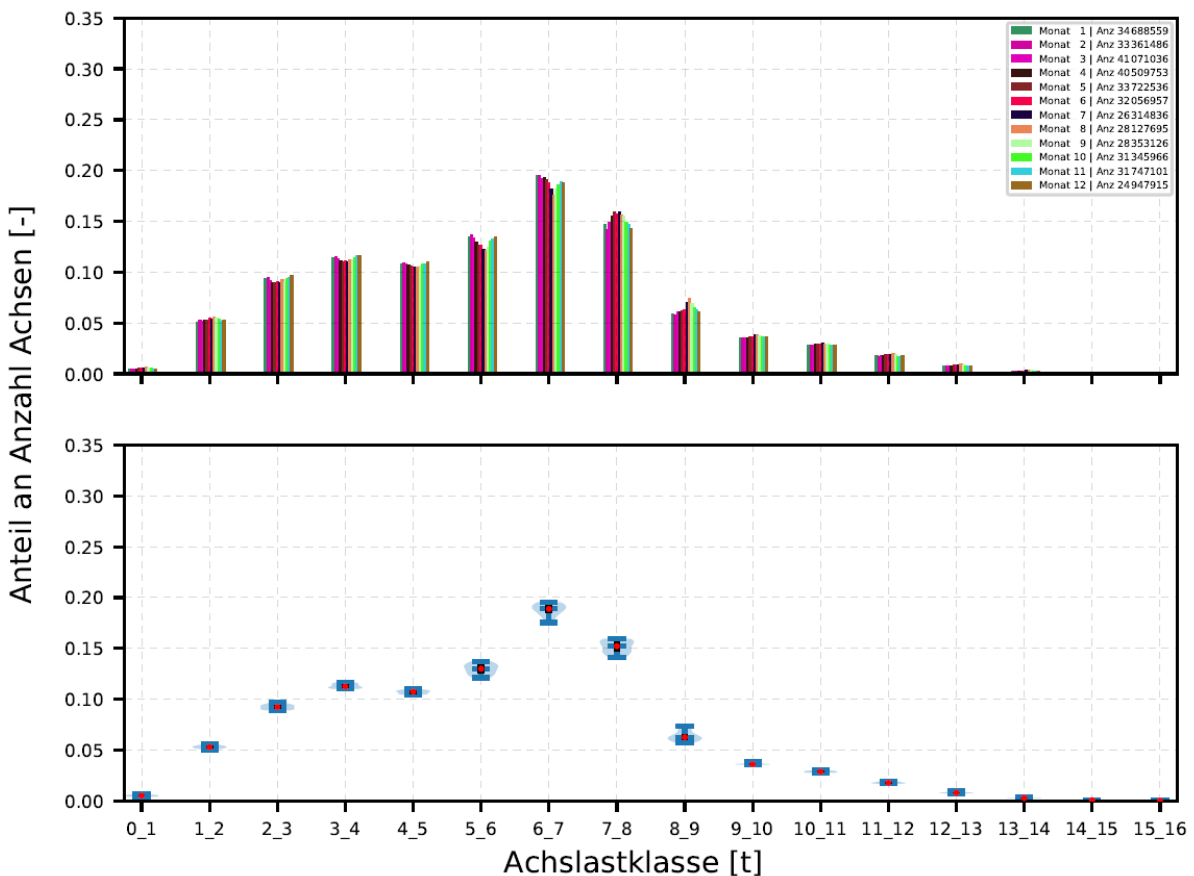


Bild 3-6: Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen, alle Jahre und alle Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs)

In Bild 3-7 sind sämtliche direkt auswertbaren Achslastdaten enthalten. Hierbei werden die vorhandenen Daten über alle Stationen, Monate, Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs sowie Hauptfahrstreifen summiert und nur anhand des Erfassungsjahres aufgeteilt dargestellt. Das Balkendiagramm gibt die Anteile (Ordinate) der jeweiligen Achslastklasse (Abszisse) der Achslasten am Achslastkollektiv der einzelnen Jahre wieder. Die korrespondierende Violin-Box-Whiskers-Grafik zeigt die Streuung des

entsprechend der Erfassungsjahre aufgeteilten Achslastkollektivs auf.

Die langfristige Schwankung der über alle Stationen, Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs, Monate und Hauptfahrstreifen summierten Achslastverteilung (Bild 3-7) fällt größer aus als die saisonalen Schwankungen (Bild 3-6). Die genauere Beurteilung erfolgt im Kapitel 3.5.

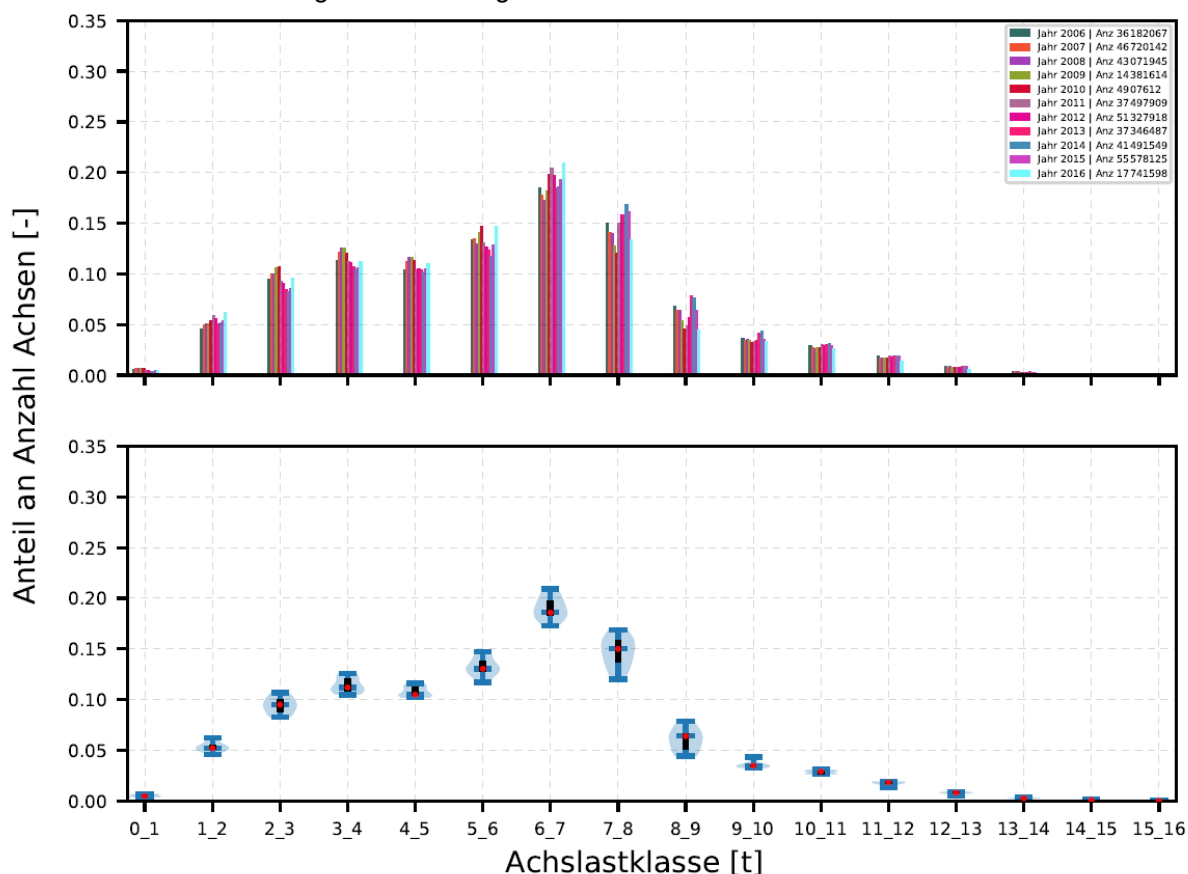


Bild 3-7: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen, alle Monate und alle Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs)

3.4.2 Ortsabhängigkeit

In Bild 3-8 sind sämtliche direkt auswertbaren Achslastdaten enthalten. Hierbei werden die vorhandenen Daten über alle Jahre, Monate, Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs sowie Hauptfahrstreifen summiert und nur anhand der Achslastmessstation aufgeteilt dargestellt. Das Balkendiagramm gibt die Anteile (Ordinate) der jeweiligen Achslastklasse (Abszisse) der Achslasten am Achslastkollektiv der

einzelnen Jahre wieder. Die korrespondierende Violin-Box-Whiskers-Grafik zeigt die Streuung des entsprechend der Achslastmessstationen aufgeteilten Achslastkollektivs auf.

Die stationsbezogenen Schwankungen fallen im Vergleich von Bild 3-8 mit Bild 3-6 sowie Bild 3-7 deutlich stärker aus als die saisonalen und langfristigen Schwankungen. Eine genauere Beurteilung erfolgt im Kapitel 3.5.

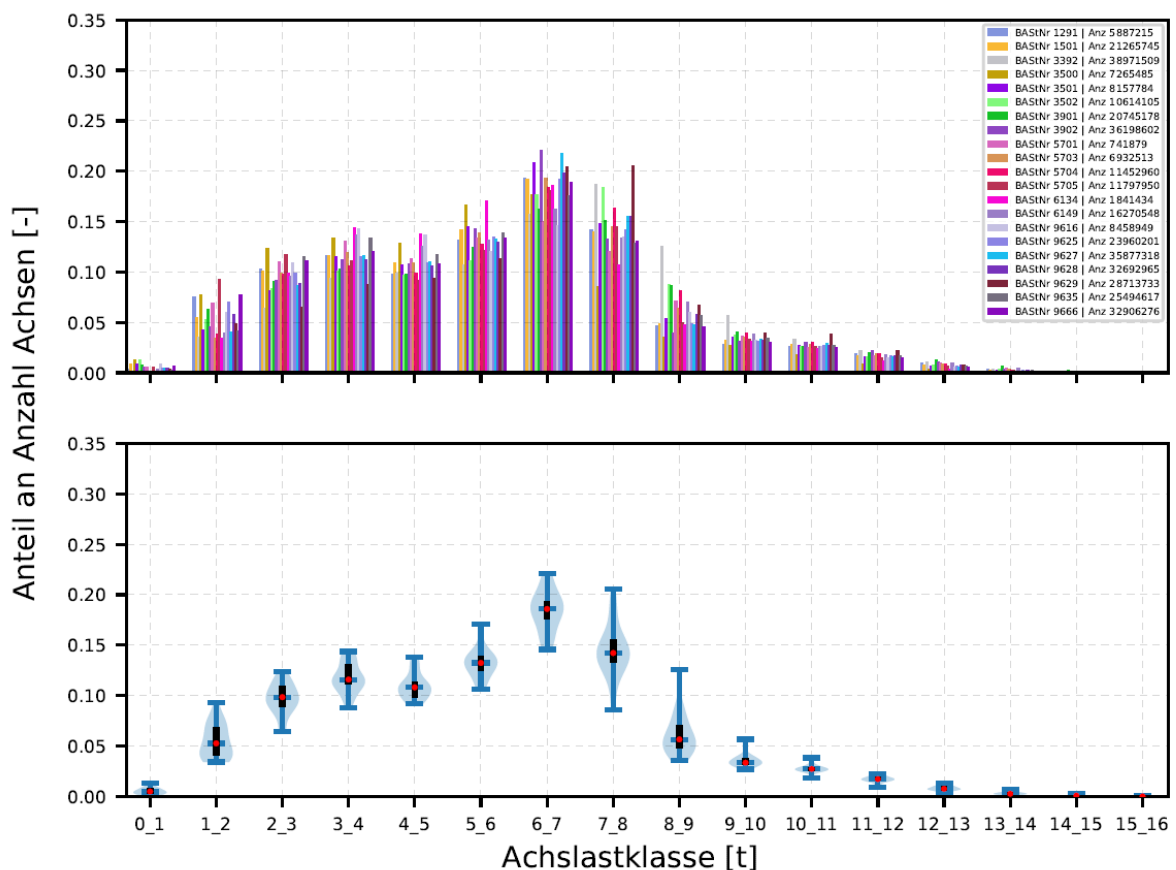


Bild 3-8: Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstellen, summiert über alle Monate, alle Jahre und alle Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs)

3.4.3 Fahrzeugklassenabhängigkeit

In Bild 3-9 sind die fahrzeugklassenbezogenen Schwankungen der über alle Jahre, Monate, Achslastmessstationen und Hauptfahrstreifen summierten Achslastverteilungen dargestellt. Wie deutlich

erkennbar ist, fallen die Schwankungen im Vergleich zu saisonalen, langfristigen und ortsbedingten Schwankungen stark aus.

Die weitere Beurteilung erfolgt im Kapitel 3.5.

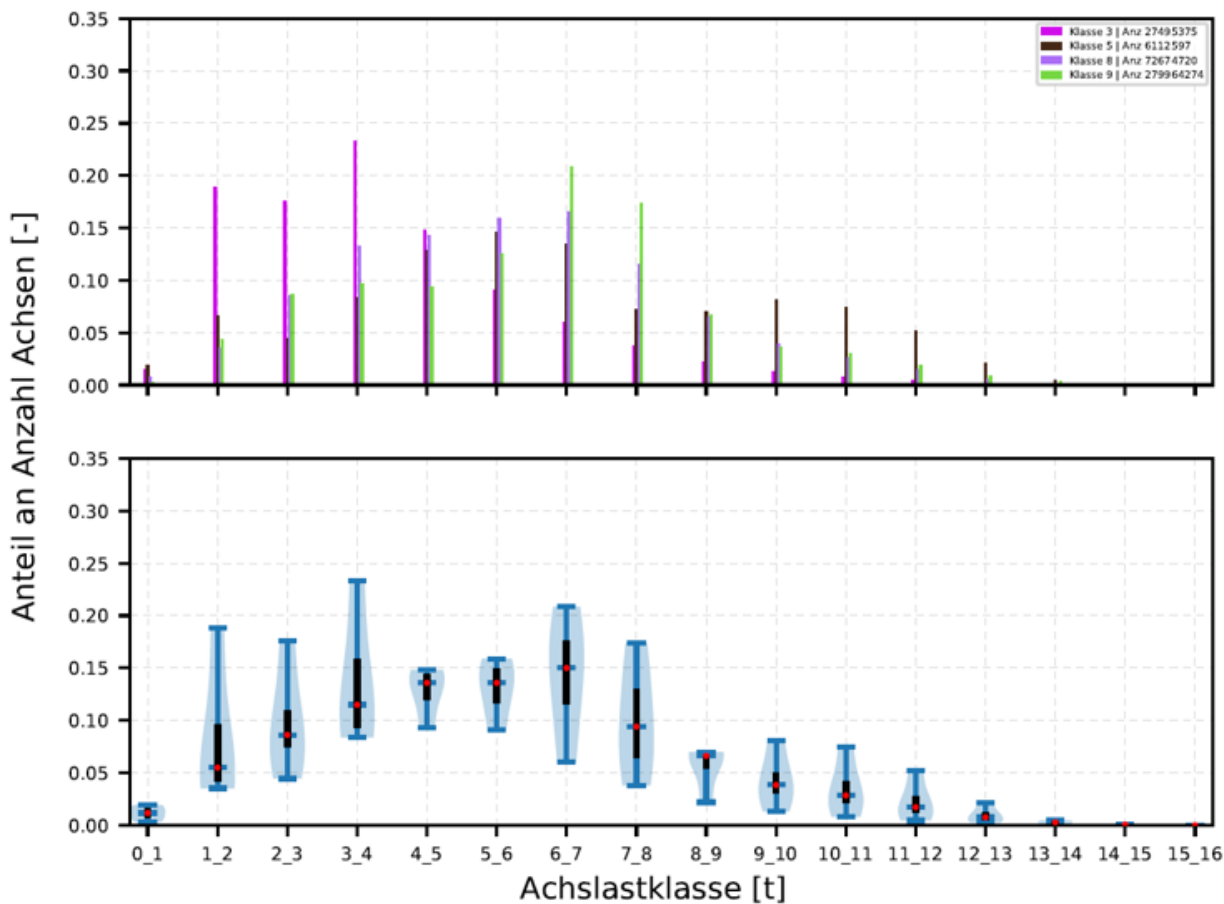


Bild 3-9: Fahrzeugklassenabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen, alle Monate und alle Jahre)

3.5 Fahrzeugklassenbezogene Abhängigkeiten

Wie bereits in Kapitel 3.2 erörtert, kann die Achslastverteilung des Schwerververkehrs an einer Achslastmesstation in vier fahrzeugklassenspezifische Achslastverteilungen aufgeteilt und entsprechend der Anteile der einzelnen Fahrzeugklassen am gesamten Achslastkollektiv wieder zusammengesetzt werden. Dies legt die Vermutung nahe, dass die fahrzeugklassenbezogenen Achslastverteilungen hinsichtlich ihrer saisonalen Zeitabhängigkeit, langfristigen Zeitabhängigkeit sowie Ortsabhängigkeit einer geringen Streuung unterliegen. Somit könnte bei Verwendung von fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen eine stärkere Entkoppelung der Achslastverteilungen von Ort und Zeit erreicht werden.

Unter Betrachtung der Anwendung der Achslastverteilungen als Eingangsgrößen in die Dimensionierung und Substanzbewertung wird im Folgenden ein verstärkter Fokus auf die höheren Achslastklassen gelegt, da das Schädigungspotential höherer Achslasten viel größer ist als das der kleineren. Die

Bezugsachslasten der rechnerischen Dimensionierung und Substanzbewertung liegen je nach Verfahren bei 9 bzw. 10 Tonnen, auf die alle Achslasten mit Hilfe der Vierte-Potenz-Regel auf Basis des ASHOO-Road-Tests [AASHO 1962] projiziert werden.

3.5.1 Fahrzeugklassenbezogene Zeitabhängigkeit

In den folgenden Bildern sind sämtliche direkt auswertbaren Achslastdaten des Schwerververkehrs aufgeteilt nach den Fahrzeugklassen LoA, Bus, LmA und Sat dargestellt. Hierbei werden die vorhandenen fahrzeugklassenspezifischen Achslastdaten über alle Stationen, Jahre sowie Hauptfahrstreifen summiert und nur anhand des Erfassungsmonats aufgeteilt dargestellt. Die Balkendiagramme geben die Anteile (Ordinate) der jeweiligen Achslastklasse (Abszisse) der Achslasten am Achslastkollektiv der einzelnen Monate wieder. Die korrespondierenden Violin-Box-Whiskers-Grafiken sollen die Beurteilung der Streuung des entsprechend der Erfassungsmonate aufgeteilten Achslastkollektivs erleichtern.

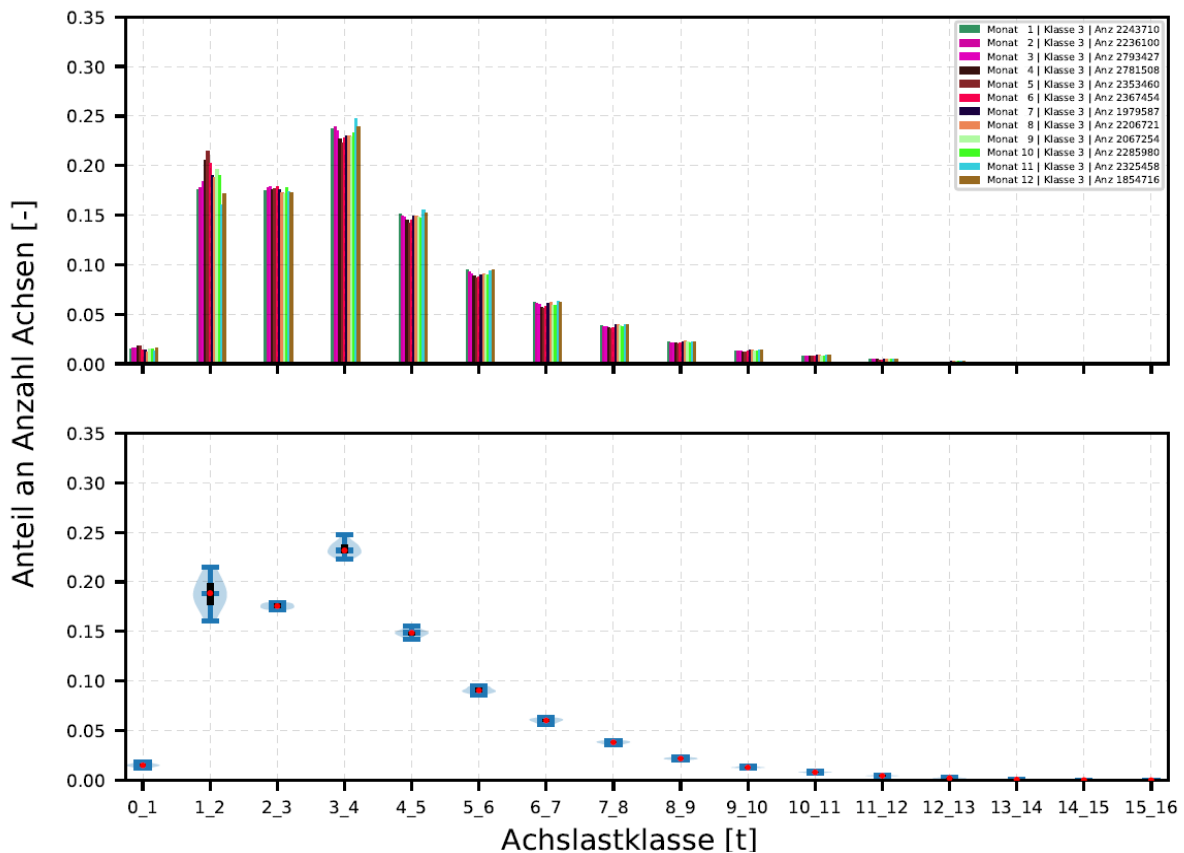


Bild 3-10: Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmesstationen und alle Jahre)

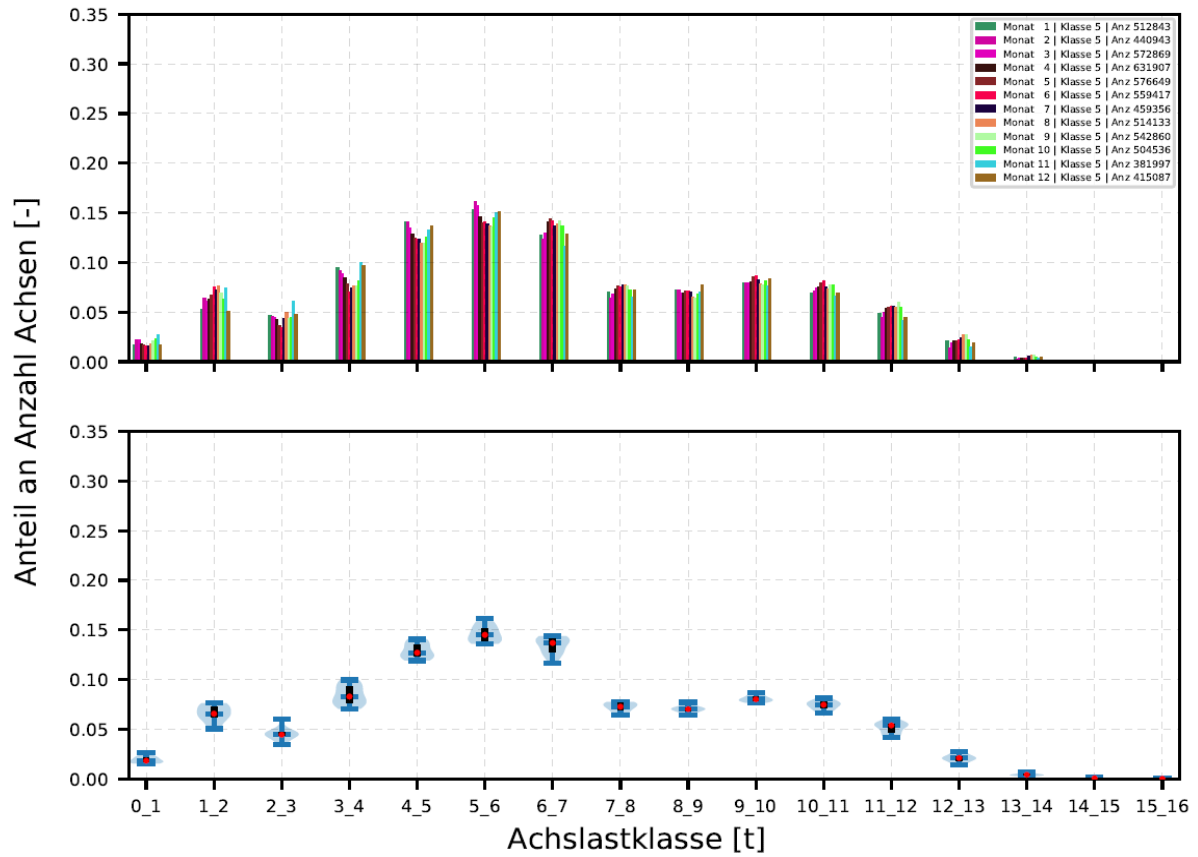


Bild 3-11: Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre)

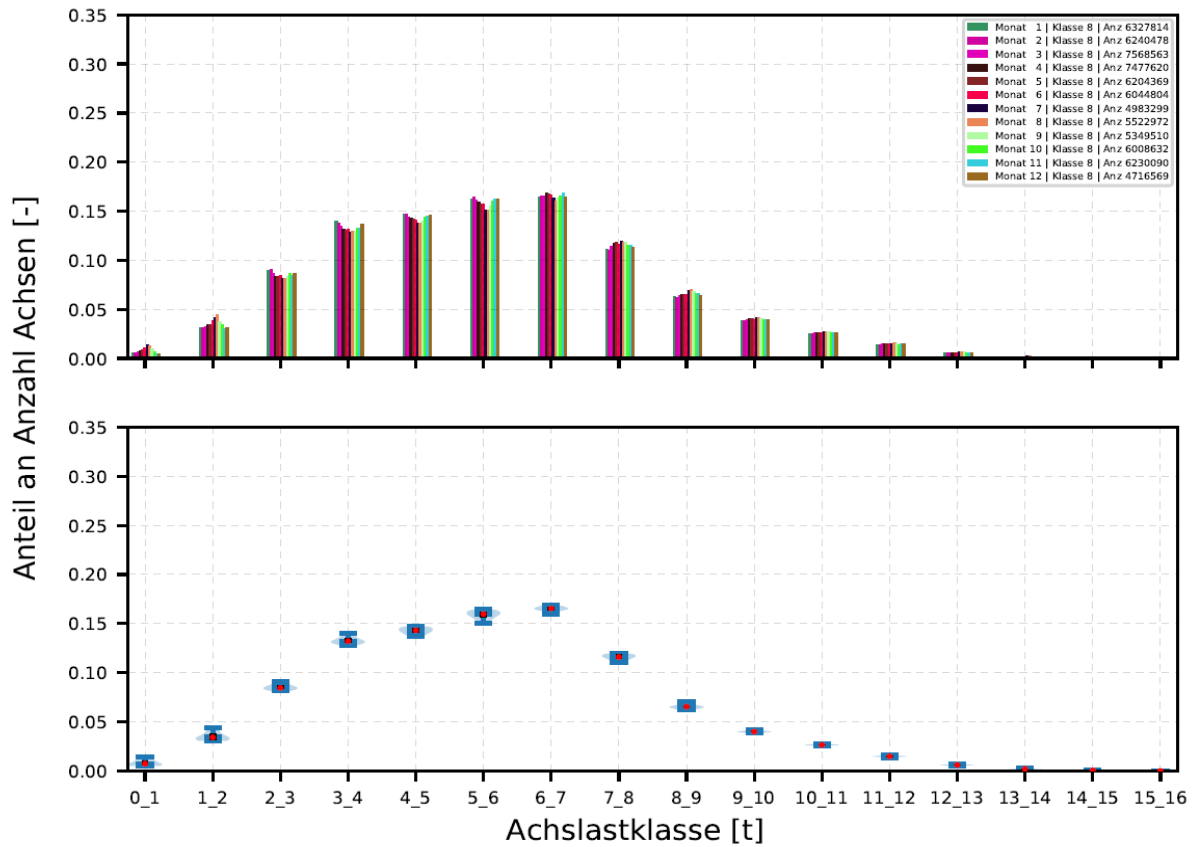


Bild 3-12: Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre)

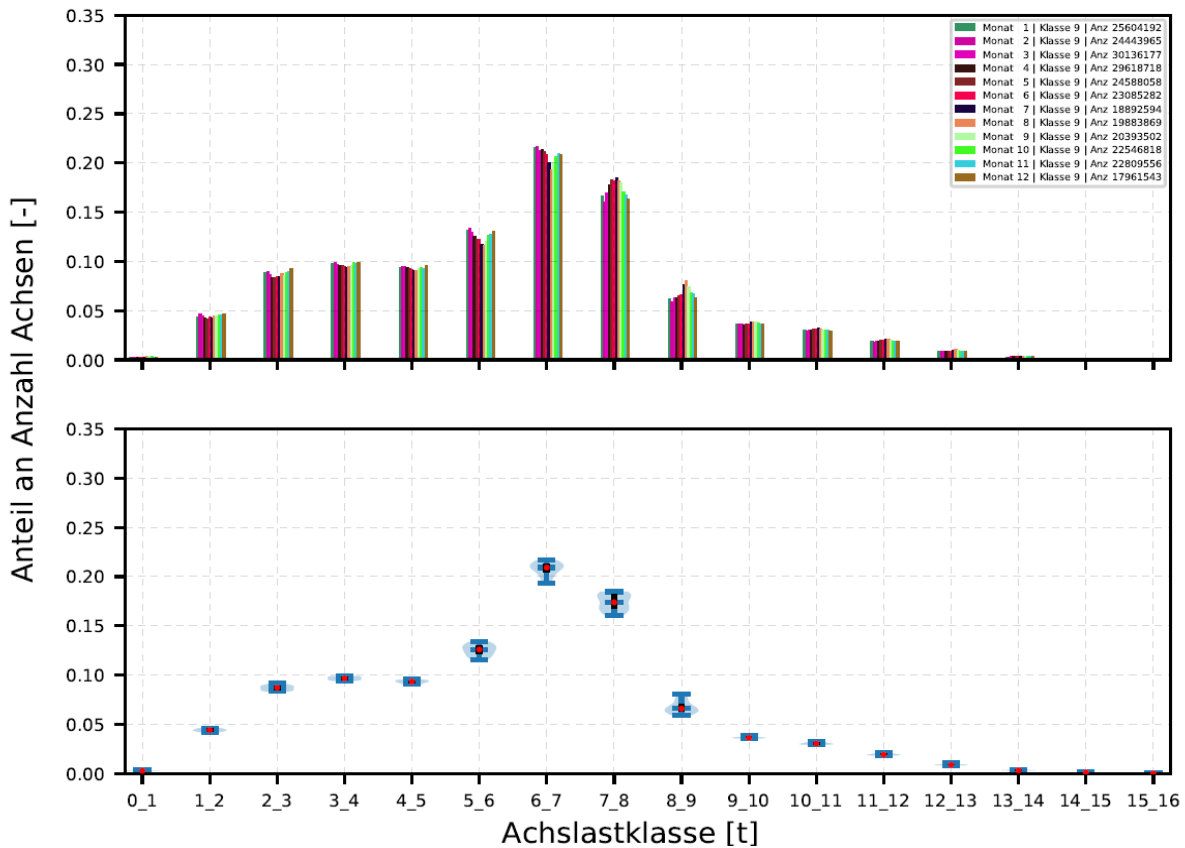


Bild 3-13: Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre)

Die fahrzeugklassenspezifischen saisonalen Schwankungen der über alle Stationen, Jahre und Hauptfahrstreifen summierten Achslastverteilungen kann entsprechend Bild 3-10, Bild 3-11, Bild 3-12 und Bild 3-13 als vernachlässigbar klein beurteilt werden. Im Vergleich zu Bild 3-6 wird ersichtlich, dass die in den Achslastklassen vorhandenen Streuungen nicht aus allen Fahrzeugklassen gleichermaßen hervorgehen.

Bild 3-10 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse LoA bei Achslasten größer 4 Tonnen faktisch keine Streuung vorliegt.

Bild 3-11 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse Bus bei Achslasten größer 7 Tonnen faktisch keine Streuung vorliegt.

Bild 3-12 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse LmA über alle Achslastklassen faktisch keine Streuung vorliegt.

Bild 3-13 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse Sat nur im Bereich von 5 bis 9 Tonnen von einer Streuung zu sprechen ist, die jedoch vernachlässigbar klein ist.

In den folgenden Bildern sind sämtliche direkt auswertbaren Achslastdaten des Schwerverkehrs aufgeteilt nach den Fahrzeugklassen LoA, Bus, LmA und Sat dargestellt. Hierbei werden die vorhandenen fahrzeugklassenspezifischen Achslastdaten über alle Stationen, Monate sowie Hauptfahrstreifen summiert und nur anhand des Erfassungsjahres aufgeteilt dargestellt.

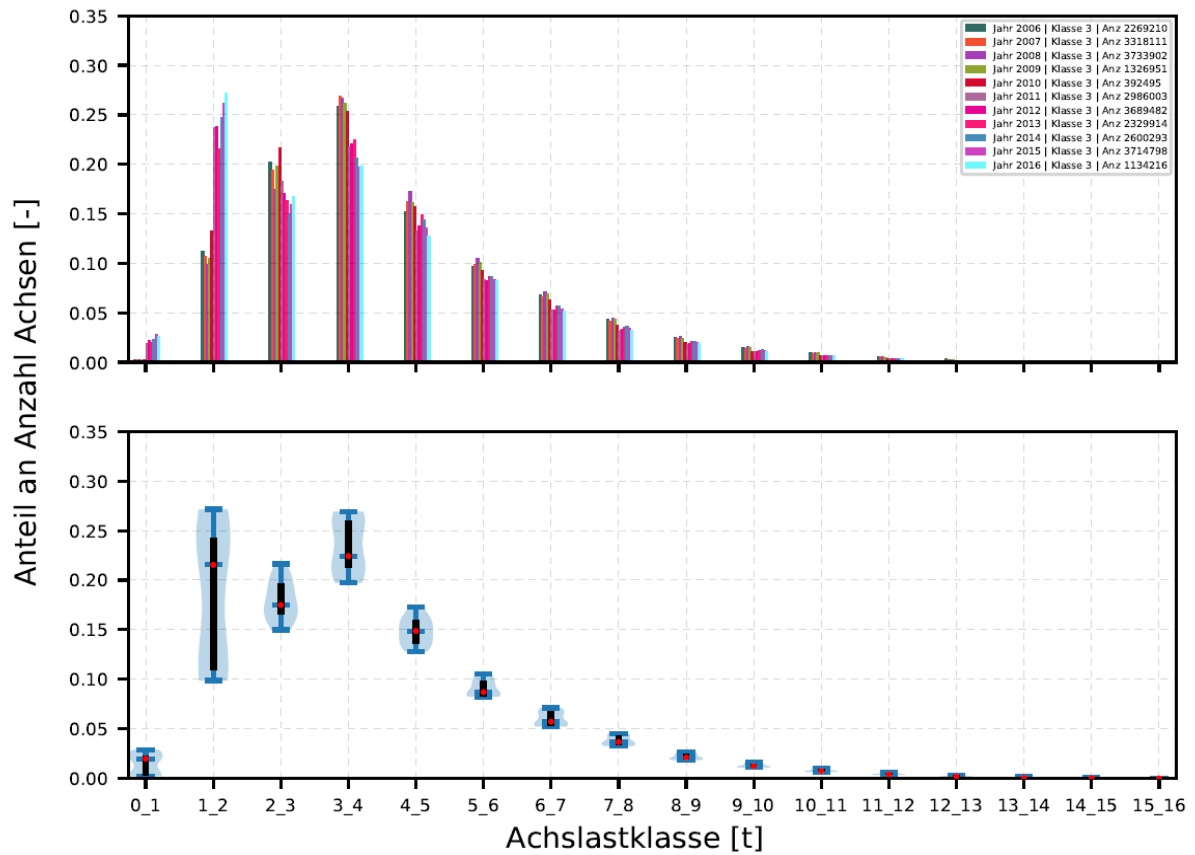


Bild 3-14: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

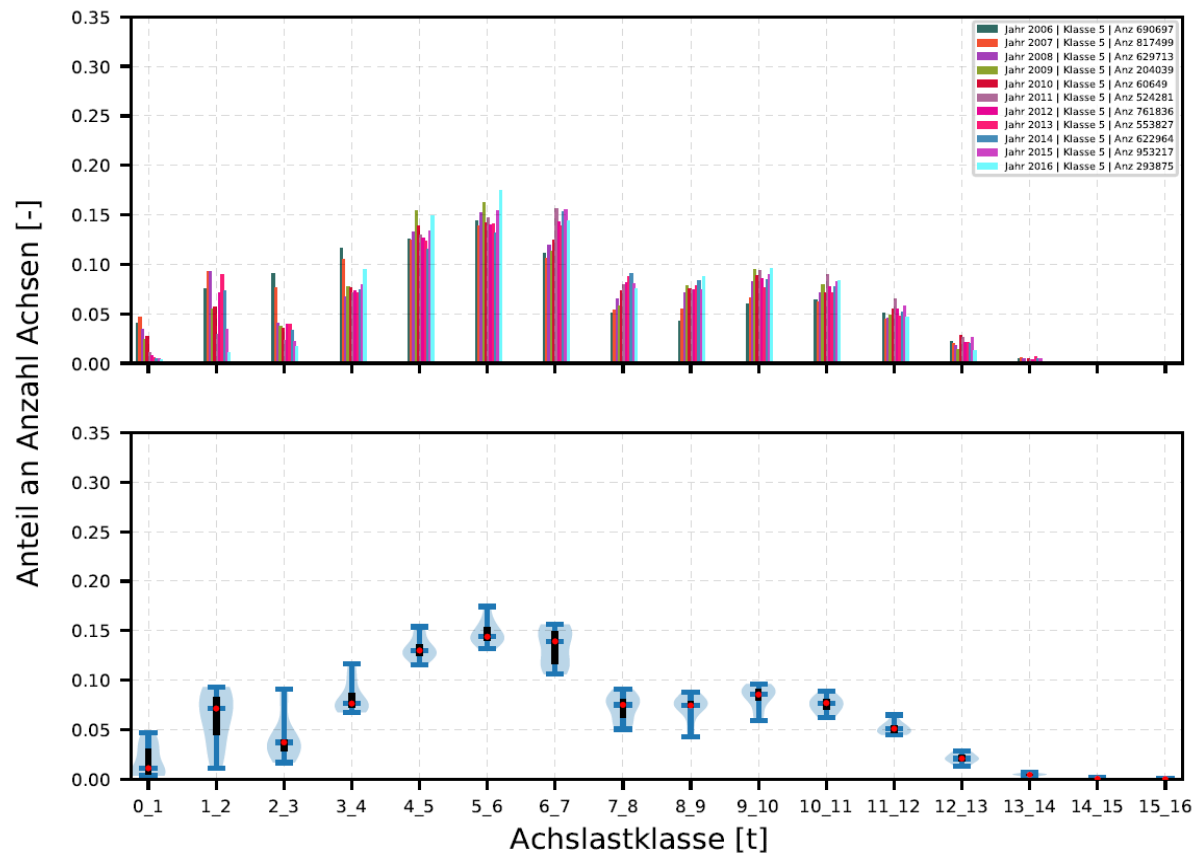


Bild 3-15: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

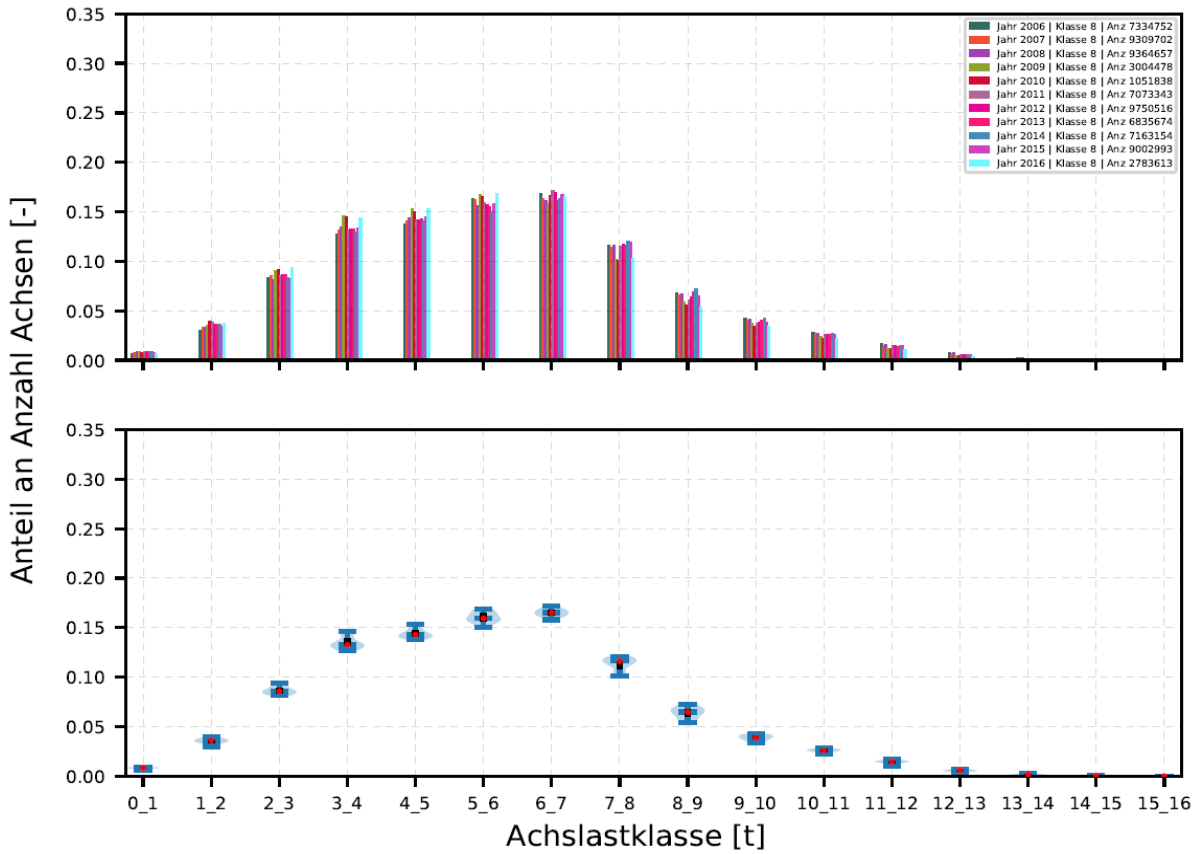


Bild 3-16: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

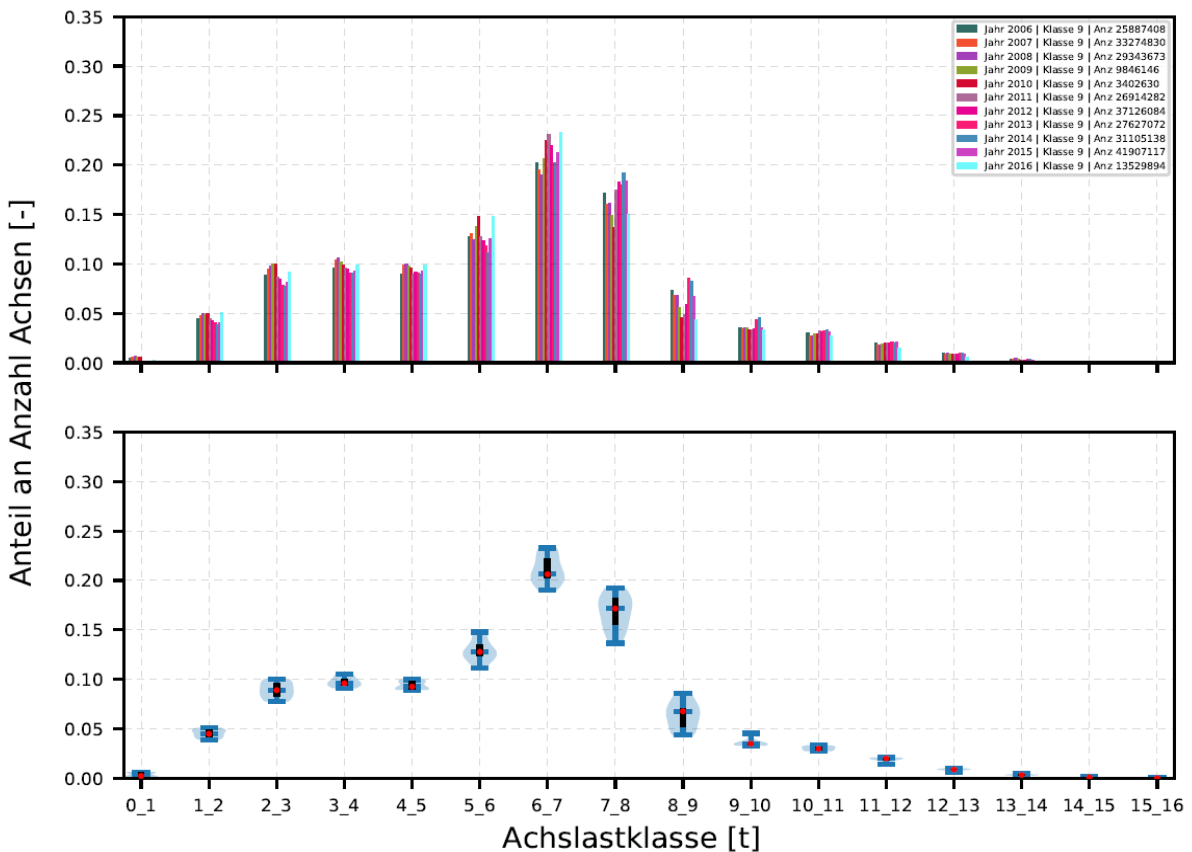


Bild 3-17: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

Bild 3-14 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse LoA bei Achslasten größer 5 Tonnen nur eine unwesentliche und bei Achslasten größer 7 Tonnen faktisch keine Streuung vorliegt.

Bild 3-15 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse Bus über alle Achslastklassen eine Streuung zu beobachten ist.

Bild 3-16 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse LmA über alle Achslastklassen faktisch keine Streuung vorliegt.

Bild 3-17 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse Sat nur im Bereich von 5 bis 9 Tonnen eine relevante Streuung vorhanden ist.

Die in Bild 3-14 bis Bild 3-17 dargestellten Daten werden im Folgenden noch einmal auf Basis der Aussage von Tab. 3-1 unterteilt. Tab. 3-1 zeigt auf, dass sich die vorhandenen Achslastdaten grob in zwei Gruppen aufteilen lassen, da der Großteil der Achslastmessstationen nur vor 2011 bzw. ab 2011 in Betrieb gewesen ist. Dies führt zu einer starken Ortsabhängigkeit der langfristigen Zeitabhängigkeit innerhalb der Darstellung in Bild 3-14 bis Bild 3-17.

Bild 3-18 und Bild 3-19 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse LoA bei Achslasten größer 5 Tonnen bei einer getrennten Betrachtung der Zeiträume faktisch keine Streuung vorliegt. Auffällig ist der im Zeitraum ab 2011 auftretende Peak in der Achslastklasse 1 bis 2 Tonnen. Ein Vergleich mit Bild 3-20 bis Bild 3-25 legt nahe, dass dieser Effekt nicht mit der Art der Messung infolge neuerer Messstationen zu erklären ist, da dieser Effekt aus-

schließlich für die Fahrzeugklasse LoA zu beobachten ist. Ob dieser Effekt der unterschiedlichen Lage im Netz oder sich verändernder Beladungszustände zuzuschreiben ist, kann leider nicht eindeutig identifiziert werden. Aufgrund der starken Deckungsgleichheit der beiden Verteilungen ab 5 Tonnen ist dies von untergeordneter Bedeutung, sodass die Achslastverteilung der Fahrzeugklasse LoA als zeitunabhängig angenommen werden kann.

Bild 3-20 und Bild 3-21 zeigen beide die gleiche Achslastverteilungscharakteristik auf. Auffällig ist die geringere Streuung der Achslastdaten ab 2011 im Bereich ab 6 Tonnen. Eine Begründung könnte hier der seit 2013 vermehrte Einsatz von Bussen im Fernverkehr sein. Dies müsste sich jedoch insbesondere in Bild 3-21, das sowohl den Zeitraum vor als auch nach 2013 abbildet, niederschlagen. Somit wird davon ausgegangen, dass die abweichenden Streuungen auf lokale Unterschiede zurückzuführen sind.

Bild 3-22 und Bild 3-23 stellen die nahezu deckungsgleichen und streuungsfreien Achslastverteilungen der LmA dar.

Bild 3-24 und Bild 3-25 ist zu entnehmen, dass in der Fahrzeugklasse Sat jeweils nur im Bereich von 5 bis 9 Tonnen eine Streuung vorhanden ist.

Die vorhandenen fahrzeugklassenspezifischen Achslastdaten können für die weitere Auswertung als ausreichend saisonal sowie langfristig zeitunabhängig angesehen und ausgewertet werden.

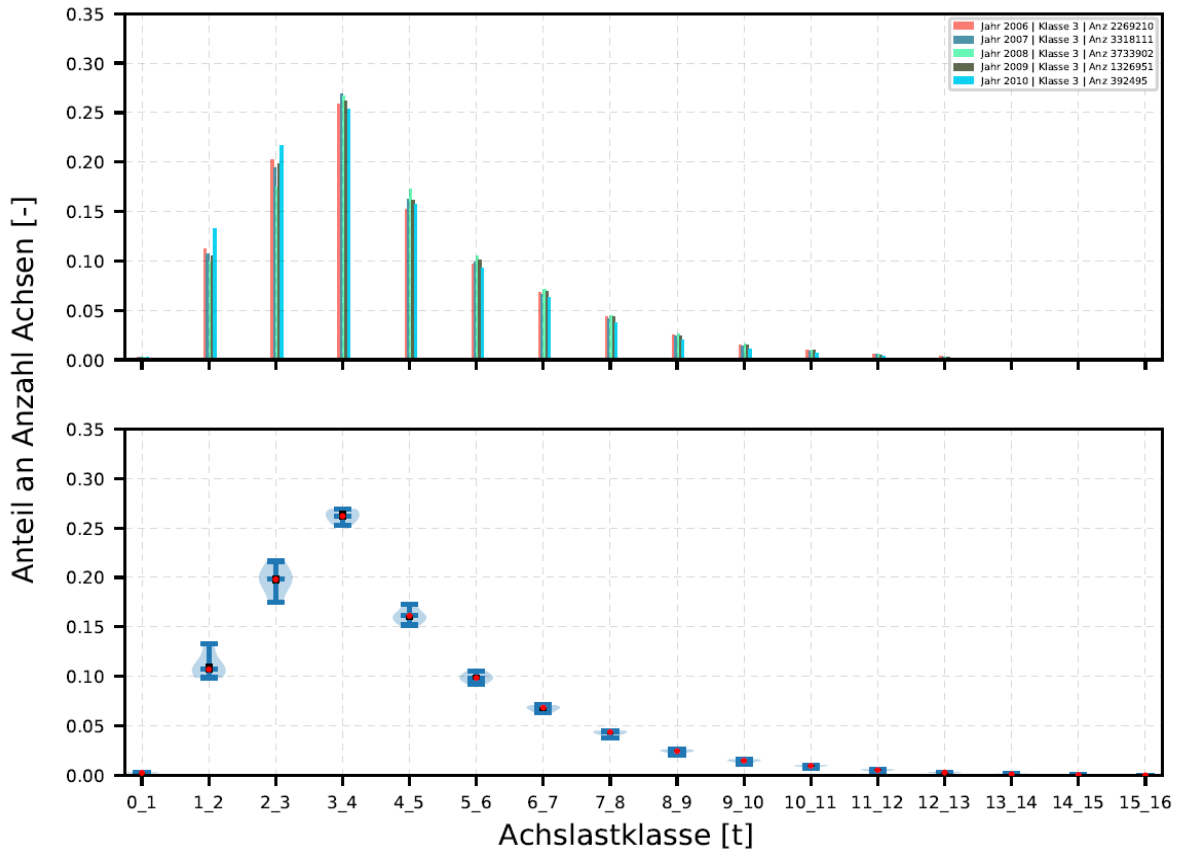


Bild 3-18: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

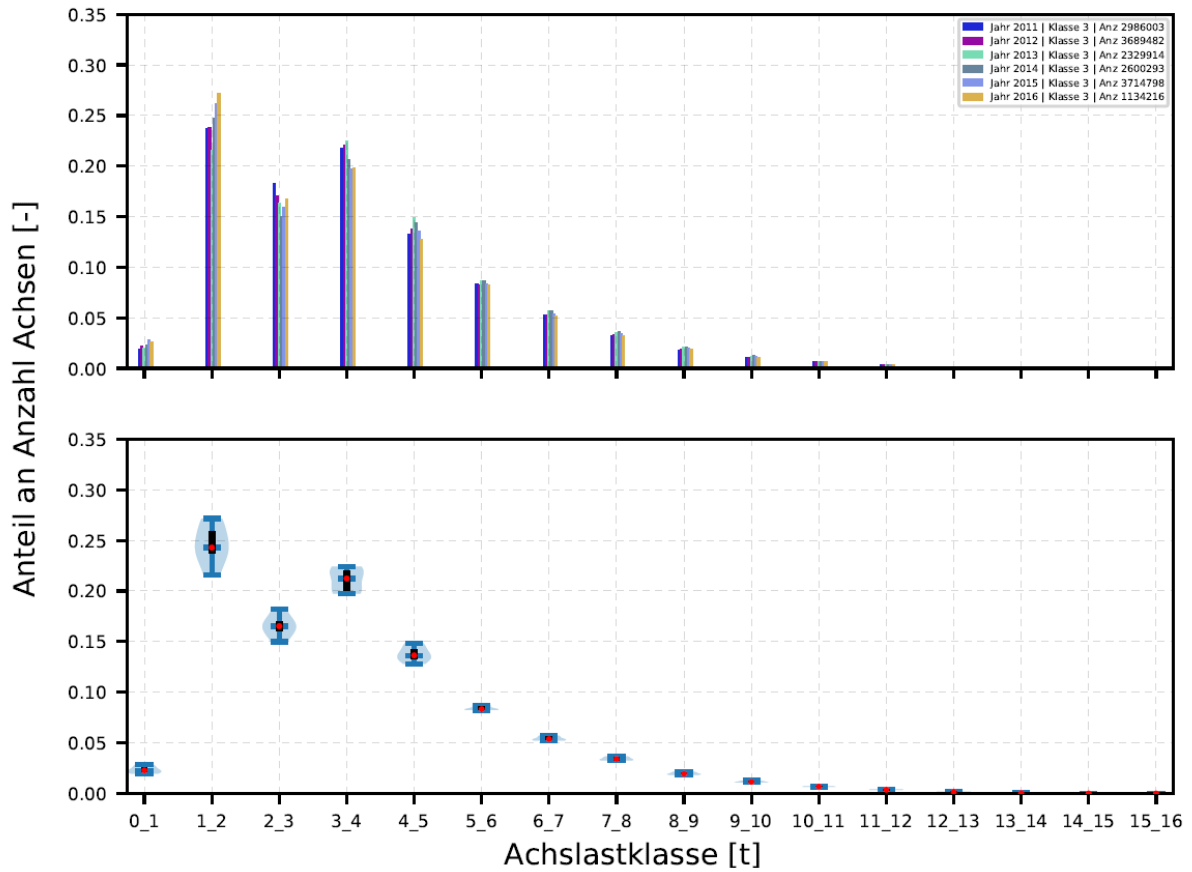


Bild 3-19: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

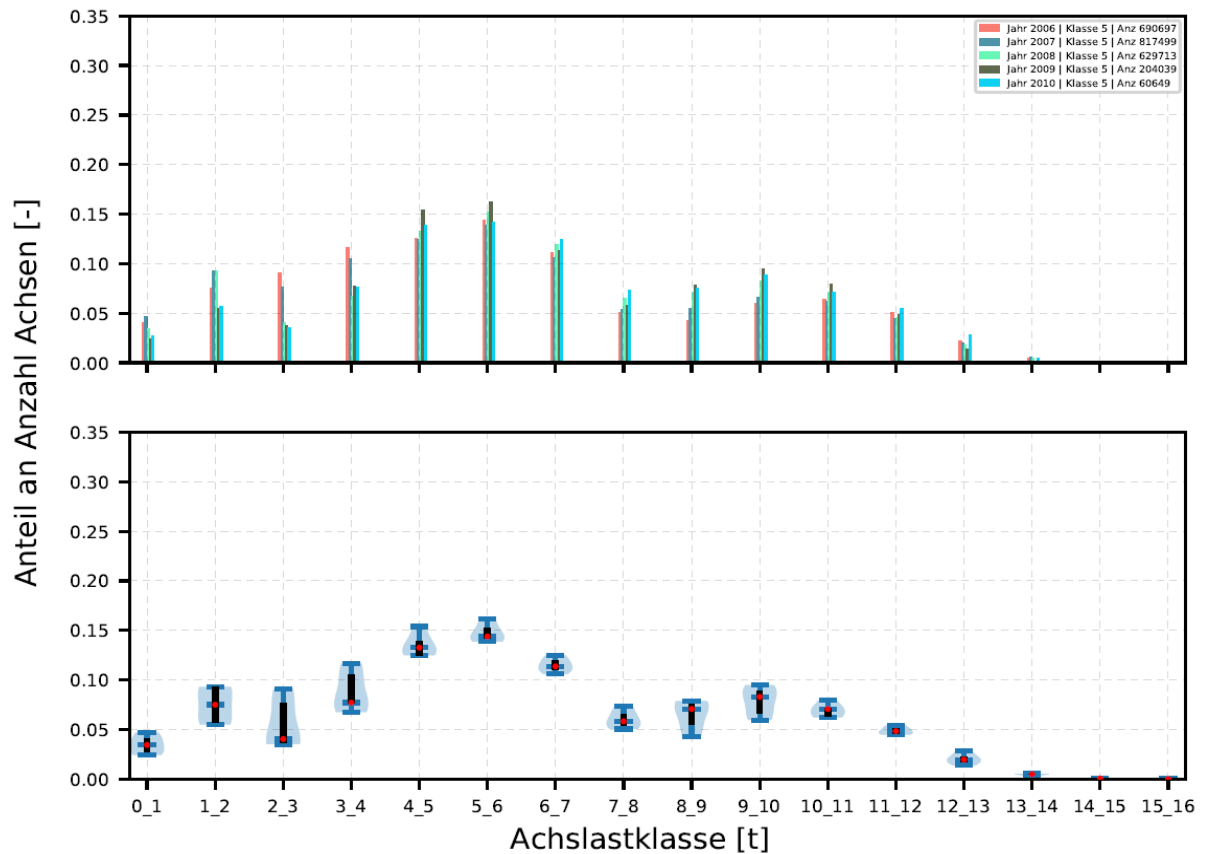


Bild 3-20: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

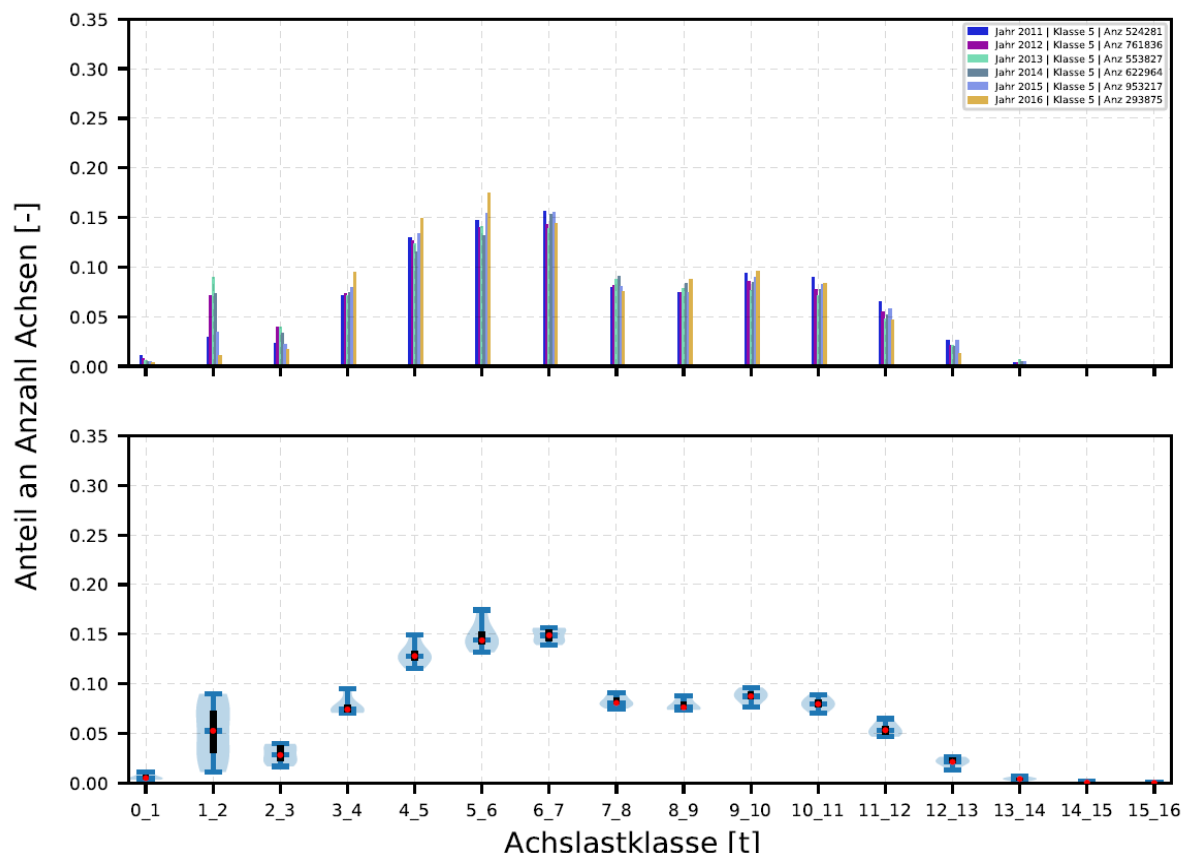


Bild 3-21: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

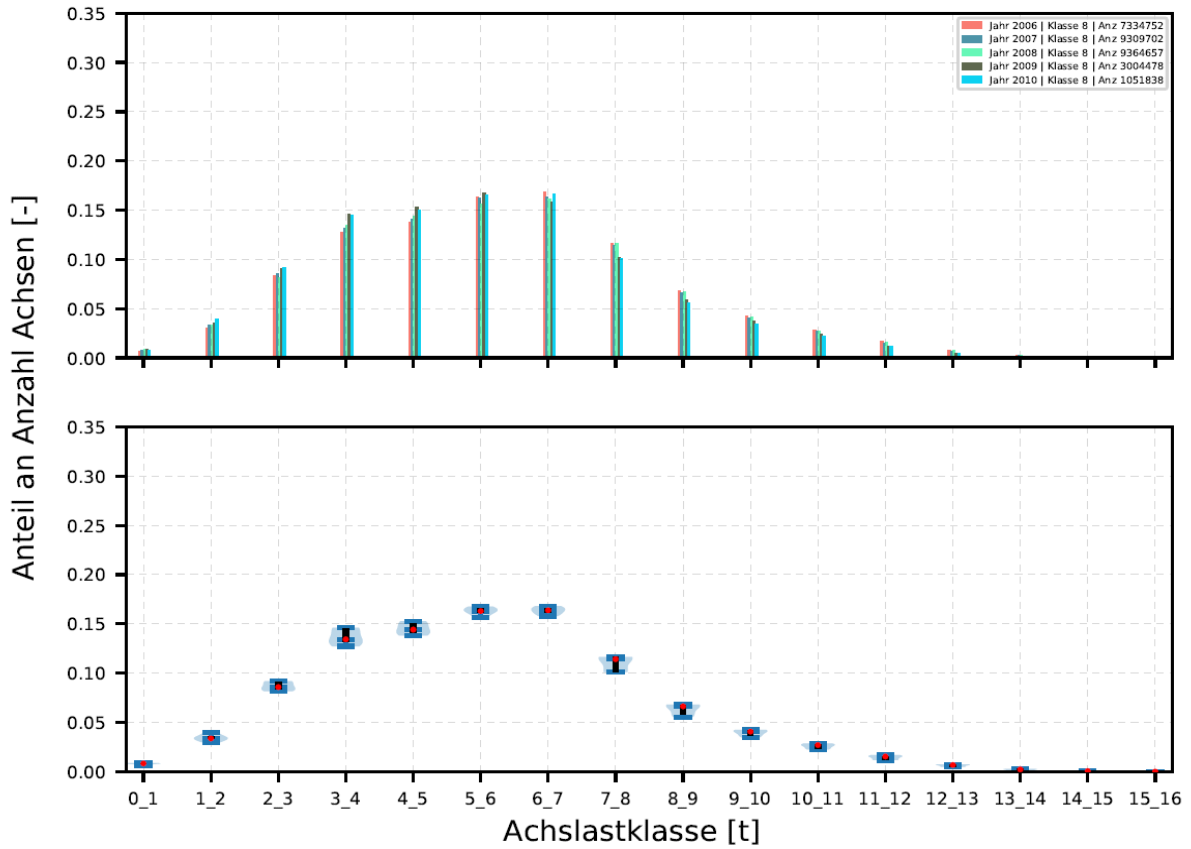


Bild 3-22: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

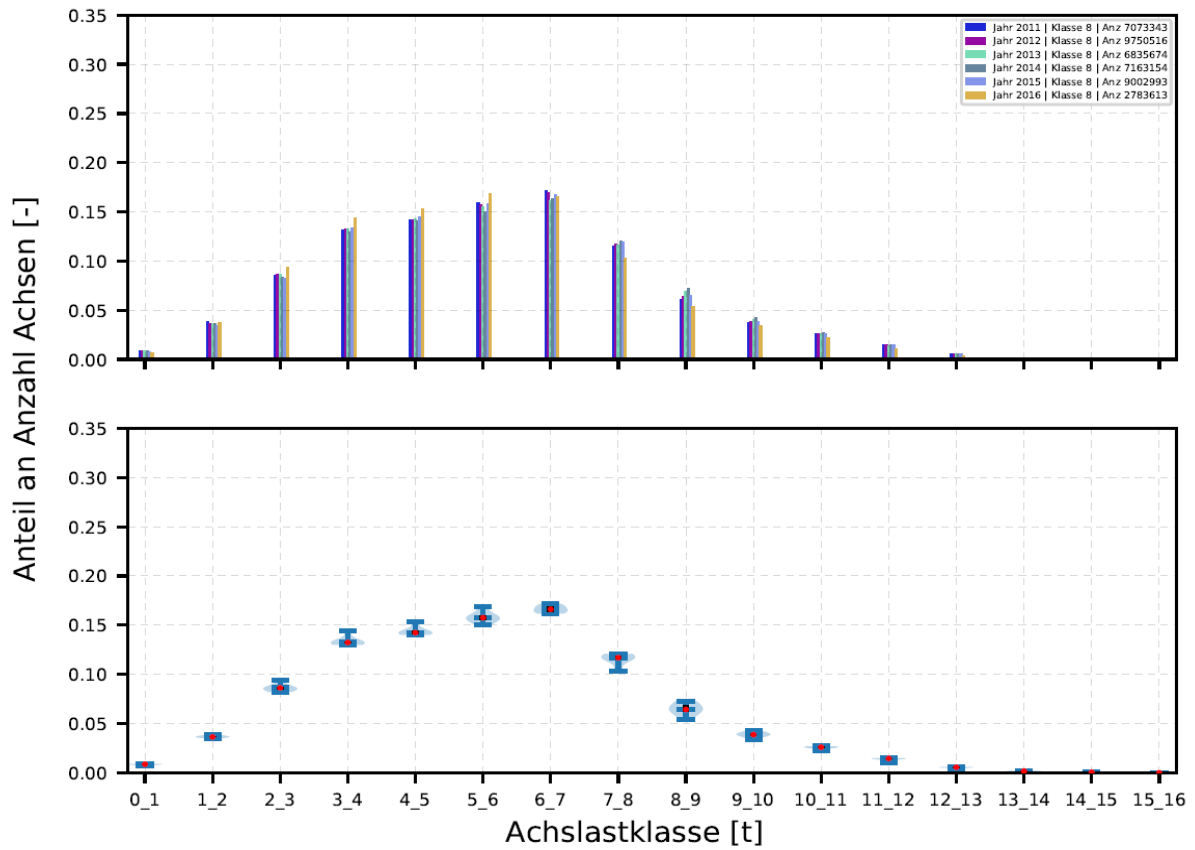


Bild 3-23: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

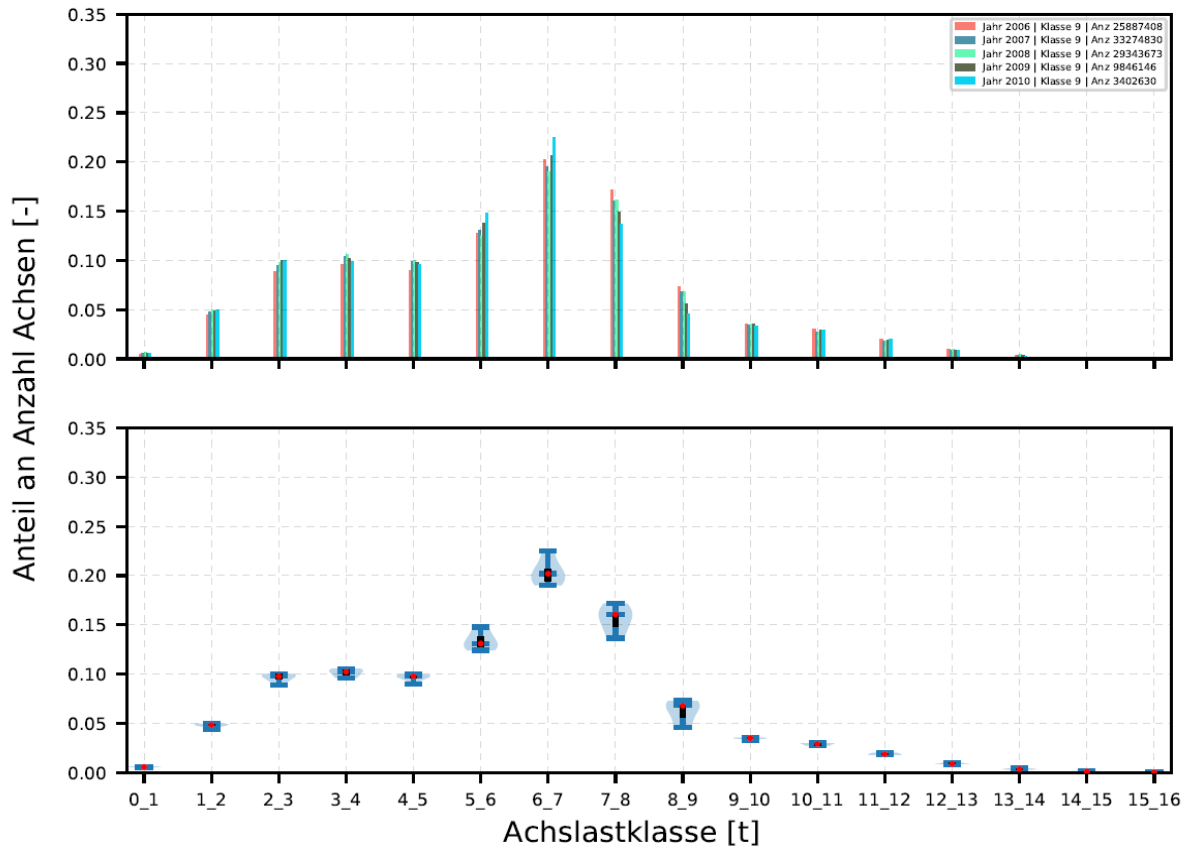


Bild 3-24: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

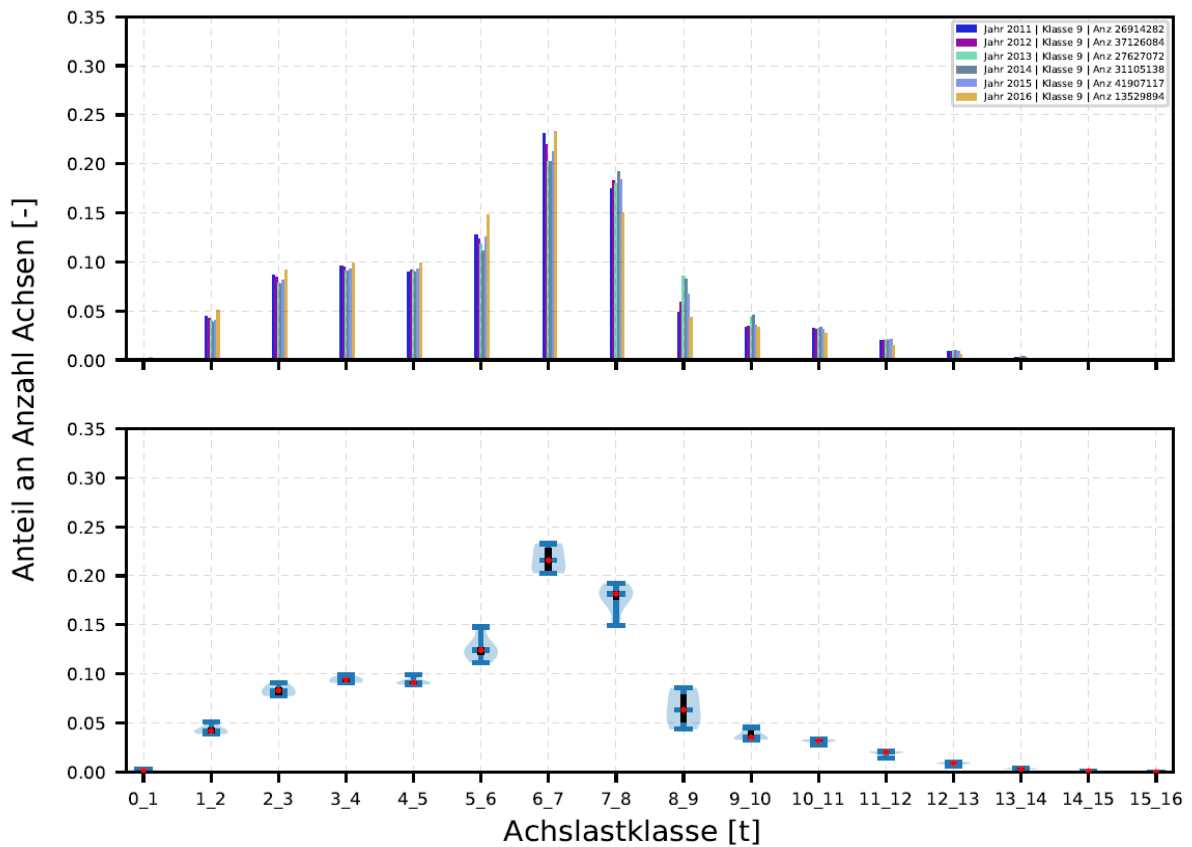


Bild 3-25: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate)

3.5.2 Fahrzeugklassen bezogene Ortsabhängigkeit

In Bild 3-26, Bild 3-27, Bild 3-28 und Bild 3-29 sind sämtliche direkt auswertbaren Achslastdaten aufgeteilt nach Fahrzeugklassen enthalten. Hierbei werden die vorhandenen Daten summiert über alle Jahre, Monate und Hauptfahrstreifen nur anhand der Achslastmessstation aufgeteilt dargestellt.

Die stationsbezogenen fahrzeugspezifischen Streuungen der über alle Jahre, Monate und Hauptfahr-

streifen summierten Achslastverteilungen sind teilweise noch ausgeprägter als die Streuung des Gesamtkollektivs in Bild 3-8.

Die Achslastverteilung der Fahrzeugklasse LoA in Bild 3-26 weist bis 7 Tonnen und die Fahrzeugklasse Bus im Bild 3-27 über nahezu alle Achslastklassen starke Streuungen auf. Die Achslastverteilungen der Fahrzeugklasse LmA in Bild 3-28 und die Fahrzeugklasse in Bild 3-29 weisen jeweils starke Streuungen bis 9 Tonnen auf.

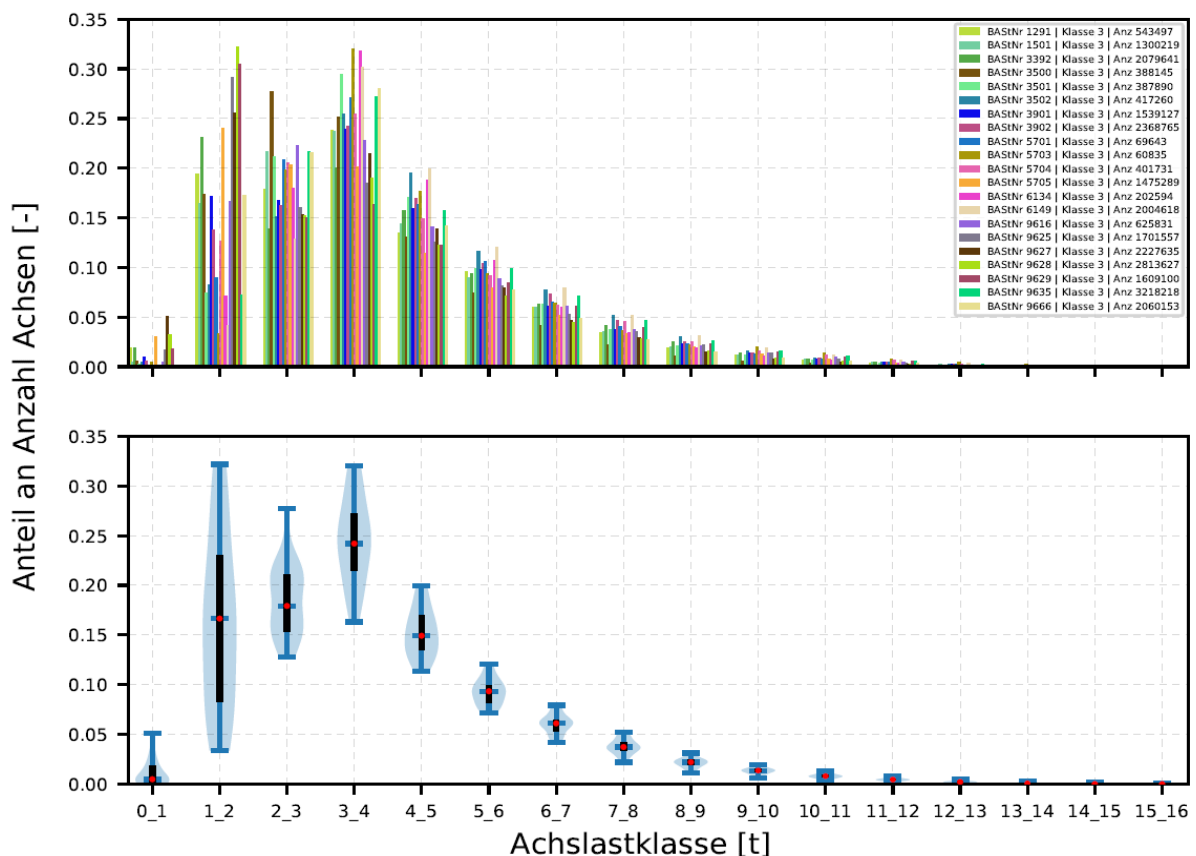


Bild 3-26: Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate)

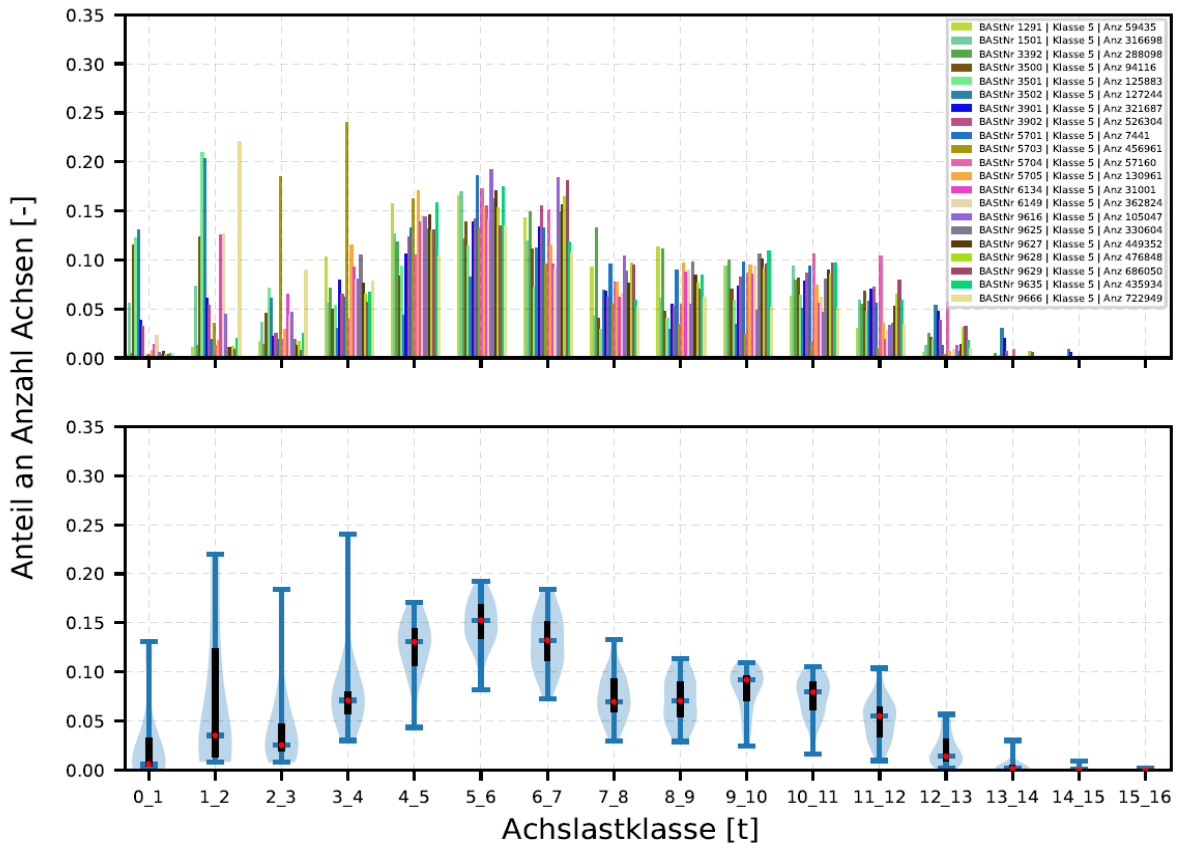


Bild 3-27: Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate)

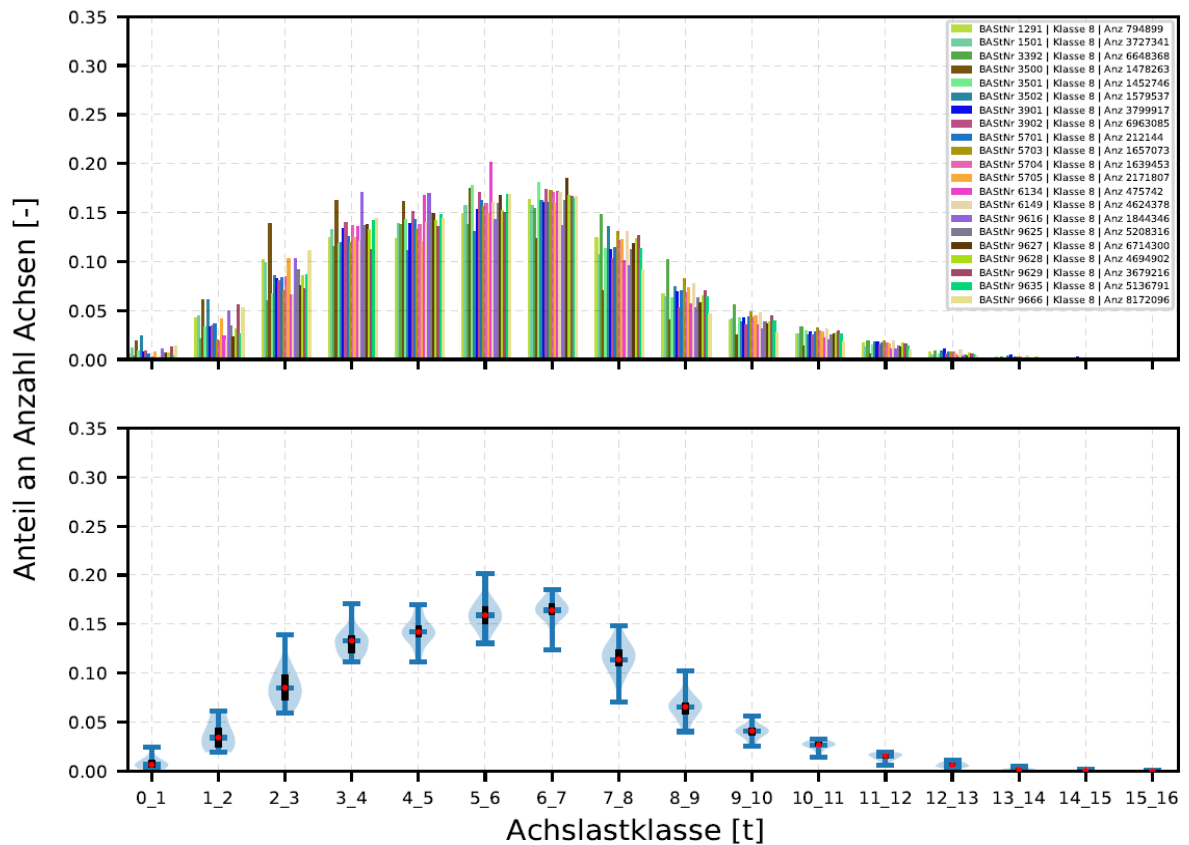


Bild 3-28: Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate)

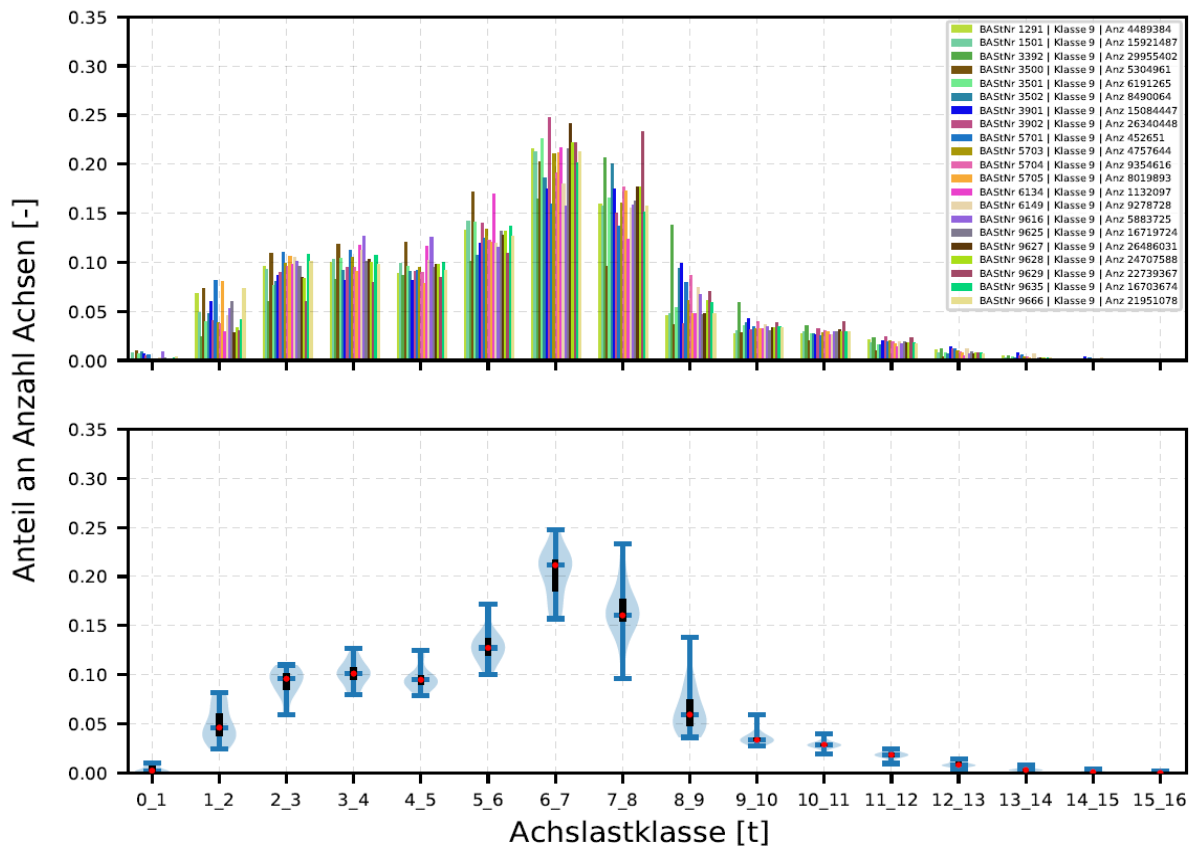


Bild 3-29: Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate)

Bild 3-26, Bild 3-27, Bild 3-28 und Bild 3-29 lassen zunächst keinen Rückschluss auf die Ortsunabhängigkeit fahrzeugklassenspezifischer Achslastverteilungen zu.

Der Ausschluss einzelner Stationen als augenscheinliche Ausreißer ist bei Einzelbetrachtung der Achslastdaten nicht eindeutig begründbar, da die Achslastmessstationen sehr unterschiedliche Messzeiträume aufweisen und Schwankungen auch auf real auftretende Streuungen innerhalb der Messdaten einer Messstation zurückzuführen sein können.

Exemplarisch sind in Bild 3-30 bis Bild 3-33 die jahresweisen fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen der Achslastmessstation 9666 dargestellt, die verdeutlichen, dass trotz Zeitunabhängigkeit der globalen fahrzeugspezifischen Achslastverteilungen an den einzelnen Stationen eine starke Streuung über die Jahre auftreten kann. Zurückzuführen ist dies auch auf eine variierende Zusammensetzung der Fahrzeugklassen aus unterschiedlichen Fahrzeugtypen, die jeweils für sich weniger

streuende fahrzeugtypenspezifische Achslastverteilungen aufweisen. Diese eignen sich jedoch, wie in Kapitel 3.2 erörtert, nicht zur Übertragung auf das flächendeckende Netz, da die Dauerzählstellen keine fahrzeugtypweise Erfassung gemäß [TLS 12] vornehmen. Für die weiteren Auswertungen werden die fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen entsprechend den dahinterstehenden absoluten Achsüberrollungen aus den fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen gewichtet zusammengesetzt. Dieses Vorgehen verhindert die übermäßige Wichtung von ggf. verfälschenden Achslastverteilungen auf Basis zu geringer Datenmengen.

Gleichzeitig kann die Genauigkeit gegenüber einer einzigen Achslastverteilung erhöht werden, da beispielsweise Strecken die einen hohen LmA Anteil aufweisen von der stärkeren Wichtung der weniger stark streuenden Achslastverteilung für LmA profitieren.

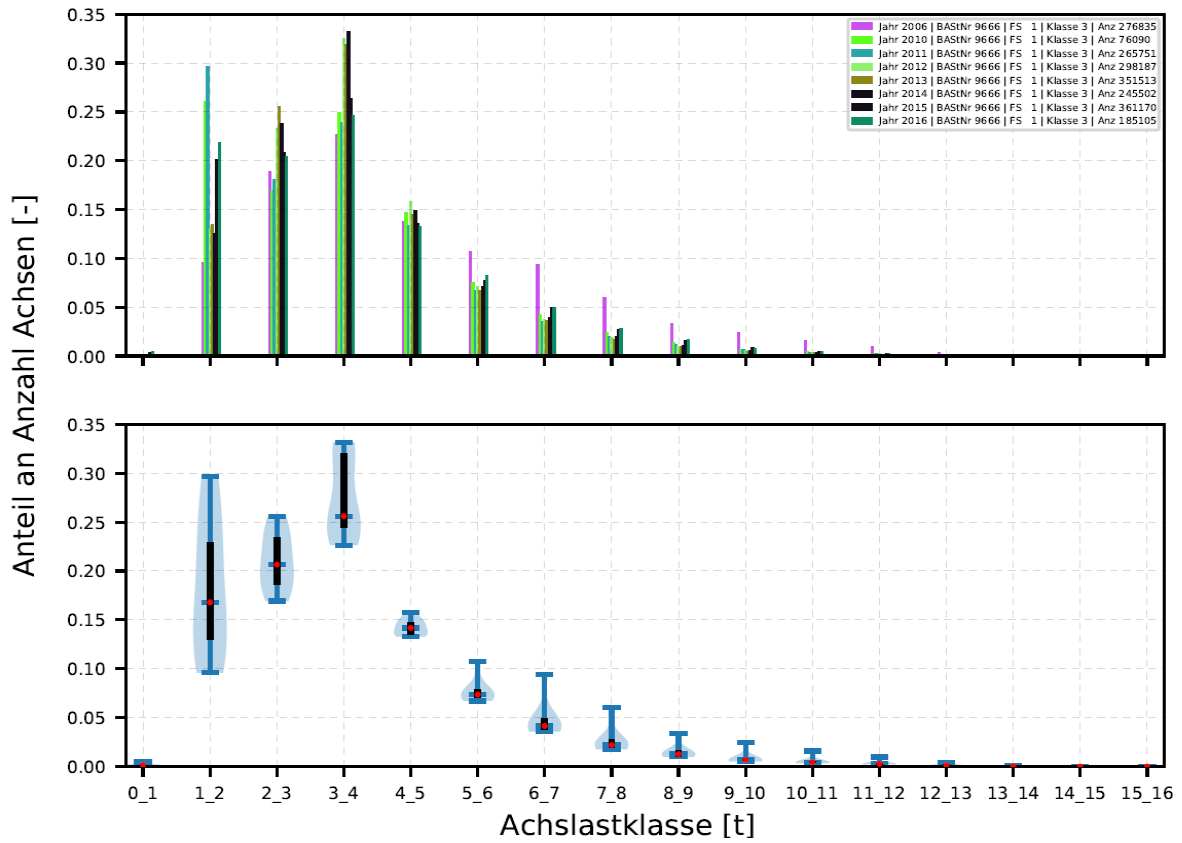


Bild 3-30: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmessstation 9666 – Fahrzeugklasse LoA, (Unterscheidung nach Jahren)

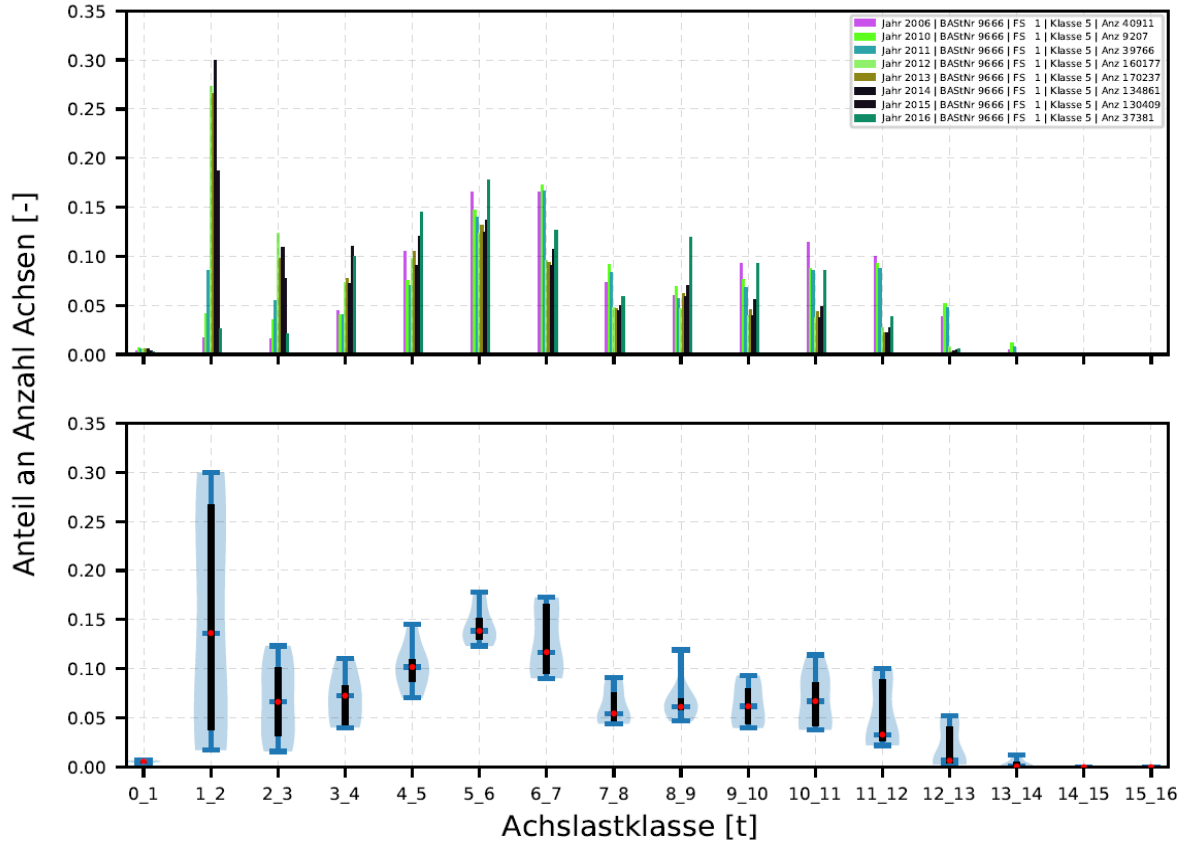


Bild 3-31: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmessstation 9666 – Fahrzeugklasse Bus, (Unterscheidung nach Jahren)

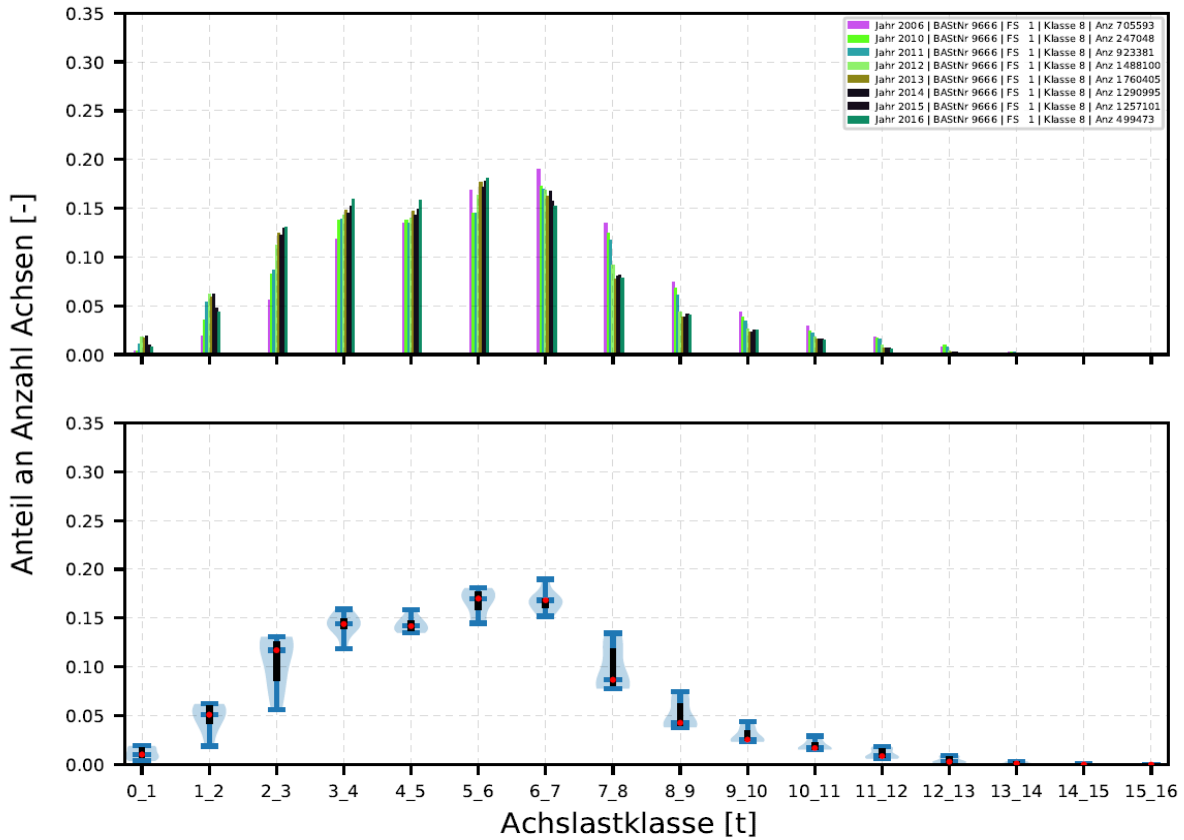


Bild 3-32: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmesstation 9666 – Fahrzeugklasse LmA, (Unterscheidung nach Jahren)

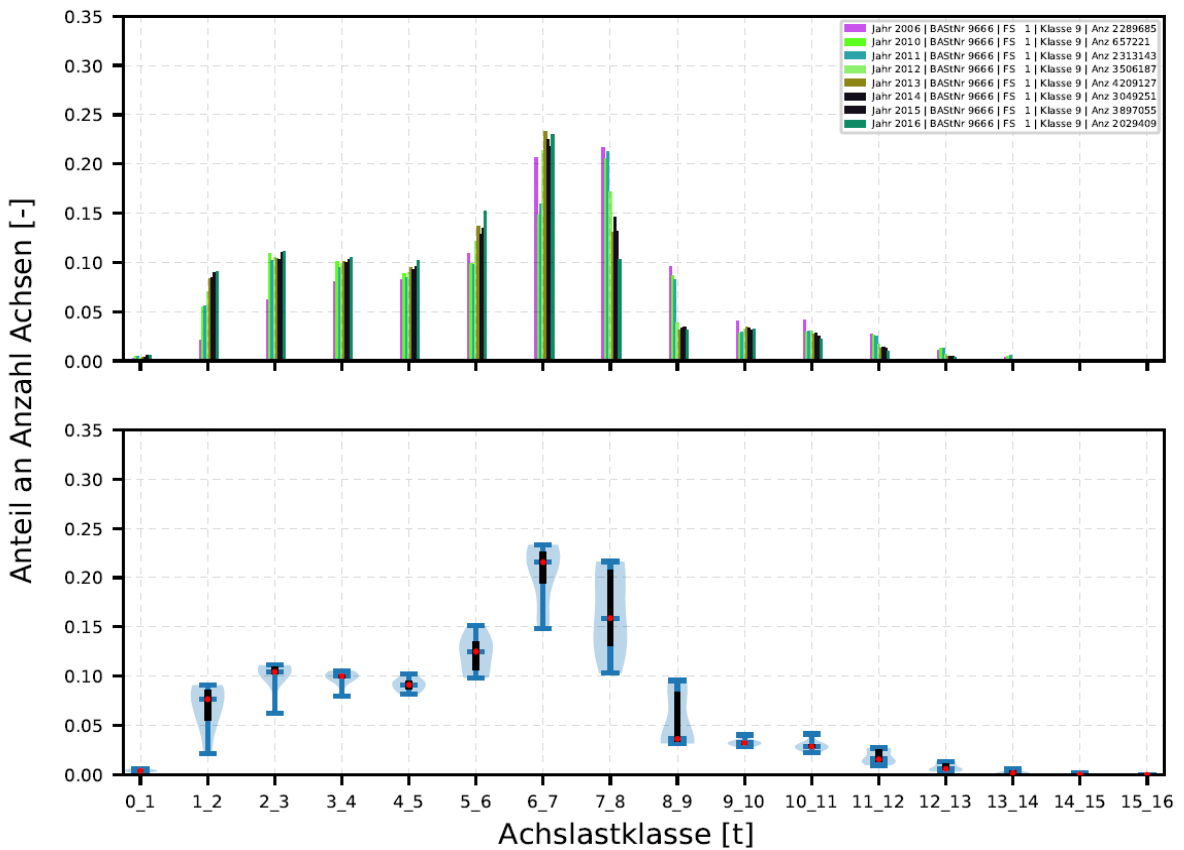


Bild 3-33: Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmesstation 9666 – Fahrzeugklasse Sat, (Unterscheidung nach Jahren)

3.6 Einfluss unterschiedlicher Straßenkategorien auf den Beladungszustand des Schwerverkehrs

Ein wesentliches Ziel des Forschungsprojektes ist es, Achslastverteilungen für alle Straßenkategorien zu ermitteln. Hierbei werden die auf BAB ermittelten Achslastverteilungen anhand der jeweiligen Fahrzeugklassenverteilungen auf das nachgeordnete Netz übertragen.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob es hinsichtlich der Beladung der jeweiligen Fahrzeugklasse und somit auch bei den Achslastverteilungen deutliche Unterschiede zwischen den Straßenkategorien gibt. Um hierzu eine Aussage treffen zu können, wurde zunächst eine Literatur- und Internetrecherche durchgeführt. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass sowohl national als auch international keine Hinweise gefunden wurden.

Die Statistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes geben zwar Hinweise auf Fahrten mit und ohne Ladung sowie zur beförderten Gütermenge in Bezug auf das Ladungsvermögen, allerdings erfolgt hierbei keine Differenzierung nach der Straßenkategorie. Darüber hinaus sind in dieser Statistik nur die deutschen Lkw enthalten [KBA, 2015].

Um hierzu weitere Informationen zu erhalten, wurden verschiedene Institutionen zu ihrer Einschätzung befragt. Dies waren:

- Bundesamt für Güterverkehr (BAG)
- Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), AA1.18 „Güterverkehr“
- Senatsverwaltung Berlin

Alle Stellen haben mitgeteilt, dass hierzu keine Statistiken, Untersuchungen oder sonstigen Informationen vorhanden sind. Hinsichtlich der gestellten Problematik wurden die nachfolgenden Hinweise gegeben:

- Prinzipiell gibt es keine Fahrten, die nur auf der BAB beginnen und enden und somit das nachgeordnete Netz nicht berühren. Im Landstraßennetz finden dagegen Fahrten statt, die die BAB nicht befahren (z. B. Baustellen-Versorgungsfahrten).

- Fernverkehrs-Lkw, die auf dem nachgeordneten Straßennetz unterwegs sind, werden sicherlich regelmäßig die gleichen Gewichte wie auf Autobahnen aufweisen, da es sich bei diesen Fahrten um Fahrtenabschnitte auf dem Weg von/zur Autobahn handelt. Insgesamt dürften die Gesamtgewichte und Achslasten auf dem nachgeordneten Netz niedriger ausfallen, da hier im Regional- und Nahverkehr eingesetzte Lkw einen deutlich höheren Verkehrsanteil haben als auf Autobahnen. Verteiler-Lkw (und -Sattelzüge) weisen aufgrund der geringeren Sendungsgrößen regelmäßig niedrigere Gesamtgewichte und Achslasten auf. Andererseits sind auf dem nachgeordneten Netz in größerem Umfang Fahrzeuge mit Baustoffen unterwegs, die im Gegensatz zu den Verteilerfahrzeugen relativ hohe Fahrzeuggesamtgewichte und Achslasten aufweisen.
- Unterschiede zwischen Fern- und Regionalverkehr können allenfalls abgeschätzt werden. So ist der Hauptlauf vermutlich optimiert auf zulässige Maße und Gewichte, während sich die Feiverteilung eher am lokalen, realen Bedarf orientiert, der vom zulässigen Maximum abweicht. Darüber hinaus kann vermutet werden, dass im Regionalverkehr eher Fahrten ohne Rückladung stattfinden.
- Fahrten im Fernverkehr führen häufiger über die Autobahn. Allerdings dienen die Fahrten im Straßengüterverkehr dazu, die Verteilung der Güter in die Fläche vorzunehmen. Es ist daher anzunehmen, dass die Güter in der Regel nicht direkt nach Abfahrt von einer Autobahn abgeladen und somit mit denselben Achslasten auch untergeordnete Straßen befahren werden.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass derzeit keine Informationen über die Beladungszustände im Güterverkehr vorliegen, die eine unterschiedliche Beladung je nach Straßenkategorie belegen. Die Ausführungen der befragten Institutionen zeigen, dass mit der Annahme einer Gleichverteilung der Achslastdaten vermutlich ein gewisser Sicherheitszuschlag inbegriffen ist und die tatsächlichen Achslastverteilungen eher geringer ausfallen. Somit wird zunächst auf der Basis dieser Erkenntnisse empfohlen, die ermittelten Achslastverteilungen auch für die Straßenkategorien außerhalb der Autobahnen zu verwenden.

4 Bestimmung der Achslastverteilungen und Achslastverteilungsfunktionen

In diesem Kapitel wird erörtert, wie aus den gemessenen Achslastmessdaten Achslastverteilungen in Form von Histogrammen gewonnen werden. Für Achslasten von mehr als 16 t liegen keine Daten vor, da diese von den Achslastmessstellen nicht zuverlässig erfasst werden. Basierend auf diesen Achslastverteilungen werden Achslastverteilungsfunktionen bestimmt, die auch höhere Achslasten abbilden. Diese Achslastverteilungsfunktionen können als Verkehrslasten verwendet werden. Alternativ können die Histogramme der Achslastverteilungen, um Achslastklassen ergänzt werden, die über den gemessenen Achslastmessbereich bis 16 t hinausgehen. Hierzu werden die Achslastklassen jenseits von 16 t aus den Achslastverteilungsfunktionen abgeleitet.

Alle fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen basieren auf Daten der Achslastmessstellen im Bundesautobahnnetz. Sie sind somit die fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen und Achslastverteilungsfunktionen für die Bundesautobahnen, die jedoch für alle Straßenklassen angesetzt werden.

4.1 Achslastverteilungen

4.1.1 Methodik

Die folgenden Untersuchungen basieren auf den in den Kapiteln 2 und 3 beschriebenen Daten der verwendeten Achslastmessstellen (AMS). Ziel war es, aktuelle Achslastverteilungen für Bundesautobahnen zu ermitteln sowie diese mit den in den [RDO Asphalt 09] enthaltenen dimensionierungsrelevanten Histogrammen zu vergleichen, um notwendigen Änderungsbedarf zu identifizieren und bei Bedarf zu beschreiben.

Weiteres Ziel war es, den in dieser Forschungsarbeit gewählten methodischen Ansatz, die Achslastverteilung einer AMS durch „repräsentative“ fahrzeugklassenspezifische Achslastverteilungen ihrer vier Schwerverkehrsanteile – Lkw (LoA), Bus, Lkw mit Anhänger (LmA) und Sattel-Kfz (Sat) abzubilden, zu erproben. Für die Untersuchung lagen die Achslastverteilungen bereits nach Jahren und Fahrzeugklassen ($s=1$ für LoA bis $s=4$ für Sat) getrennt vor, wobei viele Jahre nur teilweise (monatsweise)

abgedeckt waren. Konkret handelte es sich um folgende Daten:

- AMS-Nummer, Fahrstreifen-Nr. und Jahr
- Fahrzeugklasse s
- Zugehörige Fahrzeuganzahl N_s
- Zugehörige mittlere Achsanzahl A_s
- Zugehörige Achslastverteilung $p_s(L)$ in 1 t-Klassen von $L = 1$ t bis $L = 16$ t.

Die Untersuchungen wurden auf die jeweiligen Hauptfahrstreifen der AMS (Codierung: 1 und 33) beschränkt. Jeder erfasste Hauptfahrstreifen wurde als eine AMS betrachtet. Insgesamt ergaben sich so 33 AMS. Bezeichnet i die laufende Nummer der AMS und n_j die Anzahl der Jahre, in denen eine AMS Daten gesammelt hat, so ergibt sich die durchschnittliche Achslastverteilung der AMS i zu

$$p_i(L) = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i} \cdot p_{s,j,i}(L))}{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})} \quad (4-1-1)$$

$N_{s,j,i}$:= Fzg. anzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i

$A_{s,j,i}$:= mittl. Achsanzahl (Klasse s), Jahr j , AMS i

$p_{s,j,i}(L)$:= Achslastverteilg (Klasse s), Jahr j , AMS i

$N_{s,j,i}$ bezeichnet in diesem Falle die Anzahl der im Jahr j an AMS i erfassten Fahrzeuge der Fahrzeugklasse s . $A_{s,j,i}$ bzw. $p_{s,j,i}(L)$ bezeichnen die zu dieser Fahrzeugklasse gehörende mittlere Achsanzahl bzw. mittlere Achslastverteilung – jeweils für die betrachtete AMS (i) und das betrachtete Jahr j .

Bezug nehmend auf den in dieser Arbeit gewählten methodischen Ansatz, wonach sich die Achslastverteilung einer AMS auch durch „repräsentative“ fahrzeugklassenspezifische Achslastverteilungen ihrer vier Schwerverkehrsanteile - LoA, Bus, LmA. und Sat - abbilden lässt, kann Gleichung (4-1-1) wie folgt umgeschrieben werden

$$p_{i,\text{mod}}(L) = \frac{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_s^* \cdot p_s^*(G))}{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_s^*)} \quad (4-1-2)$$

$N_{s,j,i}$:= Fzg. anzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i

A_s^* := repräs. Achsanzahl der Fzg. art s

$p_s^*(L)$:= repräs. Achslastverteilung der Fzg. art s

$N_{s,j,i}$ bezeichnet, wie oben, die Anzahl der im Jahr j an dieser AMS (i) erfassten Fahrzeuge der Fahr-

zeugklasse s . $p_s^*(L)$ bezeichnet eine für die Fahrzeugklasse s repräsentative Achslastverteilung und A_s^* eine dazugehörige repräsentative Achszahl. Beide werden als zeitlich und von der örtlichen Lage der AMS unabhängig angenommen. Ihre Berechnung wird im nächsten Abschnitt dargestellt.

4.1.2 Ermittlung der repräsentativen Achslastverteilungen und Achszahlen für die Fahrzeugklassen LoA, Bus, LmA und Sat

Die repräsentativen Achslastverteilungen wurden durch eine Mittelung über alle zur Verfügung stehenden AMS und Jahre durchgeführt. Wenn n_i die Gesamtzahl der für die Mittelung herangezogenen AMS bezeichnet (hier: $n_i = 33$), dann berechnet sich die repräsentative Achslastverteilung $p_s^*(L)$ zu

$$p_s^*(L) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i} \cdot p_{s,j,i}(L))}{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})} \quad (4-1-3)$$

$N_{s,j,i}$:= FzgAnzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i

$A_{s,j,i}$:= mittl. Achszahl (Klasse s), Jahr j , AMS i

$p_{s,j,i}(L)$:= Achslastverteilg (Klasse s), Jahr j , AMS i

Die Gleichung zur Berechnung der „repräsentativen“ Achszahl A_s^* lautet entsprechend:

$$A_s^* = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})}{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} N_{s,j,i}} \quad (4-1-4)$$

Aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten der AMS bestimmen bei Anwendung der Gleichungen (4-1-3) und (4-1-4) die AMS mit den längsten Laufzeiten bzw. meisten Fahrzeugübergängen die repräsentativen Achslastverteilungen und Achszahlen stärker als andere. Will man alle AMS gleichgewichtet zur Bestimmung der repräsentativen Achslastverteilungen und Achszahlen heranziehen, so muss die entsprechende repräsentative Achslastverteilung

$$p_s^*(L) = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i} \cdot p_{s,j,i}(L))}{\sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})} \right) \quad (4-1-5)$$

$N_{s,j,i}$:= FzgAnzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i

$A_{s,j,i}$:= mittl. Achszahl (Klasse s), Jahr j , AMS i

$p_{s,j,i}(L)$:= Achslastverteilg (Klasse s), Jahr j , AMS i

angesetzt werden. Die Gleichungen zur Berechnung der „repräsentativen“ Achszahl A_s^* lautet dann:

$$A_s^* = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})}{\sum_{j=1}^{n_j} (N_{s,j,i})} \right) \quad (4-1-6)$$

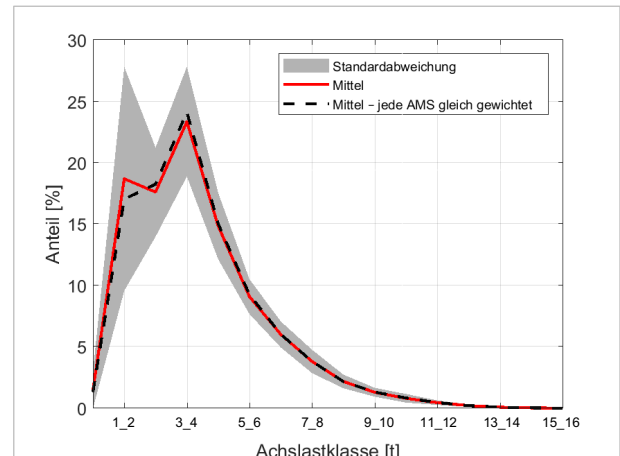


Bild 4-1: Repräsentative Achslastverteilung auf BAB - LoA

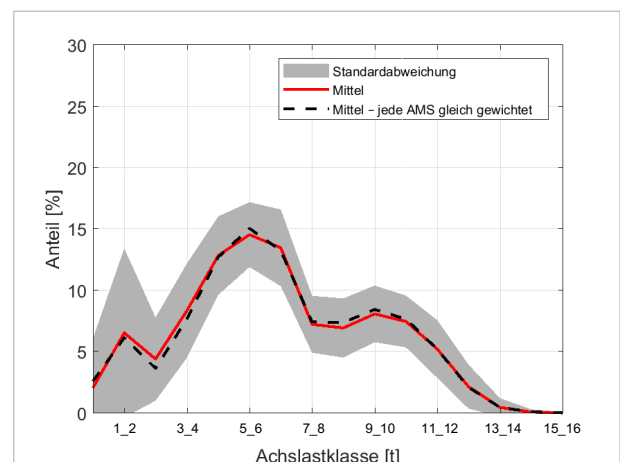


Bild 4-2: Repräsentative Achslastverteilung auf BAB - Bus

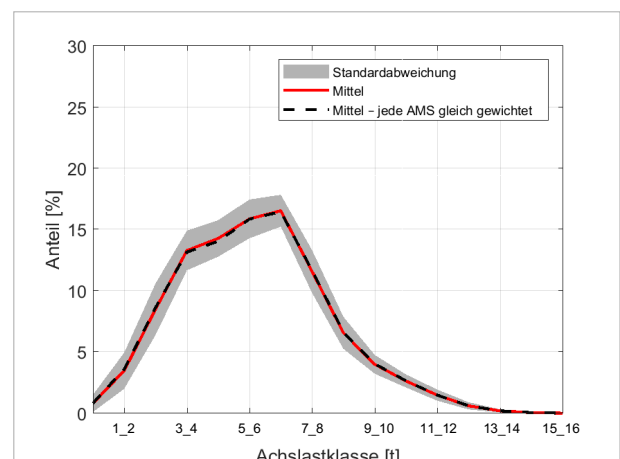


Bild 4-3: Repräsentative Achslastverteilung auf BAB - LmA

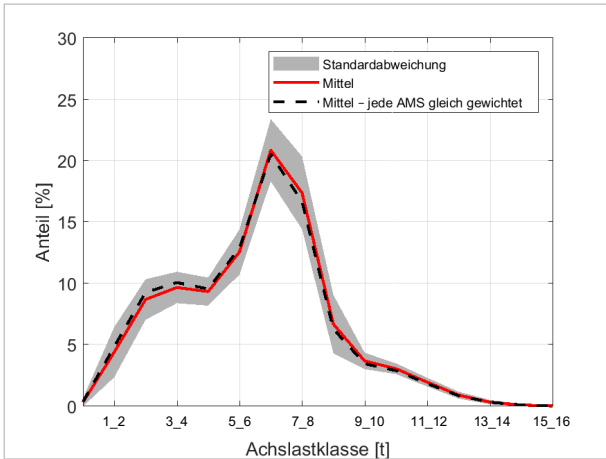


Bild 4-4: Repräsentative Achslastverteilung auf BAB – Sat

Bild 4-1 bis Bild 4-4 zeigen die repräsentativen Achslastverteilungen für die 4 Fahrzeugklassen LoA, Bus, LmA und Sat.

Die rote Linie stellt die repräsentative Achslastverteilung $p_s^*(L)$ nach Gl. (4-1-3) und die schwarz-gestrichelte Linie die repräsentative Achslastverteilung $p_s^*(L)$ nach Gl. (4-1-5) dar. Die grauen Bereiche markieren den Streubereich (Standardabweichung) um die rote Linie unter Einbeziehung aller 33 AMS.

Bild 4-5 zeigt die Auswertung der mittleren Achsanzahlen A_s für die vier Schwerverkehrsklassen (LoA, Bus, LmA und Satz), wie sie sich aus der Betrachtung aller 33 AMS ergeben. Die Boxplots enthalten die gesamten Streubereiche, die 25-75 %-Perzentile, sowie die jeweiligen Mediane.

Die Mittelwerte bzw. repräsentativen Achsanzahlen A_s^* nach Gl. (4-1-4) - sowie nach Gl. (4-1-6) für den Fall der Gleichgewichtung aller AMS - sind in Tab. 4-1 zusammengestellt.

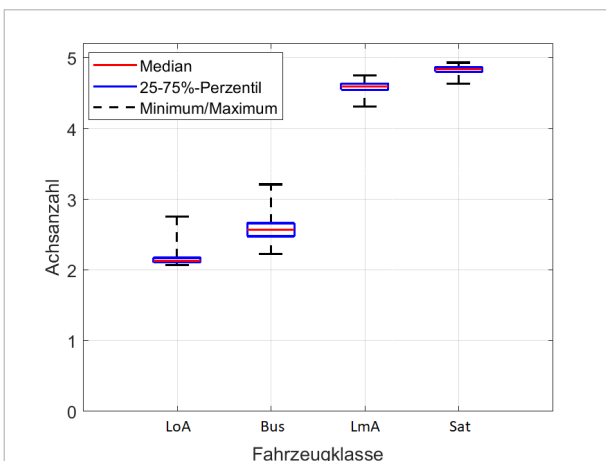


Bild 4-5: Mittlere Achszahlen A_s für die 4 SV-Klassen auf BAB

LoA	Bus	LmA	Sat
2,15	2,60	4,57	4,84
2,17*	2,61*	4,57*	4,84*

Tab. 4-1: Repräsentative Achszahlen für die 4 SV-Klassen. (*: = bei Gleichgewichtung der AMS)

Wie man aus den Bildern (Bild 4-1 bis Bild 4-4) und Tab. 4-1 erkennen kann, spielt es bei der vorgegebenen Datengrundlage praktisch keine Rolle, ob die AMS gleich gewichtet oder aber entsprechend ihrer Laufzeiten bzw. ihrer Fahrzeugübergänge gewichtet in die Berechnung der repräsentativen Achslastverteilungen und Achszahlen der vier SV-Klassen eingehen. Die Ergebnisse (siehe auch Tab. 4-1) fallen nur marginal unterschiedlich aus. Das wird sich auch in dem nächsten Abschnitt 4.1.3, in dem es um die Ermittlung der realen Achslastverteilungen der AMS geht, weiter so zeigen.

4.1.3 Ermittlung der realen Achslastverteilungen der AMS

Die realen Achslastverteilungen wurden gemäß Gleichung (4-1-1) aus den vorliegenden Daten der AMS berechnet.

Bild 4-6 zeigt die realen Achslastverteilungen für alle AMS in Form von grauen Linien. Zusätzlich ist der Mittelwert der Kurvenschar eingetragen:

- in rot für den Fall eines gewichteten Eingangs der AMS in die Berechnung (d. h. gemäß ihrer Laufzeiten und Fahrzeugübergänge), sowie
- in schwarz-gestrichelt für den Fall einer Gleichgewichtung aller AMS (= Mittelwert aller grauen Linien)

Wenn $n_i = 33$ die Gesamtzahl der für die Mittelung herangezogenen AMS bezeichnet und n_j die Anzahl der Jahre, in denen eine AMS Daten gesammelt hat, erfolgt die gewichtete Mittelung (rote Kurve) gemäß:

$$\bar{p}(L) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i} \cdot p_{s,j,i}(L))}{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})} \quad (4-1-7)$$

$N_{s,j,i} :=$ FzgAnzahl (Art s) im Jahr j an der AMS i

$A_{s,j,i} :=$ mittl. Achszahl (Art s), Jahr j, AMS i

$p_{s,j,i}(L) :=$ Achslastverteilg (Art s), Jahr j, AMS i

Die Mittelung im Sinne einer Gleichgewichtung aller AMS (schwarz-gestrichelte Kurve) erfolgt über

$$\bar{p}(L) = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i} \cdot p_{s,j,i}(L))}{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})} \right) \quad (4-1-8)$$

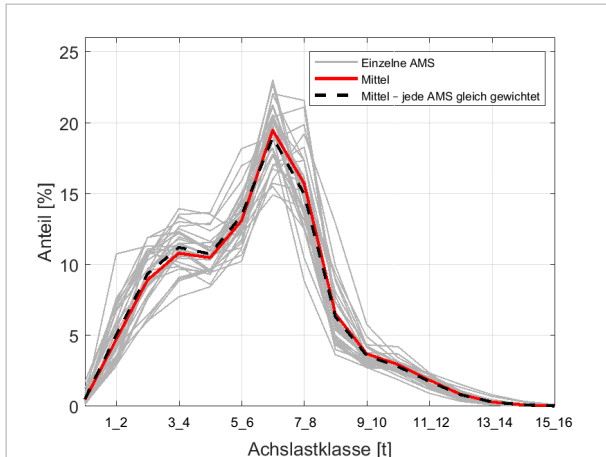


Bild 4-6: Reale Achslastverteilungen der 33 AMS auf BAB

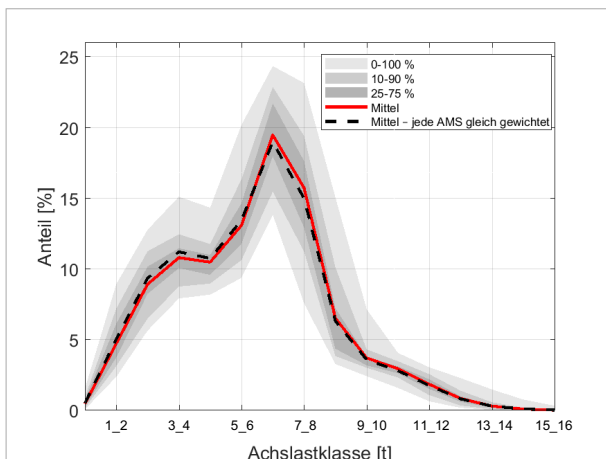


Bild 4-7: Reale Achslastverteilungen der AMS auf BAB; Streubereiche aller AMS und Betriebsjahre (137 Datensätze)

Wie in Bild 4-6 zu sehen, spielt es für die Bestimmung der mittleren Achslastverteilung (siehe auch Kapitel 4.1.2) praktisch keine Rolle, ob die AMS gleich gewichtet oder entsprechend ihrer Laufzeiten bzw. ihrer Fahrzeugübergänge gewichtet in die Berechnung eingehen. Die mittleren Achslastverteilungen sind nahezu identisch.

Bild 4-7 zeigt im Prinzip den gleichen Sachverhalt wie Bild 4-6, jedoch mit dem Unterschied, dass anstelle der Einzelverteilungen der AMS (graue Linien) deren Streubereiche in Form unterschiedlicher Perzentile abgebildet sind.

Aus den Untersuchungen lässt sich feststellen, dass die AMS eine ähnliche Achslastcharakteristik aufweisen. Die verkehrlich ähnliche Charakteristik zeigt sich auch in den Lastzugfaktoren der AMS. Der Lastzugfaktor stellt das Verhältnis der Lastzüge zu dem gesamten Schwerverkehr dar und kann näherungsweise wie folgt berechnet werden.

$$\text{LZF} = \frac{N_{\text{Lkwa}} + N_{\text{Sattel-Kfz}}}{N_{\text{Lkw}} + N_{\text{Bus}} + N_{\text{Lkwa}} + N_{\text{Sattel-Kfz}}} \quad (4-1-9)$$

Die Lastzugfaktoren der AMS liegen alle in einem engen Bereich zwischen etwa 0,73 und 0,92 und weisen damit die betreffenden Strecken in ihrer Funktion ausnahmslos als „Autobahnen mit überwiegend Güterfernverkehr ohne Einfluss durch Verdichtungsräume“ aus [HRDTV-Pro].

Bild 4-8 zeigt die ermittelten Lastzugfaktoren für die 33 AMS.

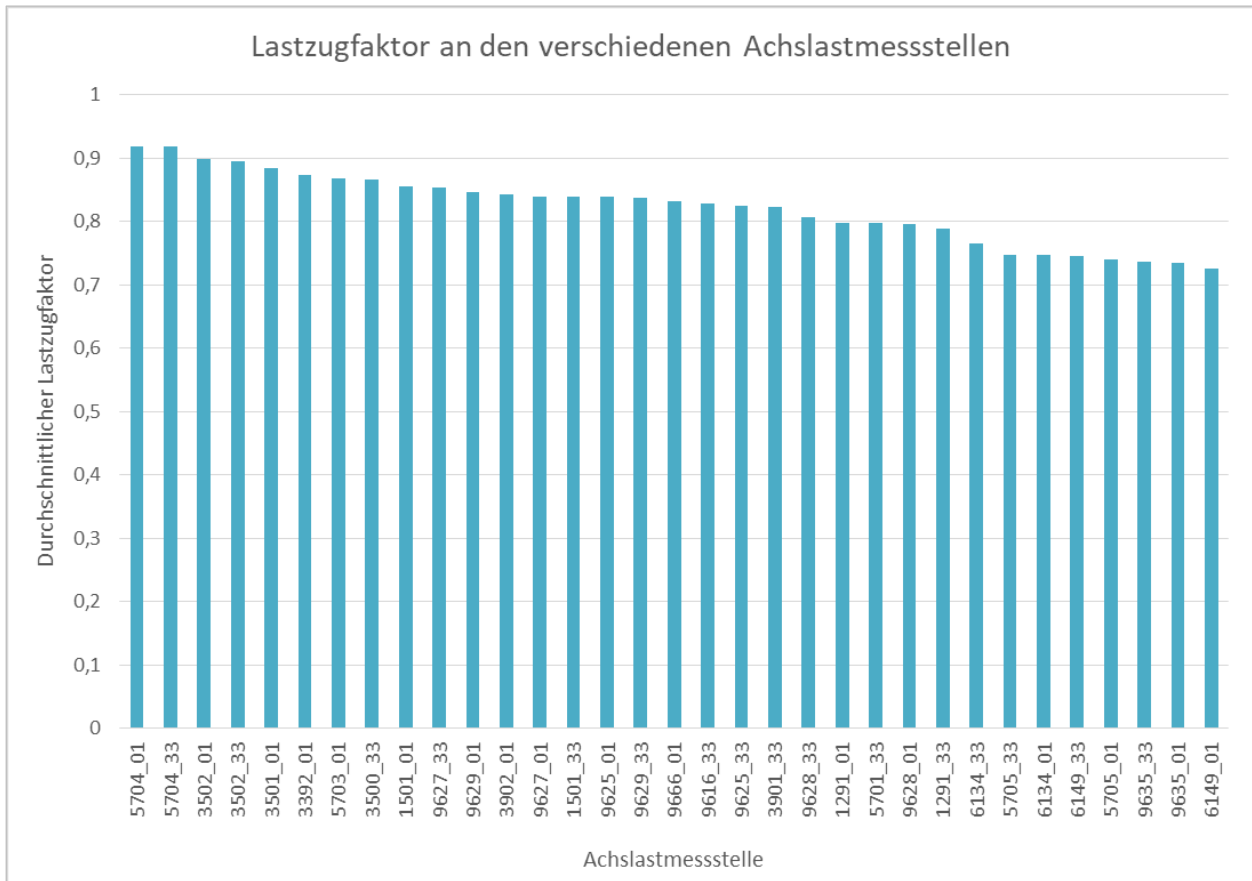


Bild 4-8: Lastzugfaktoren der 33 AMS auf BAB

4.1.4 Ermittlung der berechneten Achslastverteilungen der AMS auf BAB

Unter dem Begriff der „berechneten“ Achslastverteilungen wird im Folgenden diejenige Achslastverteilung verstanden, die auf Basis des methodischen Ansatzes berechnet worden ist, wonach sich die Achslastverteilung einer AMS auch durch repräsentative fahrzeugklassenspezifische Achslastverteilungen abbilden lässt (siehe Abschnitt 4.1.1 und 4.1.2).

Die Berechnung der Achslastverteilung erfolgt mit Gleichung (4-1-2) unter Verwendung der repräsentativen Achslastverteilungen und Achszahlen der vier Schwerverkehrsklassen nach Abschnitt 4.1.2. Hierbei wurde wieder nach beiden Fällen unterschieden:

- Gewichtete Berechnung (rote Kurven in Bild 4-1 bis Bild 4-4) und
- Alle AMS gleich gewichtet (schwarz-gestrichelte Kurven in Bild 4-1 bis Bild 4-4)

Bild 4-9 zeigt das Ergebnis für alle 33 AMS und den zwei Varianten (insgesamt 2 mal 33 = 66 graue Kurven). Aufgrund der sehr ähnlichen Schwerverkehrs-

zusammensetzung liegen die mit dem methodischen Ansatz berechneten Kurven so dicht beieinander, dass sie kaum voneinander unterscheidbar sind. Die rote Kurve stellt den Mittelwert (gewichtet) und die schwarz-gestrichelte Kurve den Mittelwert bei Gleichgewichtung aller AMS dar.

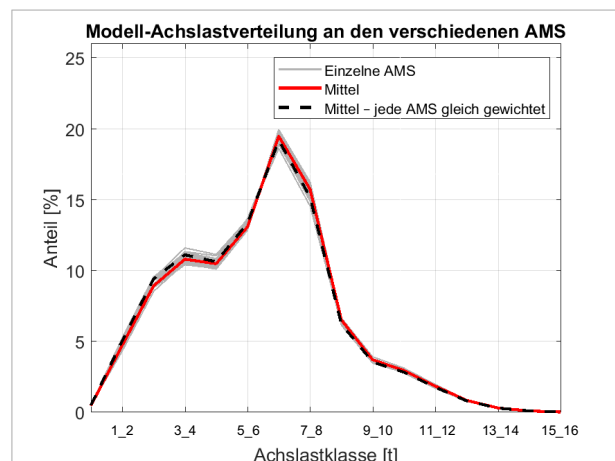


Bild 4-9: Berechnete Achslastverteilungen der AMS auf BAB

Wenn $n_i = 33$ die Gesamtzahl der für die Mittelung herangezogenen AMS bezeichnet, erfolgt die gewichtete Mittelung (rote Kurve) gemäß (4-1-10):

$$\bar{p}(\mathbf{L}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_s^* \cdot p_s^*(\mathbf{L}))}{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_s^*)} \quad (4-1-10)$$

$N_{s,j,i}$:= Fzg. anzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i
 A_s^* := repräsentative Achszahl in Fzg. art s
 $p_s^*(\mathbf{L})$:= repräsent. Achslastverteilung, Fzg. art s
 $A_s^*, p_s^*(\mathbf{L})$ für den gewichteten Fall
 (s. Bild 4 – 1 bis Bild 4 – 4)

Die Mittelung im Sinne einer Gleichgewichtung aller AMS (schwarz-gestrichelte Kurve) erfolgt über:

$$\bar{p}(\mathbf{L}) = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} \left(\frac{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_s^* \cdot p_s^*(\mathbf{L}))}{\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_s^*)} \right) \quad (4-1-11).$$

$N_{s,j,i}$:= Fzg. anzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i
 A_s^* := repräsentative Achszahl in Fzg. art s
 $p_s^*(\mathbf{L})$:= repräsent. Achslastverteilung, Fzg. art s
 $A_s^*, p_s^*(\mathbf{L})$ für den Fall, dass alle AMS gleich gewichtet
 (gemäß Bild 4 – 1 bis Bild 4 – 4)

4.1.5 Vergleich von realen und berechneten Achslastverteilungen der AMS

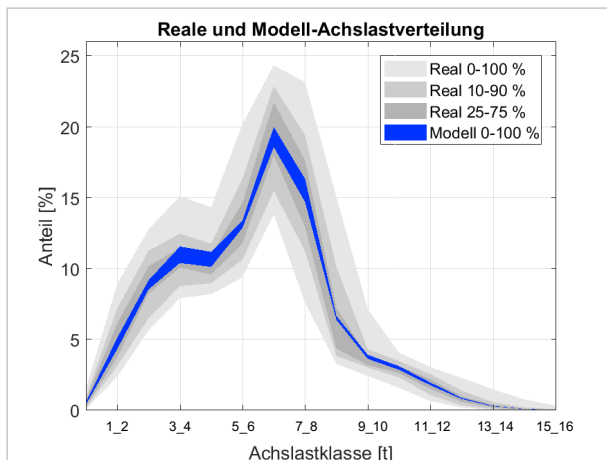


Bild 4-10: Vergleich von realen und berechneten Achslastverteilungen der AMS auf BAB; Streubereiche

In Bild 4-10 ist der Vergleich zwischen realen und berechneten Achslastverteilungen (methodischer Ansatz) dargestellt (Daten aus Bild 4-7 und Bild 4-9). Aus dem Vergleich zwischen realen (grauer Bereich) und berechneten Achslastverteilungen (blauer Bereich) wird deutlich, dass das Kollektiv der Achslastmessstellen eine hohe Homogenität aufweist und sehr gut durch eine gemeinsame Achslastcharakteristik beschrieben werden kann.

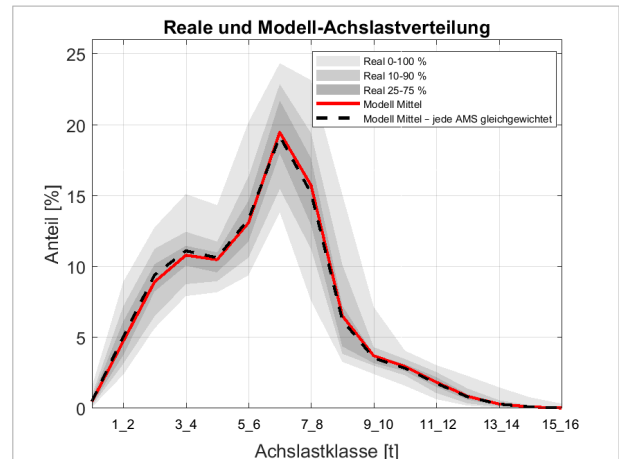


Bild 4-11: Repräsentative Achslastverteilung für BAB (Fernverkehr) mit Streubereich

Bild 4-11 stellt den Vergleich noch mal in etwas anderer Form dar – in Gestalt der Mittelwerte der „berechneten“ Achslastverteilungen (methodischer Ansatz) nach Gleichungen (4-1-10 und 4-1-11) in rot und schwarz-gestrichelt (dieselben Kurven wie in Bild 4-9) vor dem Hintergrund des Streubereiches der realen Achslastverteilungen aller AMS (grauer Bereich – identisch mit den grauen Bereichen in Bild 4-7 und Bild 4-10).

Die in Bild 4-11 abgebildete Achslastverteilung bildet den Fernverkehr ab, weil die untersuchten Achslastmessstellen allein den Fernverkehr repräsentieren.

Unter der Annahme, dass die weiter oben abgeleiteten repräsentativen fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen und Achszahlen (siehe Abschnitt 4.1.2) nicht nur für den BAB-Fernverkehr gelten, sondern auch auf andere BAB-Funktionsklassen übertragbar sind, können allerdings auch Achslastverteilungen für die Funktionsklasse „BAB-Mischverkehr“ und „BAB-stadtnaher Verkehr“ abgeleitet werden.

4.1.6 Ableitung von Achslastverteilungen für BAB-Fern-, Misch- und stadtnahen Verkehr mit Daten der Dauerzählstellen BAB

Die Ableitung von Achslastverteilungen für Mischverkehr und stadtnahen Verkehr erfolgt mithilfe der repräsentativen fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen und Achszahlen. Diese werden als zeitunabhängig, ortsunabhängig und auf den Misch- sowie stadtnahen Verkehr übertragbar angesehen.

Aus den 605 Dauerzählstellen (DZ) auf BAB können die in Tab. 4-2 aufgeführten SV-Anteile für die

Funktionsklassen BAB Fern-, Misch- und stadtnaher Verkehr in Ansatz gebracht werden (skaliert auf 100 %).

BAB	LoA	Bus	LmA	Sat
„Fern“	14,23 %	1,69 %	14,77 %	69,31 %
„Misch“	23,08 %	2,31 %	17,74 %	56,87 %
„Nah“	47,56 %	4,39 %	14,12 %	33,93 %

Tab. 4-2: Repräsentative prozentuale SV-Anteile bestimmt aus Daten von BAB-Dauerzählstellen (2015)

Die Ableitung der Achslastverteilungen

$$p_{\text{mod}}(\mathbf{L}) = \frac{\sum_{s=1}^4 (N_s^* \cdot A_s^* \cdot p_s^*(\mathbf{L}))}{\sum_{s=1}^4 (N_s^* \cdot A_s^*)} \quad (4-1-12)$$

- N_s^* := repräs. SV – Anteil [%] in Fzg. art s
- A_s^* := repräs. Achszahl in Fzg. art s
- $p_s^*(\mathbf{L})$:= repräs. Achslastverteilung, Fzg. art s
- $A_s^*, p_s^*(\mathbf{L})$ für den Fall, dass alle AMS gleich gewichtet

erfolgt analog zu Gleichung (4-1-2), wobei jedoch die absolute Fahrzeuganzahl N_s durch den repräsentativen, prozentualen SV-Anteil N_s^* ersetzt wird. N_s^* wird als zeitlich unabhängig betrachtet, wodurch sich im Gegensatz zu Gl. (4-1-2) eine Summation über die Jahre erübrigt.

Die repräsentativen Achslastverteilungen p_s^* und Achszahlen A_s^* unterscheiden sich nur marginal für den gewichteten Fall und den Fall, dass alle AMS gleich gewichtet in die Berechnung eingehen. Die Ableitung der Achslastverteilungen für BAB-Fern-, Misch- und stadtnahen Verkehr erfolgt im weiteren Verlauf mit den repräsentativen Achslastverteilungen p_s^* und Achszahlen A_s^* , die auf einer Gleichgewichtung der AMS beruhen (vgl. Bild 4-1 bis Bild 4-4 sowie Tab. 4-1).

Mit den SV-Anteilen der Dauerzählstellen und Gleichung (4-1-12) können Achslastverteilungen für den Fernverkehr abgeleitet werden (Bild 4-12, blaue Kurve). Zum Vergleich ist die auf die AMS-Daten beruhende repräsentative Achslastverteilung für den BAB-Fernverkehr aus Bild 4-11 in Rot eingezeichnet. Die Verteilungen ähneln sich sehr stark, was als Bestätigung für den gewählten methodischen Ansatz angesehen werden kann.

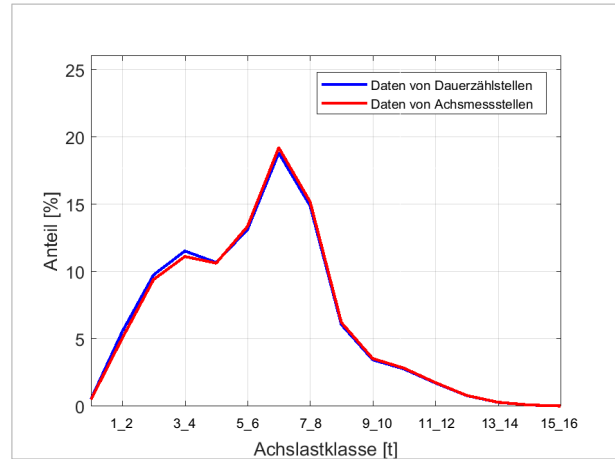


Bild 4-12: Achslastverteilung „Fern“-Verkehr: rot: nach AMS; blau: nach Tab. 4-2 (alle AMS gleichgewichtet)

Gegenüber der auf Dauerzählstellen beruhenden Verteilung (blau) ist bei der auf AMS-Daten beruhenden Achslastverteilung (rot) lediglich eine marginale Verschiebung der Häufigkeitsanteile von der 4 t-Klasse in die 7 t-Klasse zu verzeichnen. Der Grund dafür liegt darin, dass die AMS-Daten, auf denen die Auswertung beruht, eine Schwerverkehrszusammensetzung (LoA – Bus – LmA – Sat) widerspiegeln, die sich von der durchschnittlichen SV-Verteilung der Dauerzählstellen in Teilen unterscheidet.

Daten	LoA	Bus	LmA	Sat
AMS	7,12%	1,58%	18,82%	72,48%
DZ	14,23 %	1,69 %	14,77 %	69,31 %

Tab. 4-3: Fahrzeugklassenanteile BAB-Fernverkehr; Vergleich von AMS-Daten und Daten aus Dauerzählstellen

Tab. 4-3 zeigt diesen Sachverhalt und macht den höheren Anteil an Lastzügen (LmA und Sat) bei den AMS-Daten gegenüber den Daten der Dauerzählstellen (DZ) deutlich.

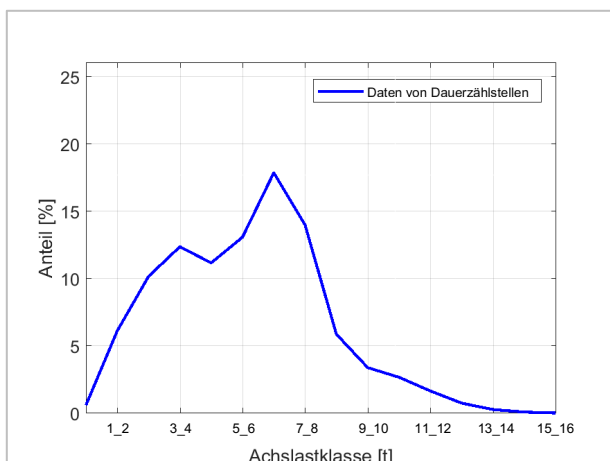


Bild 4-13: Abgeleitete Achslastverteilung für den Mischverkehr

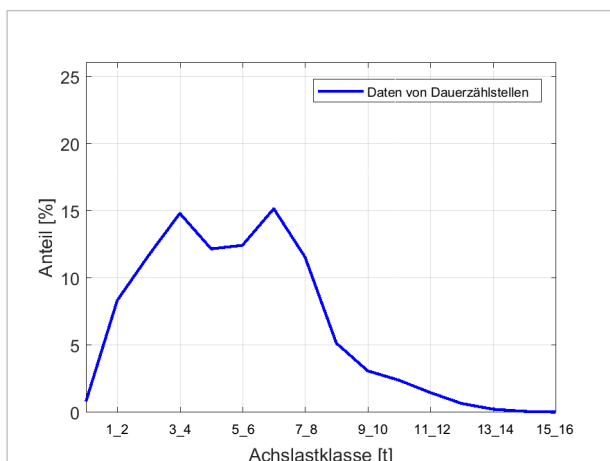


Bild 4-14: Abgeleitete Achslastverteilung für den stadtnahen Verkehr

Bild 4-13 gibt die abgeleitete Achslastverteilung für den Mischverkehr und Bild 4-14 die abgeleitete Achslastverteilung für den BAB-„stadtnahen Verkehr“ wieder. Im nächsten Kapitel werden die abgeleiteten Achslastverteilungen mit den Achslastverteilungen aus den [RDO Asphalt 09] verglichen.

4.1.7 Vergleich der abgeleiteten Achslastverteilungen mit den Achslastverteilungen aus den RDO Asphalt

Eine wesentliche Aufgabe der Untersuchungen bestand darin, die „dimensionierungsrelevanten Achslastverteilungen“ in den [RDO Asphalt 09] an Hand neuerer Achslastdaten zu überprüfen und ggf. durch aktuellere Achslastverteilungen zu ersetzen.

Die [RDO Asphalt 09] enthalten Achslastverteilungen, die nach Fern-, Misch- und stadtnahem Verkehr unterschieden werden. Diese basieren jedoch auf Klassenbreiten von 2 Tonnen, sodass die Achslastverteilungen in Bild 4-12 bis Bild 4-14 zunächst

von 1-Tonnen auf 2-Tonnen-Klassenbreiten umgerechnet wurden, um einen Vergleich zu ermöglichen.

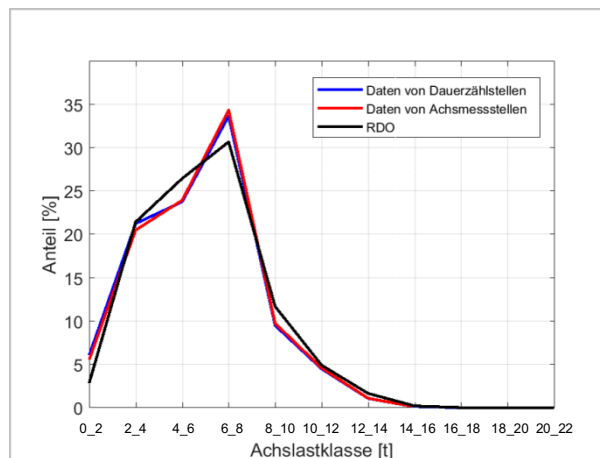


Bild 4-15: Achslastverteilung Fernverkehr - Vergleich mit den [RDO Asphalt 09]; Daten der AMS bis 16 t

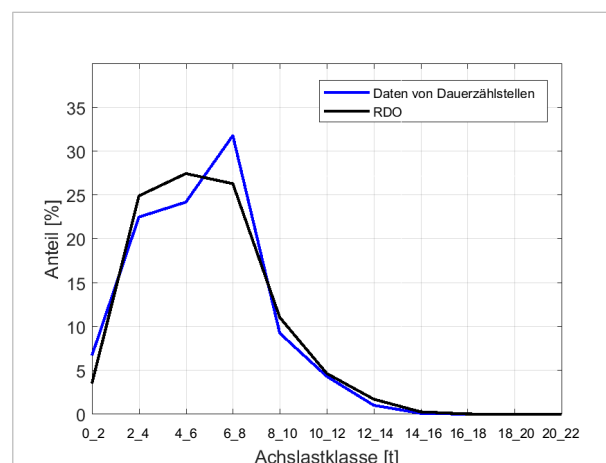


Bild 4-16: Achslastverteilung Mischverkehr - Vergleich mit den [RDO Asphalt 09]

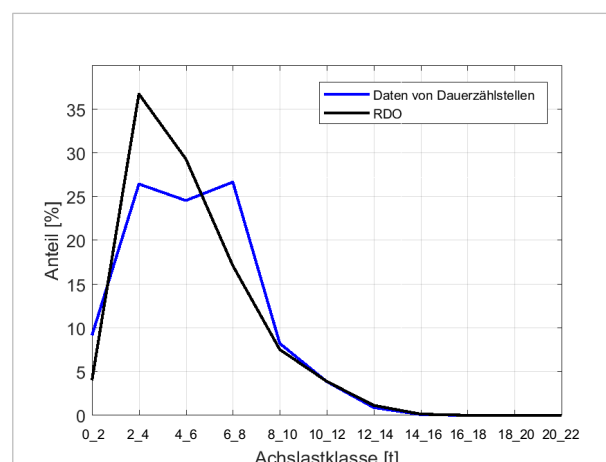


Bild 4-17: Achslastverteilung Nahverkehr- Vergleich mit den [RDO Asphalt 09]

Bild 4-15 bis Bild 4-17 zeigen den Vergleich der abgeleiteten Achslastverteilungen mit denen in den [RDO Asphalt 09] enthaltenen. Dabei ist zu beachten, dass die auf den Dauerzählstellen beruhenden Verteilungen auf Basis der in Kapitel 4.2 vorgestellten Achslastverteilungsfunktionen auf eine Achslast bis 22 t extrapoliert wurden. Die auf die RDO und die AMS beruhenden Verteilungen (roter bzw. schwarzer Linienzug) enthalten für die Achslastklassen > 16 t jeweils keine Anteile (Anteil = 0 %).

Danach ist festzuhalten, siehe Bild 4-15, dass die in den [RDO Asphalt 09] enthaltene Achslastverteilung für den BAB Fernverkehr (schwarz) gut mit den in Kapitel 4.1.6 abgeleiteten Verteilungen übereinstimmt. Allerdings ist eine Verschiebung der Häufigkeitsanteile von der 6 t-Klasse in die 8 t-Klasse zu verzeichnen.

Gleiches ist für den Mischverkehr zu beobachten, siehe Bild 4-16. Auch hier ist eine gute Übereinstimmung mit den [RDO Asphalt 09] festzustellen, mit der Einschränkung, dass die in Kapitel 4.1.6 abgeleitete Verteilungen eine Verschiebung der Häufigkeitsanteile von der 6 t-Klasse in die 8 t-Klasse aufweist.

Bild 4-17 zeigt den Vergleich für den stadtnahen Verkehr. Hier weist die abgeleitete Achslastverteilung (blau) gegenüber den [RDO Asphalt 09] (schwarzer Linienzug) eine etwas „breitere“ und flachere Charakteristik auf. Die RDO-Verteilung weist in den Achslastklassen 2_4 und 4_6 größere Häufigkeiten auf, während die aus Dauerzählstellen abgeleitete Verteilung in den Achslastklassen 0_2 und 6_8 höhere Anteile aufweist. Fast identisch allerdings sind die Häufigkeitsanteile in den hohen (für die Dimensionierung wichtigen) Achslastklassen.

Die in den [RDO Asphalt 09] verwendeten Achslastverteilungen basieren auf einer deutlich kleineren Datengrundlage. Deshalb wird empfohlen, diese durch die in dieser Untersuchung abgeleiteten Verteilungen (siehe blaue Kurven in Bild 4-12 bis Bild 4-14) zu ersetzen.

4.1.8 Fazit der Untersuchungen

Die aus den AMS-Daten berechneten Achslastverteilungen gelten aufgrund der Lage der AMS für den Fernverkehr. Sie spiegeln einen verhältnismäßig hohen Lastzugfaktor wieder. Danach unterscheidet sich die Schwerverkehrszusammensetzung an den Achslastmessstellen von der Schwerverkehrszusammensetzung, die sich aus der Auswertung der BAB Dauerzählstellen für die Funktionsklasse BAB-

Fernverkehr ergibt, durch einen höheren Anteil an Sat und LmA (vgl. Tab. 4-3).

Als dimensionierungsrelevante Achslastverteilung für die Kategorie BAB-Fernverkehr wird daher für die RDO Asphalt die aus den Dauerzählstellen abgeleitete Achslastverteilung empfohlen. Diese entspricht der blauen Kurve in Bild 4-12. Die Zahlenwerte der Verteilung sind Tab. 4-4 zu entnehmen.

Achslast- klasse [t]	BAB-"Fern"	BAB-"Misch"	BAB-"Nah"
	Häufigkeit [%]		
0_1	0,5173	0,5962	0,8049
1_2	5,5408	6,1147	8,3308
2_3	9,7542	10,1611	11,6740
3_4	11,5248	12,3642	14,8122
4_5	10,6748	11,1613	12,1637
5_6	13,1191	13,0699	12,4317
6_7	18,8037	17,8570	15,1598
7_8	14,8875	13,9773	11,5493
8_9	6,0569	5,8665	5,1476
9_10	3,4474	3,3853	3,0882
10_11	2,7638	2,6688	2,3883
11_12	1,7245	1,6536	1,4708
12_13	0,7869	0,7489	0,6577
13_14	0,2899	0,2732	0,2340
14_15	0,0908	0,0852	0,0721
15_16	0,0176	0,0169	0,0151
Summe	100,0000	100,0000	100,0000

Tab. 4-4: Achslastklassen k und zugeordnete relative Häufigkeiten h_k für Bundeautobahnen

Für die Kategorie BAB-Mischverkehr wird die aus den Dauerzählstellen abgeleitete Achslastverteilung nach Bild 4-13 und für die Funktionsklasse BAB - stadtnaher Verkehr die aus den Dauerzählstellen abgeleitete Achslastverteilung nach Bild 4-14 für die RDO Asphalt empfohlen. Die Zahlenwerte der Verteilungen sind ebenfalls Tab. 4-4 zu entnehmen.

Der verwendete methodische Ansatz zur Abbildung von Achslastverteilungen durch repräsentative fahrzeugklassenspezifische Achslastverteilungen, konnte erfolgreich angewendet werden. Er erlaubt eine Übertragung der von den AMS erfassten Achslastverteilungen auf Autobahnen und Strecken des nachgeordneten Netzes mit anderer Schwerverkehrszusammensetzung (Tab. 4-4, Tab. 4-5).

Basis sind auch hier die fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen (Tab. 4-6) und repräsentativen Achslastzahlen (Tab. 4-7) sowie die Schwerverkehrszusammensetzung (Kapitel 5.2, Tab. 5-1).

Achslast- klasse [t]	Bundes- straßen	Landes- und Kreisstraßen
	Häufigkeit [%]	
0_1	0,7591	1,0671
1_2	7,5840	10,0139
2_3	11,1070	12,5078
3_4	13,9917	16,4883
4_5	11,8936	13,0523
5_6	12,6927	12,0715
6_7	15,9679	12,8315
7_8	12,2408	9,3230
8_9	5,4031	4,6756
9_10	3,2390	3,1137
10_11	2,5241	2,4141
11_12	1,5600	1,5002
12_13	0,6976	0,6512
13_14	0,2477	0,2129
14_15	0,0761	0,0624
15_16	0,0158	0,0144
Summe	100,0000	100,0000

Tab. 4-5: Achslastklassen und zugeordnete Häufigkeiten für Bundesstraßen sowie Landes- und Kreisstraßen

bis to.	LoA	Bus	LmA	Sat
0_1	0,01310024	0,02608822	0,00825021	0,00354680
1_2	0,17038754	0,06146136	0,03615242	0,04862729
2_3	0,18265253	0,03653554	0,08640969	0,09273524
3_4	0,24139147	0,07674313	0,13166058	0,10077776
4_5	0,15049233	0,12710452	0,14050244	0,09560270
5_6	0,09252801	0,15063854	0,15862444	0,12894219
6_7	0,06025741	0,13257027	0,16465019	0,20528599
7_8	0,03812975	0,07439894	0,11671339	0,16657802
8_9	0,02173226	0,07394637	0,06620367	0,06283715
9_10	0,01313446	0,08460077	0,04044469	0,03458530
10_11	0,00831807	0,07666402	0,02655489	0,02900677
11_12	0,00459913	0,05210136	0,01488588	0,01844002
12_13	0,00209286	0,02101880	0,00614827	0,00858070
13_14	0,00082765	0,00480982	0,00205992	0,00323528
14_15	0,00027593	0,00102005	0,00060061	0,00102773
15_16	0,00008036	0,00029829	0,00013871	0,00019106

Tab. 4-6: Repräsentative Achslastverteilungen (Achslastklassen k mit den zugeordneten relativen Häufigkeiten h_k) der vier Schwerverkehrsklassen (alle AMS gleichgewichtet)

LoA	Bus	LmA	Sat
2,17	2,61	4,57	4,84

Tab. 4-7: Repräsentative Achsanzahlen für die 4 SV-Klassen (bei Gleichgewichtung der AMS)

Generell ist zu beachten, dass der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Achslastverteilungen nicht eindeutig die Modellgüte beweist, da hierfür die Datengrundlage (Anzahl der AMS) zu gering ist. Die in Kapitel 4.1 aufgeführten Abbildungen verdeutlichen lediglich die Abbildungsqualität der vorhandenen Daten durch das verwendete Modell und bestätigen das Vorgehen bei Verwendung der derzeitigen Datenbasis. Die Validierung und Bewertung des Vorgehens erfolgt in Kapitel 6.

Zur Verwendung des dargestellten methodischen Ansatzes werden die in Tab. 4-6 und Tab. 4-7 aufgeführten repräsentativen Achslastverteilungen (Bild 4-18) und fahrzeugklassenspezifischen Achsanzahlen der vier Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs bereitgestellt. Sie ergeben sich aus den ausgewerteten Daten der 33 AMS, die für die Untersuchung zur Verfügung standen. In die Erstellung der Tabellen ging jede AMS, unabhängig von der vorhandenen Datenmenge, mit demselben Gewicht ein („Gleichgewichtung der AMS“).

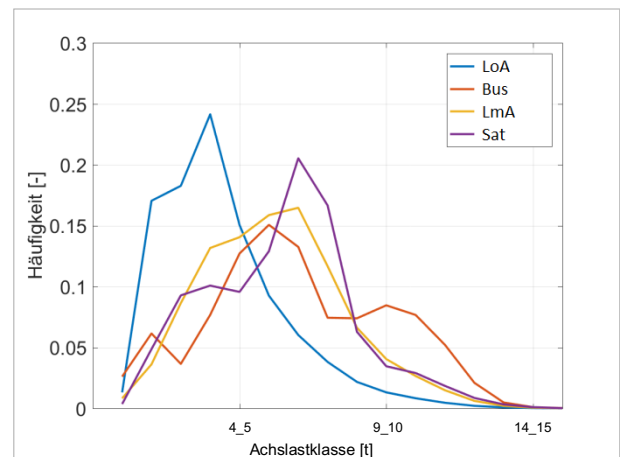


Bild 4-18: Repräsentative Achslastverteilungen der vier Schwerverkehrsklassen (alle AMS gleichgewichtet)

4.2 Achslastverteilungsfunktionen

4.2.1 Methodik

Die Achslastwerte sind mathematisch zu beschreiben, um deren Streuung bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Empirisch erhobene Messwerte können prinzipiell direkt verwendet werden. Dafür werden z. B. ähnliche Messwerte in Klassen zusammengefasst (vgl. Kapitel 4.1). Im Weiteren kann dann mit der relativen Klassengröße gerechnet werden. Die Verwen-

dung von Funktionen, welche die Streuungen hinreichend genau beschreiben, ist jedoch mathematisch vorteilhaft. Wenn so eine Verteilungsfunktion gefunden ist, ist allein durch die jeweiligen Parameterwerte die Streuung über den gesamten Definitionsbereich definiert. Für die weitere mathematische Behandlung stehen die Instrumente der Analysis zur Verfügung.

Um die genannten mathematischen Vorteile zu nutzen, ist es sinnvoll, für die Achslasten mathematische Verteilungsfunktionen zu definieren. Grundsätzlich ist aber zu beachten, dass jede Verteilungsfunktion eine Idealisierung darstellt, wenn sie auf empirische Größen bezogen wird. Da die tatsächliche Verteilungsfunktion auf Basis der vorliegenden Daten nicht bestimmt werden kann, ist es die Zielsetzung, eine hinreichend genaue Verteilungsfunktion abzuleiten

Die Verteilungsfunktion $F(x)$ für eine Größe X gibt die Wahrscheinlichkeit

$$P(\mathbf{X} < \mathbf{x}) = F(\mathbf{x}) \quad (4-2-1)$$

an, dass diese Größe einen Wert annimmt, der kleiner als ein bestimmter Wert x ist.

Die erste Ableitung der Verteilungsfunktion ist die Dichtefunktion $f(x)$. Sie gibt die Wahrscheinlichkeit

$$P(\mathbf{x} \leq \mathbf{X} < \mathbf{x} + d\mathbf{x}) = \frac{dF(\mathbf{x})}{d\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}) \quad (4-2-2)$$

dafür an, dass ein Wert in einem bestimmten Bereich liegt.

Bei der Bestimmung der Verteilungsfunktion sind zwei grundsätzliche Probleme zu lösen:

- Festlegung des Funktionstyps (mathematische Struktur der Verteilungsfunktion)
- Bestimmung der Parameterwerte.

Die mathematische Struktur der Verteilungsfunktion kann zunächst grundsätzlich frei definiert werden. Es muss aber in jedem Fall die Bedingung

$$\int_{x_a}^{x_e} f(\mathbf{x}) d\mathbf{x} = 1 \quad (4-2-3)$$

x_a – Anfang des Definitionsbereichs

x_e – Ende des Definitionsbereichs

erfüllt sein.

Im praktischen Anwendungsfall wird angestrebt, eine der bekannten und bereits mathematisch eingehend untersuchten Verteilungsfunktionen zu verwenden.

Um die Wahl eines geeigneten Verteilungsfunktionstyps zu erleichtern, ist es vorteilhaft, die Wahrscheinlichkeitsdichte der empirischen Werte zunächst visuell darzustellen. Dies kann z. B. über Histogramme erfolgen. Eine kontinuierliche Darstellung der empirischen Wahrscheinlichkeitsdichte ist mit sogenannten Kerndichteschätzern möglich. Basieren die so gewonnenen bildlichen Darstellungen auf einer hinreichend großen Datenbasis, lassen sich bereits grundlegende Fragen beantworten:

- Ist die Verteilung links-, rechtsschief oder symmetrisch?
- Gibt es mehrere Modalwerte?
- Wo liegt der relevante Definitionsbereich?

Hilfreich sind auch grundsätzliche Überlegungen zur mathematischen Bedeutung konkreter Verteilungsfunktionen. So beschreibt z. B. die Normalverteilung die Streuung der Summe unendlich vieler identisch verteilter Zufallsgrößen. Damit ist die Normalverteilung oftmals dann anwendbar, wenn die Streuung durch viele Einflussfaktoren verursacht wird, ohne dass ein bestimmter Einfluss dominiert.

Nachdem ein bestimmter Verteilungsfunktionstyp ausgewählt wurde, müssen die Parameter auf der Basis der empirischen Werte geschätzt werden.

Die dafür erforderliche Schätzfunktion wird standardmäßig mit der Maximum-Likelihood-Methode konstruiert. Die Likelihoodfunktion beschreibt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Dichtefunktion bestimmte Werte annimmt, wenn die Verteilungsfunktionsparameter einen bestimmten Wert haben.

$$L(\boldsymbol{\theta}) = f(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n | \boldsymbol{\theta}) \quad (4-2-4)$$

$L(\boldsymbol{\theta})$ – Likelihood-Funktion

$\boldsymbol{\theta}$ – gesuchter Parameter

$$L(\boldsymbol{\theta}) = f(\mathbf{x}_1 | \boldsymbol{\theta}) \cdot \dots \cdot f(\mathbf{x}_n | \boldsymbol{\theta}) \quad (4-2-5)$$

Für den wahrscheinlichsten Parameterwert nimmt die Likelihoodfunktion ein Maximum an.

Die Bedingung

$$L(\boldsymbol{\theta})' = \mathbf{0} \quad (4-2-6)$$

liefert also eine Schätzfunktion für den Parameter bzw. den Parametervektor.

Für die gebräuchlichen Verteilungsfunktionstypen sind die Schätzfunktionen für die Parameter in der Regel bekannt und können aus der entsprechenden Fachliteratur entnommen werden.

Eine weitere Möglichkeit für die Bestimmung der Parameter besteht darin, die Verteilungsfunktion mit der Methode der Ausgleichsrechnung an die Funktionswerte anzupassen. Dabei wird aus den Messwerten x_i und y_i ein überbestimmtes Gleichungssystem aufgestellt.

$$f(x_i|\theta) = y_i \quad i = 1 \dots n \quad (4-2-7)$$

Mit geeigneten mathematischen Verfahren (z. B. Levenberg-Marquardt) kann der Parametervektor bestimmt werden, der den kleinsten Fehler im Gleichungssystem erzeugt. Damit ist die Verteilungsfunktion optimal an die empirisch ermittelten Funktionswerte angepasst. Das Verfahren setzt allerdings voraus, dass die Werte y_i bekannt sind. Stehen hinreichend viele Messwerte zur Verfügung, können die y -Werte mit ausreichender Genauigkeit durch Klassenbildung geschätzt werden:

$$y_i \approx \frac{A(x_i)}{n} \quad (4-2-8)$$

$A(x_i)$ Anzahl der Messwerte in der x_i zugeordneten Klasse

n Anzahl aller betrachteten Messwerte

Die für das Forschungsvorhaben zur Verfügung stehende Datenbasis ist so umfangreich, dass die Schätzung der y -Werte in jedem Fall mit hinreichender Genauigkeit möglich sein sollte.

Eine abschließende Beurteilung, ob eine gefundene Verteilungsfunktion die Streuung der Grundgesamtheit ausreichend genau beschreibt, ist in vielen Fällen nicht trivial. Es stehen zwar statistische Testverfahren zur Verfügung (z. B. Kolmogorov-Smirnov), diese geben aber nur Auskunft über die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese (die Streuung der Grundgesamtheit entspricht der angenommenen Verteilungsfunktion) zu Unrecht abgelehnt wird. Außerdem sind die entsprechenden Schwellenwerte nur für gebräuchliche Verteilungsfunktionen bekannt.

Weiter ist zu beachten, dass die Testverfahren bei steigendem Umfang der zugrundeliegenden Stichprobe immer restriktiver werden. Dies führt bei sehr

umfangreichen Datenbeständen dazu, dass die Tests kaum noch erfüllt werden können. Hier macht sich der Fakt bemerkbar, dass empirische Daten nie exakt einer bestimmten mathematischen Verteilung entsprechen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Testverfahren nur sehr bedingt bei der Beurteilung der Qualität der Verteilungsfunktion hilfreich sind. Oftmals ist es sinnvoller, die Sensitivität des letztlich interessierenden Berechnungsergebnisses bezüglich der Verteilungsfunktion durch Vergleichsrechnungen zu testen und auf dieser Basis zu entscheiden, ob die Verteilungsfunktion hinreichend genau ist.

Es ist bekannt, dass die Verteilungsfunktion für die Achslasten mehrere Modalwerte besitzt. Dies wird darauf zurückgeführt, dass bestimmte häufig vorkommende Fahrzeugtypen bzw. die diese beinhaltenden Fahrzeugklassen das Schwerverkehrskollektiv dominieren. Da es sich dabei um relativ wenige Fahrzeugtypen handelt, ist es naheliegend, diese separat zu behandeln und jeweils fahrzeugspezifische Verteilungsfunktionen zu bestimmen. Die Verteilungsfunktion für die Achslasten des Gesamtverkehrs ergibt sich dann als Summe der einzelnen Verteilungsfunktionen für die relevanten Fahrzeugtypen. Die verwendete Datengrundlage der Dauerzählstellen ermöglicht jedoch nur den Zugriff auf fahrzeugklassenbezogene Informationen bezüglich der Schwerverkehrszusammensetzung. Dementsprechend werden die den Fahrzeugtypen übergeordneten Fahrzeugklassen verwendet.

$$F(x) = \sum F_i(x) \cdot a_i \quad (4-2-9)$$

$F_i(x)$ – Verteilungsfunktion der Achslasten der Fahrzeugklasse i

a_i – Anteil der Fahrzeugklasse i am gesamten Schwerverkehr (bezogen auf die Achsübergänge)

Entsprechend lassen sich in Abhängigkeit von der Mischung des Schwerverkehrs für einzelne Streckenabschnitte spezifische Achslastverteilungsfunktionen (Bild 4-19) konstruieren.

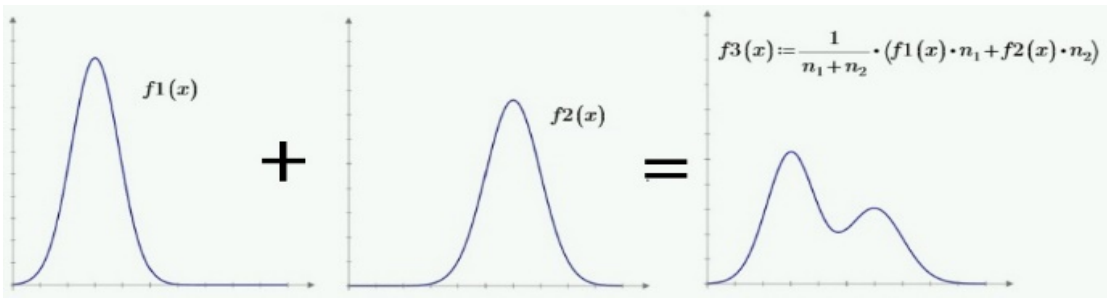


Bild 4-19: Zusammensetzen von Verteilungsfunktionen

In Abhängigkeit von der probabilistischen Methodik, welche im Zuge der Dimensionierung angewendet werden soll, kann es notwendig werden, auch die Streuung der in einem bestimmten Zeitraum auftretenden Extremwerte mathematisch zu beschreiben. Die entsprechenden Extremwertverteilungen lassen sich aus der Verteilung der zufälligen Werte ableiten. Es gilt:

$$F_{\text{ex}}(\mathbf{x}) = F(\mathbf{x})^n \quad (4-2-10)$$

wobei F_{ex} die Verteilungsfunktion der Extremwerte bei n unabhängigen Realisierungen von x ist.

Der durch die Gleichung beschriebene Zusammenhang ist zwar einfach und mathematisch exakt, praktisch aber nur bedingt verwendbar. Es ergeben sich für größere Werte von n erhebliche numerische Schwierigkeiten.

Da die Verteilung von Extremwerten unabhängig von der Verteilung der zugrundeliegenden zufälligen Werte für hinreichend große n gegen die generalisierte Extremwertverteilung (GEV) konvergiert, kann auch die GEV zur Beschreibung der Verteilung der Extremwerte benutzt werden. Für die GEV gibt es drei verschiedene Spezifikationen:

- die Gumbelverteilung
- die Fréchetverteilung
- die Weibullverteilung

Die konkrete Zuordnung ist von den Endbereichen der Verteilungen für die zufälligen Werte abhängig. Im vorliegenden Fall ist die Gumbelverteilung anzuwenden.

Die Gumbelverteilung kann damit für die Beschreibung der Streuung der Extremwerte benutzt werden.

Die Verteilungsfunktion hat die Form

$$F_{\text{gum}}(\mathbf{x}) = e^{-e^{-\frac{1}{\beta}(\mathbf{x}-\alpha)}} \quad (4-2-11)$$

mit der zugehörigen Dichtefunktion

$$f_{\text{gum}}(\mathbf{x}) = \frac{1}{\beta} \cdot e^{-\frac{1}{\beta}(\mathbf{x}-\alpha)} \cdot e^{-e^{-\frac{1}{\beta}(\mathbf{x}-\alpha)}} \quad (4-2-12).$$

Die inverse Verteilungsfunktion lautet:

$$F_{\text{gum}}^{-1}(q) = \alpha - \beta \cdot \ln(-\ln(q)) \quad (4-2-13)$$

α – Lageparameter der Gumbelverteilung

β – Formparameter der Gumbelverteilung

q – Quantilwert von X

Jede Gumbelverteilung bezieht sich auf eine bestimmte Anzahl n von unabhängigen Realisierungen der Zufallsgröße X .

Es lässt sich mit elementaren mathematischen Mitteln zeigen, dass sich eine auf eine Ereignisanzahl n_1 bezogene Gumbelverteilung leicht in eine für eine andere Anzahl n_2 geltende Verteilung umrechnen lässt. Dabei gilt die Beziehung:

$$\alpha_2 = \ln\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \cdot \beta + \alpha_1 \quad (4-2-14)$$

α_1 – Lageparameter der Gumbelverteilung für n_1 zufällige Ereignisse

α_2 – Lageparameter der Gumbelverteilung für n_2 zufällige Ereignisse

β – Formparameter der Gumbelverteilung

Eine einmal korrekt bestimmte Gumbelverteilung lässt sich also durch Umrechnung des Lageparameters α auf einfache Weise an eine beliebige andere Anzahl zufälliger Ereignisse anpassen. Die Form der Kurve bleibt dabei unverändert.

Beim hier interessierenden Problem sind die Zufallsereignisse Achsübergänge. Da diese über den DTV mit der Zeit korreliert sind, erlaubt Gleichung (4-2-14) also die Anpassung der Gumbelverteilung für beliebige Betrachtungszeiträume.

Unter Beachtung der hier erläuterten Zusammenhänge ist folgende Vorgehensweise für die Bestimmung der Gumbelverteilung möglich:

- Berechnung der Extremwertverteilung nach Gleichung (4-2-10) mit einem praxisrelevanten n-Wert ($n=100 \text{ Mio.} \rightarrow F_{\text{ex}}^{(100\text{Mio})}$)
- Berechnung einer hinreichenden Anzahl von Funktionswerten im relevanten Bereich der x-Werte
- Anpassung einer Gumbelfunktion an die berechneten Werte der Extremwertverteilung $F_{\text{ex}}^{(100\text{Mio})} \rightarrow F_{\text{Gum}}^{(100\text{Mio})}$
- Kontrolle der Gumbelverteilung mit einer Monte-Carlo-Simulation
- Transformation der Gumbelfunktion für den gewünschten n-Wert unter Benutzung von Gleichung (4-2-14), $F_{\text{Gum}}^{(100\text{Mio})} \rightarrow F_{\text{Gum}}^{(x\text{Mio})}$

Dabei ist nur der letzte Schritt durch den Nutzer zu erledigen. Die Anwendung gestaltet sich also praktikabel.

Die praktische Durchführung der beschriebenen Vorgehensweise zeigte, dass sich hinreichend genaue Gumbel-Verteilungen erzeugen lassen. Bild 4-20 zeigt die Gumbel-Verteilung für 100 Mio. Lastwechsel und das Ergebnis der entsprechenden Monte-Carlo-Simulation. Die Simulation wurde mit 100 Mio. Zufallszahlen durchgeführt, welche der Verteilung der Achslasten folgen. Diese Zufallszahlen wurden 5.000 mal erzeugt und lieferten jeweils einen Extremwert. Das Histogramm dieser Stichprobe der Extremwerte wurde mit der Gumbelverteilung verglichen. Die Übereinstimmung ist sehr gut.

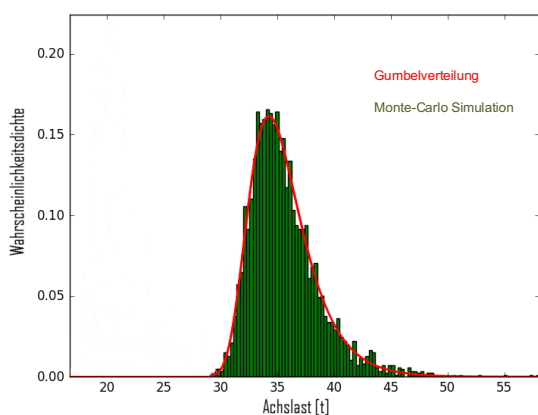


Bild 4-20: Vergleich Gumbel-Verteilung für 100 Mio. Lastwechsel mit Monte-Carlo-Simulation

Die beschriebene Vorgehensweise ist mathematisch konsistent. Zu hinterfragen ist aber die Übereinstimmungsgenauigkeit des mathematischen Modells mit der Wirklichkeit. Speziell betrifft dies die Genauigkeit der Verteilungsfunktion der Achslasten für hohe Lastwerte. Eine Beantwortung dieser Frage ist prinzipiell schwierig, weil Extremwerte per Definition selten auftretende Werte sind, welche somit kaum statistisch ausgewertet werden können. Wirklich abgesicherte Messwerte für extreme Achslasten standen bei der BAST nicht zur Verfügung.

Es wurde eine Umfrage bei den Dienststellen der Verkehrspolizei aller Bundesländer durchgeführt, um die Plausibilität der abgeleiteten Extremwertverteilung zu überprüfen.

Insgesamt gab es 39 Rückmeldungen. Allgemein wurde mitgeteilt, dass die Ergebnisse der Achslastwägungen bei der Polizei nicht langfristig gespeichert oder statistisch ausgewertet werden. Die mitgeteilten Werte geben also keinen Überblick über die tatsächliche Häufigkeit und Größe extremer Achslasten. Die von der Polizei ermittelten Achslasten können aber als verlässlich gelten, weil sie ggf. Grundlage für entsprechende Strafbefehle sind. Sie stellen also für mögliche Extremwerte eine untere Grenze dar.

Die meisten gemeldeten Extremwerte lagen zwischen 15 t und 20 t. Die höchste gemeldete Achslast lag bei 30 t. Mit einem entsprechenden Wiegeprotokoll wurde eine Achslast von 26,6 t belegt. Vereinzelt wurde mitgeteilt, dass die exakte Achslast nicht ermittelt werden konnte, weil die maximale Belastung für die Waage überschritten war. Bei der Bewertung der hier aufgeführten Achslasten ist zu beachten, dass aus den oben genannten Gründen die Betrachtungszeiträume, auf die sich die Extremwerte beziehen, nur relativ kurz sind. Außerdem ist davon auszugehen, dass nicht jede extreme Überladung durch die Polizei entdeckt wird. Die tatsächlichen Extremwerte im Verlauf von 30 Nutzungsjahren dürften also etwas höher liegen.

Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der Plausibilität der definierten Extremwertverteilung eröffnet sich durch einen Vergleich mit den extremen Lasten, welche im Brückenbau angesetzt werden. Um realistische Lastannahmen für die Brückenplanung zu generieren, wurde in einem Europäischen Forschungsprojekt eine systematische Messung von Verkehrslasten („Auxerre-Verkehr“) durchgeführt. (siehe [HEFT 711], [HEFT 715]) Im Ergebnis wurde für die Brückenbemessung eine maximale

Achslast von 30 t (als Doppelachse 2 x 30 t) definiert, welche mit weiteren Verkehrslasten zu kombinieren ist (siehe [DIN EN 1991-2]). Für die Beschreibung der Streuung der Extremwerte, wird auch im Brückenbau eine Gumbelverteilung benutzt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die hier definierte Gumbelverteilung für die Werte der extremen Achslasten als plausibel gelten kann. Auf Grund der mangelnden Kenntnis über tatsächlich auftretende Extremwerte ist aber eine hinreichende skeptische Distanz bei der Benutzung der Verteilungsfunktion zu wahren.

Um eine besser abgesicherte Aussage über die zu erwartenden Extremwerte zu erlangen, wären umfangreiche Untersuchungen notwendig. Speziell wäre die Frage zu klären, ob eine obere Schranke im relevanten Wertebereich angenommen werden kann. In diesem Fall wäre eine Weibullverteilung für die Streuung der Extremwerte zu benutzen.

4.2.2 Achslastverteilungsfunktionen der einzelnen Fahrzeugklassen

Die repräsentativen Achslastverteilungen des SV (LoA, Bus, LmA, Sat) können mit stochastischen Funktionen (Verteilungsdichtefunktionen) beschrieben werden.

Die fahrzeugklassenspezifischen Achslastklassenverteilungsdichtefunktionen, im folgenden Achslastverteilungsfunktionen, haben die Form

$$\mathbf{p}(\mathbf{t}) = \sum_{j=1}^3 \alpha_j \cdot \log N_j(\mu_j, \sigma_j) \quad (4-2-15).$$

α_j := Wichtungsfaktor

$\log N_j(\mu_j, \sigma_j)$:= logarithmische Normalverteilung

Die Identifikation der Parameter der fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktion erfolgt mit dem Levenberg-Marquardt-Algorithmus. Optimierungskriterium ist hierbei die Minimierung des Abstands zwischen der zu ermittelnden zusammengesetzten Verteilungsdichtefunktion und den aus den Auswertungen von Kapitel 4.1 bekannten Stützstellen.

Die Stützstellen werden entgegen dem in Kapitel 4.1 vorgestellten Vorgehen nicht am oberen Ende einer Achslastklasse sondern in der Mitte der jeweiligen Achslastklasse angesetzt, da die Verwendung von Achslastverteilungsfunktionen probabilistische Auswertungen zulassen, die weniger stark abgesichert werden müssen.

$$\mathbf{r}_0 = \sum_{k=1}^n |\mathbf{p}(\mathbf{L}_k) - \mathbf{P}(\mathbf{k})| \quad (4-2-16).$$

r_0 := ungewichteter Fehler

n := Anzahl der Achslastklassen

$p(L_k)$:= Achslastverteilungsfunktionswert von L_k

$P(k)$:= Wert der Achslastklasse k

Die so identifizierten ungewichteten Achslastverteilungsfunktionen sind in Bild 4-21 bis Bild 4-24 als rote Linien dargestellt. In blau dargestellt ist die mittlere Achslastverteilung. Die optische Einschätzung zeigt eine hohe Abbildungsgenauigkeit der Stützstellen durch die ungewichtete Achslastverteilungsfunktion.

Vor dem Hintergrund des Anwendungszweckes der Achslastverteilungsfunktionen als Eingangsgröße für die Berechnung der B-Zahl wurde noch ein zweites Optimierungskriterium definiert.

$$\mathbf{r}_1 = \sum_{k=1}^n |\mathbf{p}(\mathbf{L}_k) - \mathbf{P}(\mathbf{k})| \cdot \left(\frac{L_k}{L_0}\right)^4 \quad (4-2-17)$$

r_1 := gewichteter Fehler

n := Anzahl der Achslastklassen

L_0 := Bezugsachslast: 10t

L_k := Mittlere Achslast der Achslastklasse k

$p(L_k)$:= Achslastverteilungsfunktionswert von L_k

$P(k)$:= Wert der Achslastklasse k

Dieses wichtet den Einfluss des Fehlers an der jeweiligen Stützstelle auf die B-Zahl, die in die Dimensionierung bzw. Substanzbewertung eingeht. Der Term $\left(\frac{L_k}{L_0}\right)^4$ stellt hierbei eine Projektion aller Achslasten mit Hilfe der Vierte-Potenz-Regel auf Grundlage des ASHOO-Road-Tests auf 10-Tonnen-Achsen dar. Dieser Ansatz ist stark vereinfacht, wird jedoch regelwerksübergreifend genutzt, um das größere Schädigungspotential höherer Achslasten abzubilden.

Die so identifizierten gewichteten Achslastverteilungsfunktionen sind in Bild 4-21 bis Bild 4-24 als grüne Linien dargestellt. Auf den ersten Blick scheint die Abbildungsgenauigkeit der Stützstellen durch die gewichtete Achslastverteilungsfunktion schlechter als durch die ungewichtete Achslastverteilungsfunktion. Bei genauerer Betrachtung ist die schlechtere Abbildung nur in den kleineren Achslastklassen vorhanden, in den mittleren und größeren Achslastklassen ist die Abbildungsgenauigkeit der gewichteten Achslastverteilungsfunktion deutlich besser.

Der Vergleich der gewichteten Fehler der fahrzeugklassenspezifischen gewichteten Achslastverteilungen mit den gewichteten Fehlern der ungewichteten Achslastverteilungen in Tab. 4-8 zeigt dies deutlich.

Die Parameter der gewichteten fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungsdichtefunktionen sind ebenfalls in Tab. 4-8 aufgeführt.

		σ_i	μ_i	α_i	$r_{1, \text{gew}}$: gewichteter Fehler der gewichteten Achslastverteilungsfunktion	$r_{1, \text{ung}}$: gewichteter Fehler der ungewichteten Achslastverteilungsfunktion	$r_1 / r_0 * 100$ [%]
LoA	Term 1	0,39981	1,17975	0,87238	0,0019511	0,0140163	13,920
	Term 2	0,23004	1,92391	0,11617			
	Term 3	0,12260	2,36253	0,01145			
Bus	Term 1	0,31936	1,67562	0,76883	0,0119490	0,0232098	0,338
	Term 2	0,11112	2,28385	0,16344			
	Term 3	0,08067	2,43652	0,06772			
LmA	Term 1	0,34855	1,34642	0,47824	0,0020339	0,0477618	0,041
	Term 2	0,20271	1,90226	0,45897			
	Term 3	0,12999	2,33686	0,06279			
Sat	Term 1	0,37358	1,48628	0,52267	0,0053173	0,0526694	0,092
	Term 2	0,12186	1,94681	0,38426			
	Term 3	0,13377	2,33699	0,09308			

Tab. 4-8: Parameter der fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen, mit gewichteter Fehlerfunktion optimiert

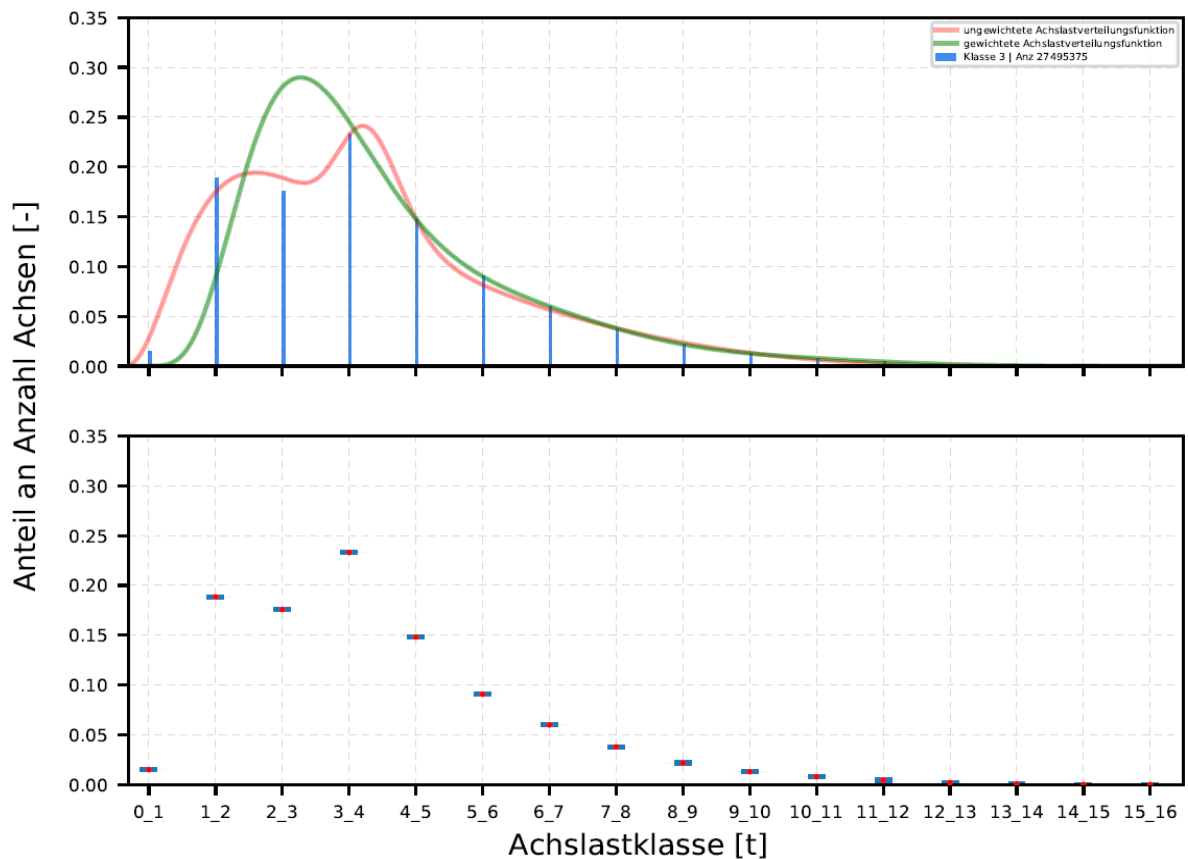


Bild 4-21: Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse LoA

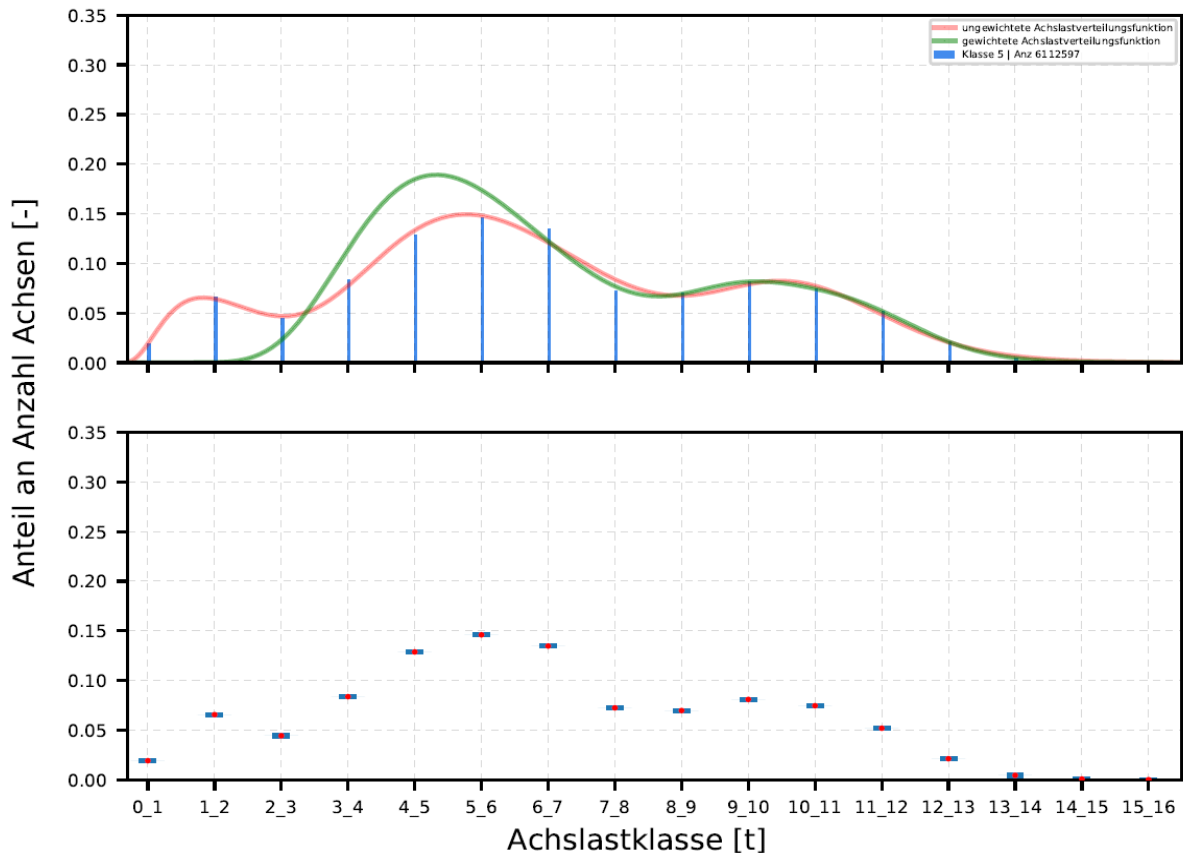


Bild 4-22: Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse Bus

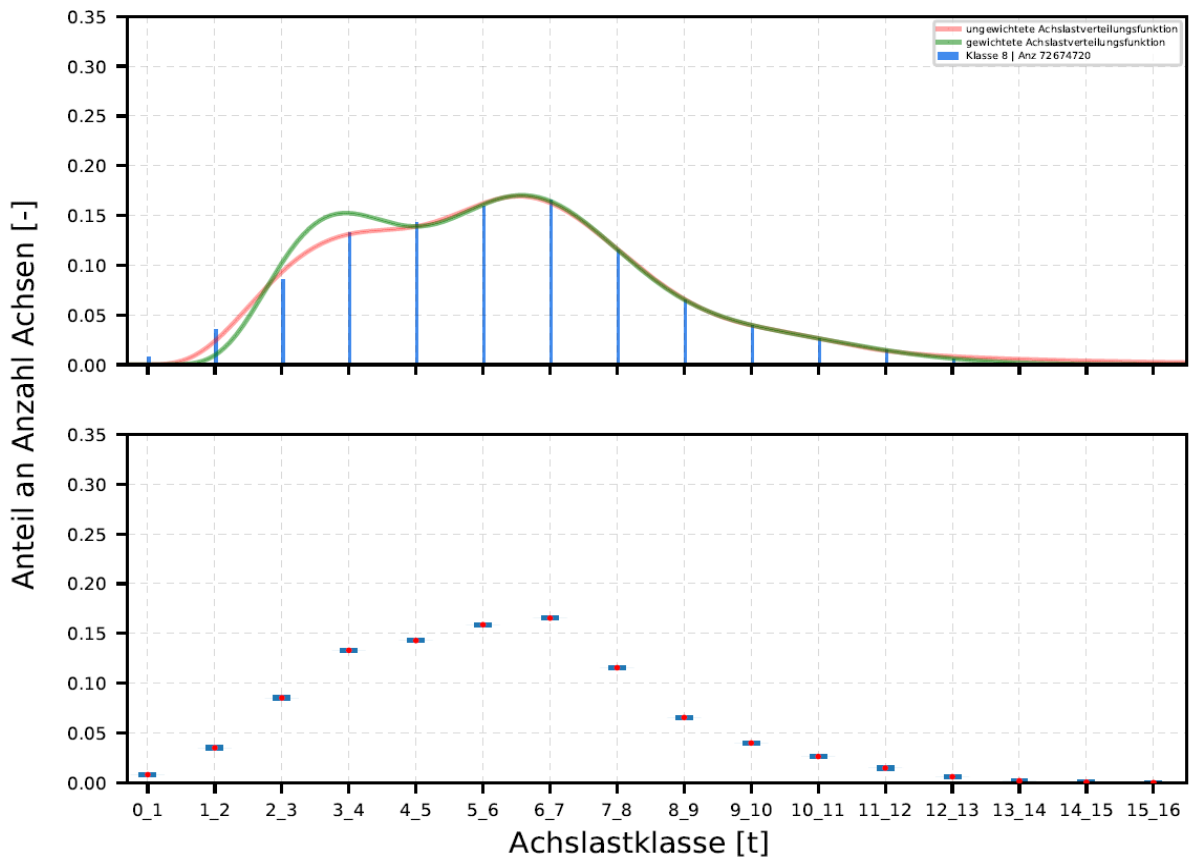


Bild 4-23: Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse LmA

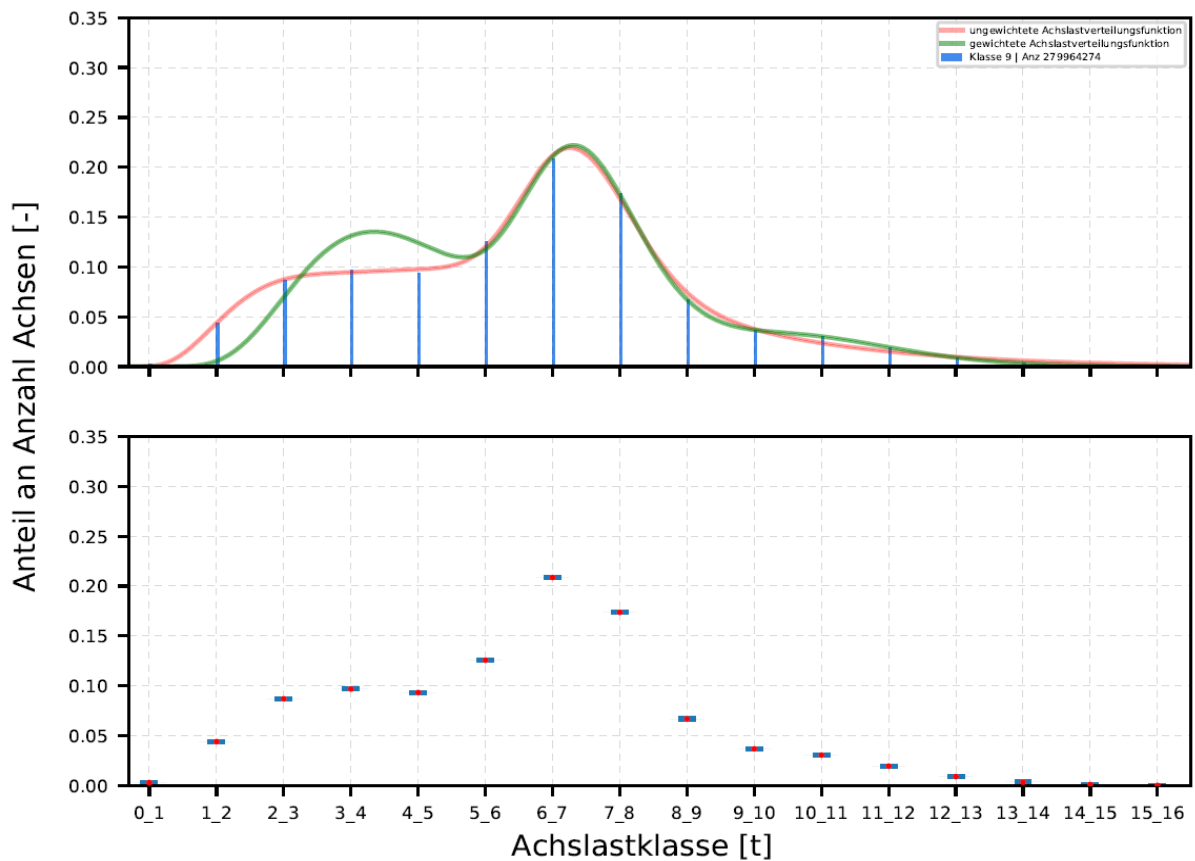


Bild 4-24: Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse Sat

4.2.3 Achslastverteilungsfunktionen für Fern-, Misch und Nahverkehr

Entsprechend dem Vorgehen in 4.1 können die fahrzeugklassenspezifischen gewichteten Achslastverteilungen anhand der Schwerverkehrsanteile eines Verkehrskollektivs zu Achslastverteilungen für:

- Fernverkehr
- Mischverkehr
- Nahverkehr

im Netz zusammengefügt werden.

j	Fernverkehr		
	α	μ	σ
1	0,5595	1,446	0,379
2	0,3535	1,944	0,129
3	0,087	2,334	0,133

Tab. 4-9: Parameter für die Achslastverteilung entsprechend Gleichung (4-2-15) –Fernverkehr

j	Mischverkehr		
	α	μ	σ
1	0,578	1,419	0,384
2	0,339	1,942	0,133
3	0,083	2,334	0,132

Tab. 4-10: Parameter für die Achslastverteilung entsprechend Gleichung (4-2-15) –Mischverkehr

j	Nahverkehr		
	α	μ	σ
1	0,633	1,34	0,395
2	0,295	1,937	0,143
3	0,072	2,337	0,13

Tab. 4-11: Parameter für die Achslastverteilung entsprechend Gleichung (4-2-15) –Nahverkehr

Zur Bildung der Gesamtachslastverteilung werden die vier Funktionen gemäß Gleichung (4-2-15) aufsummiert. Die Anteile der Fahrzeugklassen am Schwerverkehr sind in Tab. 4-2 auf Basis der ausgewerteten Dauerzählstellen-Daten enthalten. Die

fahrzeugklassenspezifischen mittleren Achsanzahlen können **Tab. 4-1** oder **Tab. 4-7** entnommen werden.

Die Parameter zur Bestimmung der Achslastverteilungsfunktionen entsprechend Gleichung (4-2-15)

sind für Fern-, Misch- und Nahverkehr in **Tab. 4-9**, **Tab. 4-10** und **Tab. 4-11** zusammengestellt.

In **Bild 4-25**, **Bild 4-26** und **Bild 4-27** sind die Achslastverteilungsfunktionen für Fern- Misch- und Nahverkehr entsprechend dargestellt.

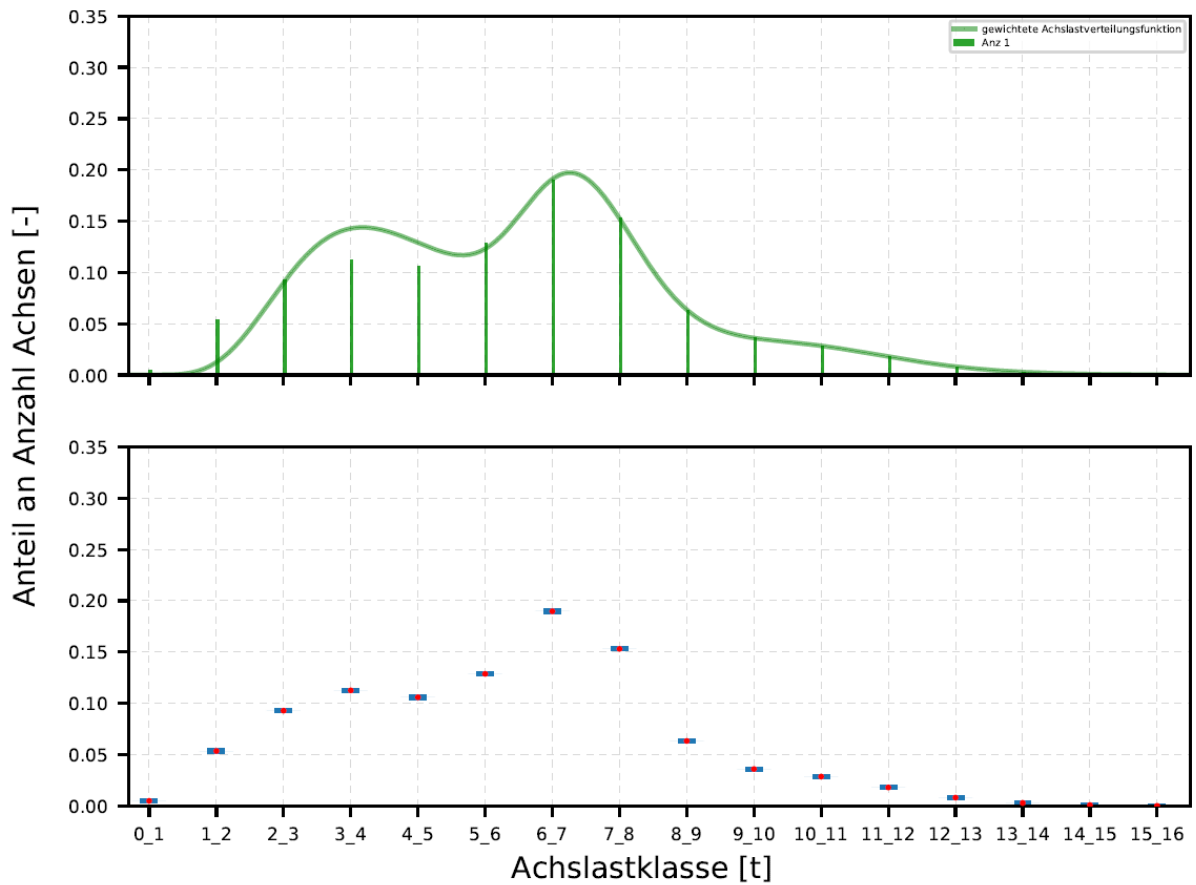


Bild 4-25: Mittlere Achslastverteilung – Fernverkehr

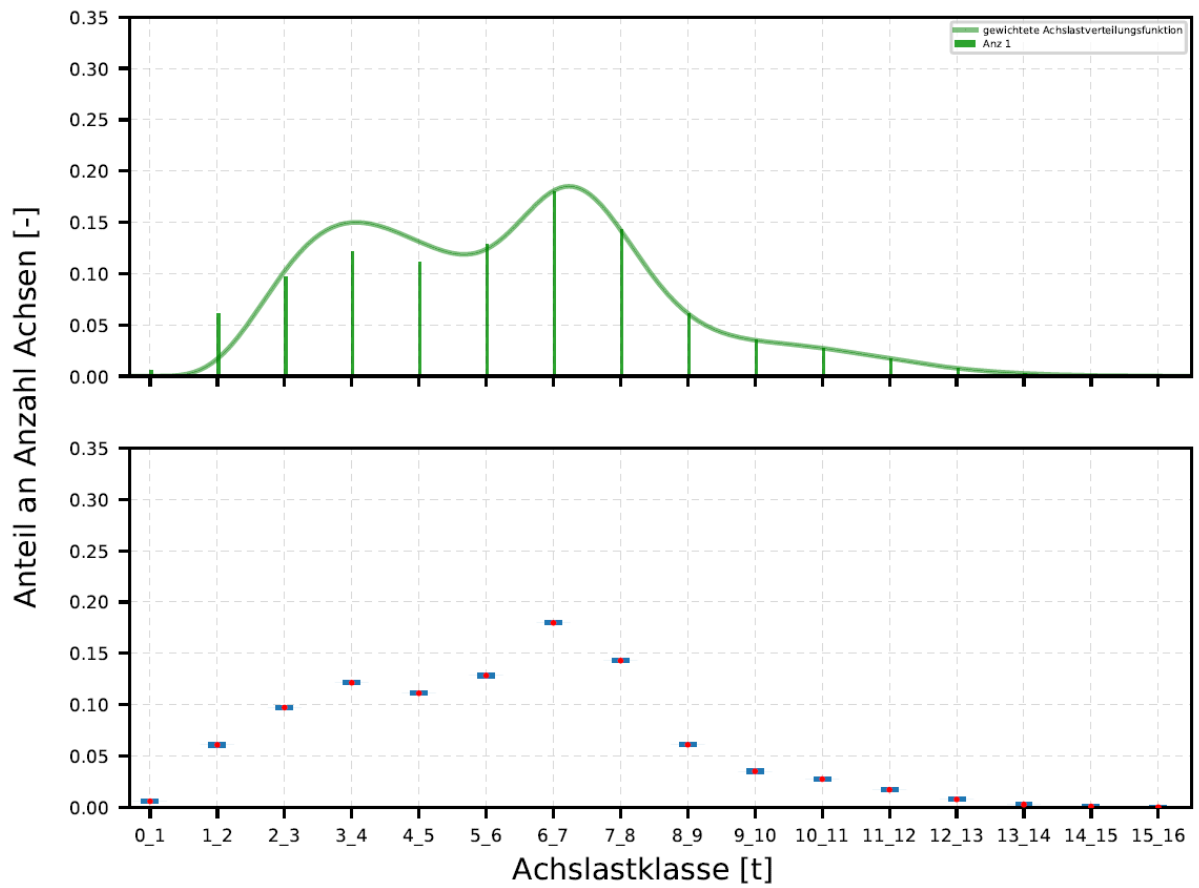


Bild 4-26: Mittlere Achslastverteilung – Mischverkehr

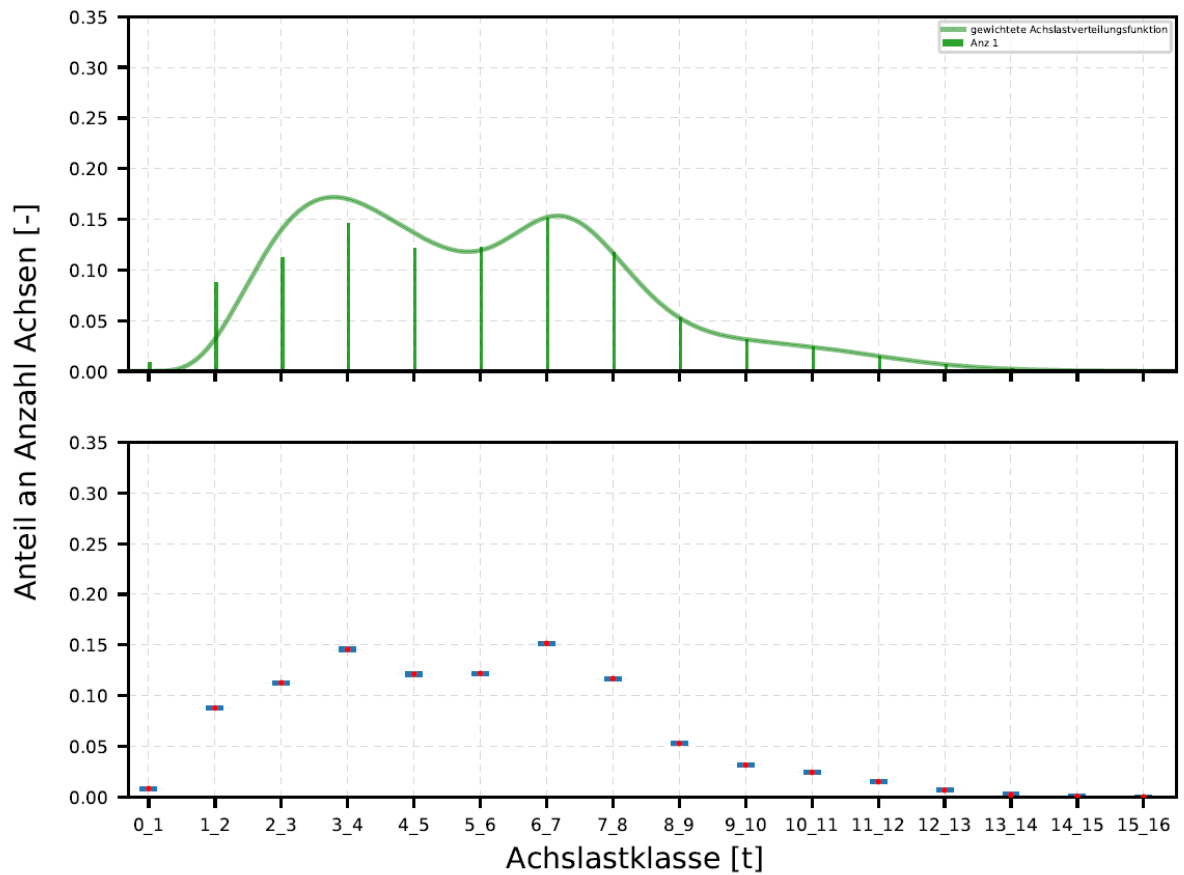


Bild 4-27: Mittlere Achslastverteilung – Nahverkehr

4.3 Sonderfahrzeuge

Sonderfahrzeuge werden seit 2011 als separater Fahrzeugtyp erfasst. Es liegen Achslastdaten für Sonderfahrzeuge von 15 Richtungsmessstellen vor.

4.3.1 Rohachslastdaten der Sonderfahrzeuge

Bild 4-28 bis Bild 4-31 zeigen einen sehr stark ausgeprägten Peak in der Achslastklasse 0 bis 1 Tonnen. Bild 4-29 und Bild 4-30 zeigen, dass der Peak

über die Mehrheit der Jahre und Monate auftritt. Aus Bild 4-31 geht hervor, dass die Achslastdaten der Stationen 1291, 9627 und 9629 maßgebend für diesen Effekt verantwortlich sind.

Die Achslastdaten der Stationen 1291, 9627 und 9629 sowie des Monats April 2016 der Station 5705 wurden für die weiteren Auswertungen aufgrund unplausibler Achslastdaten ausgeschlossen.

Im folgenden Kapitel 4.3.2 werden die verbliebenen Daten ausgewertet.

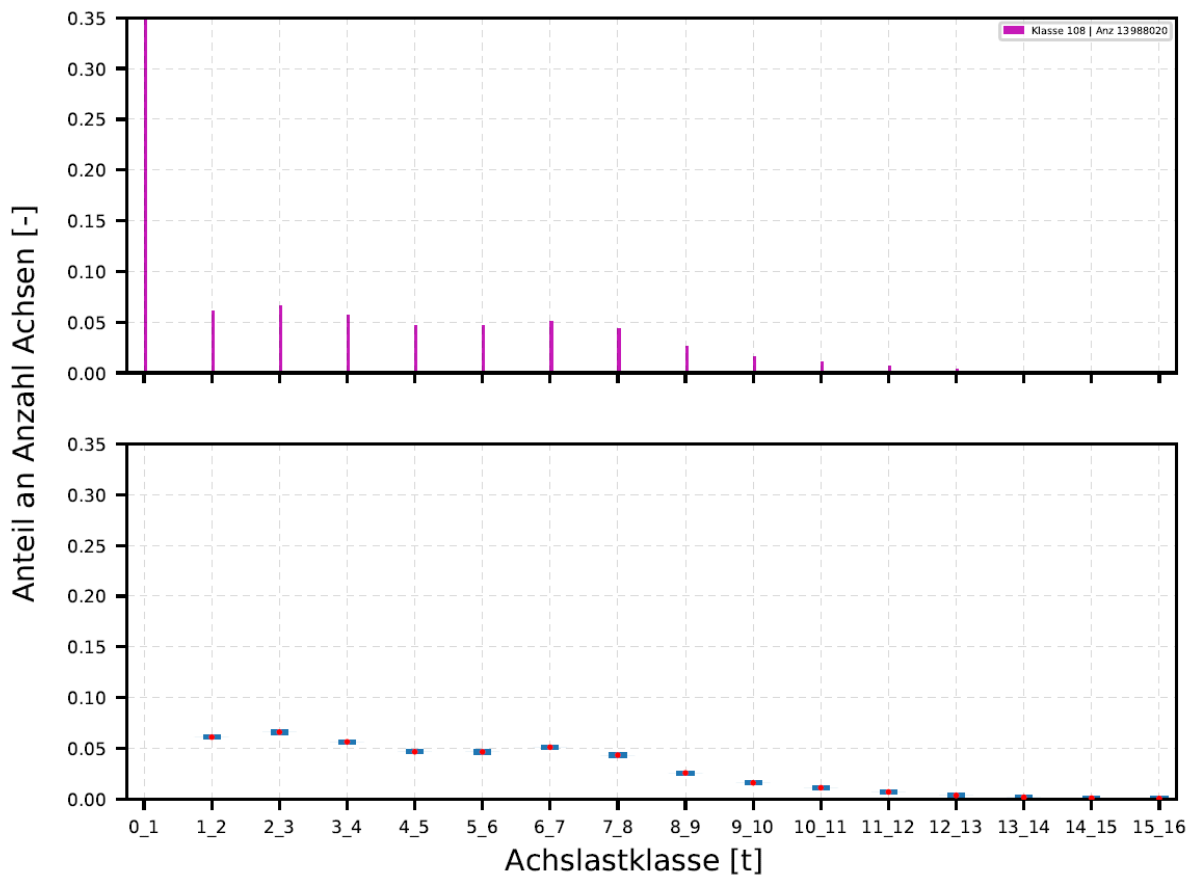


Bild 4-28: Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – mittlere Achslastverteilung

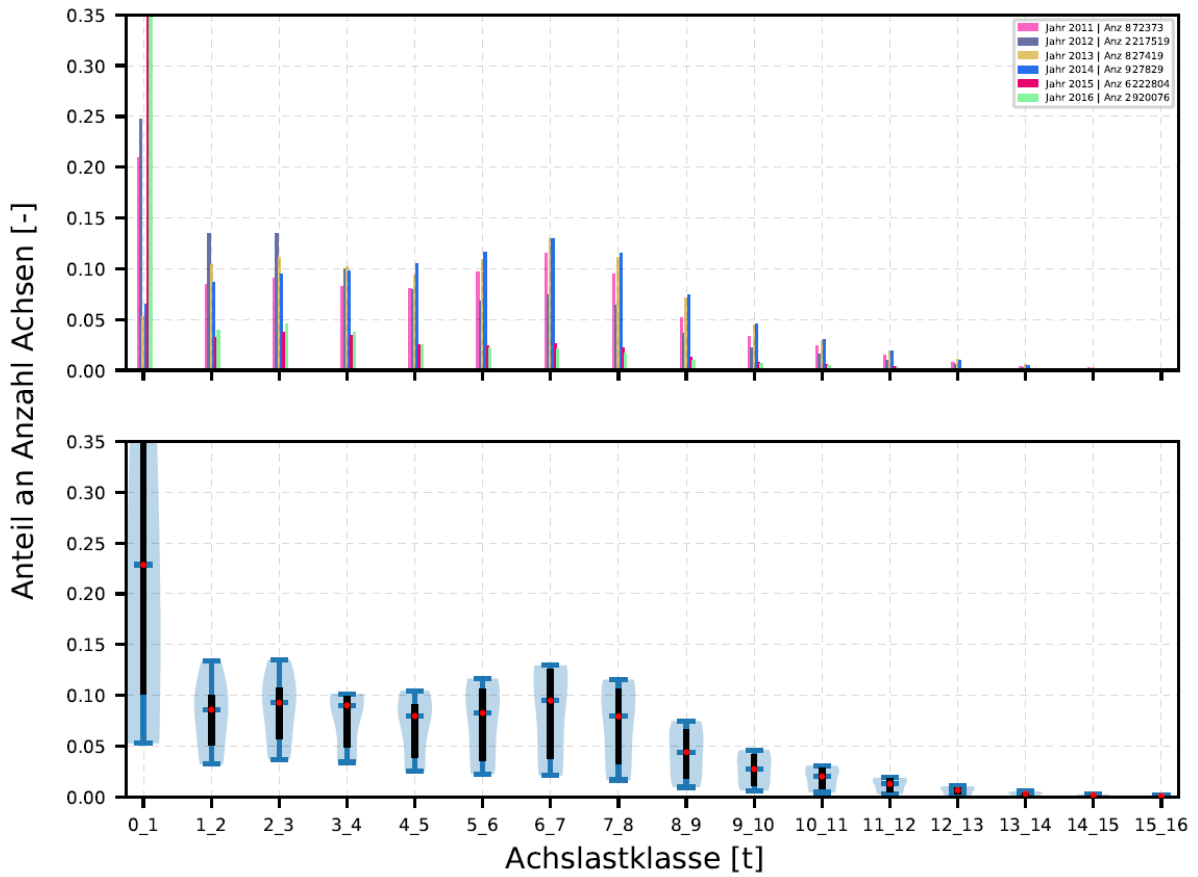


Bild 4-29: Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – langfristige Zeitabhängigkeit

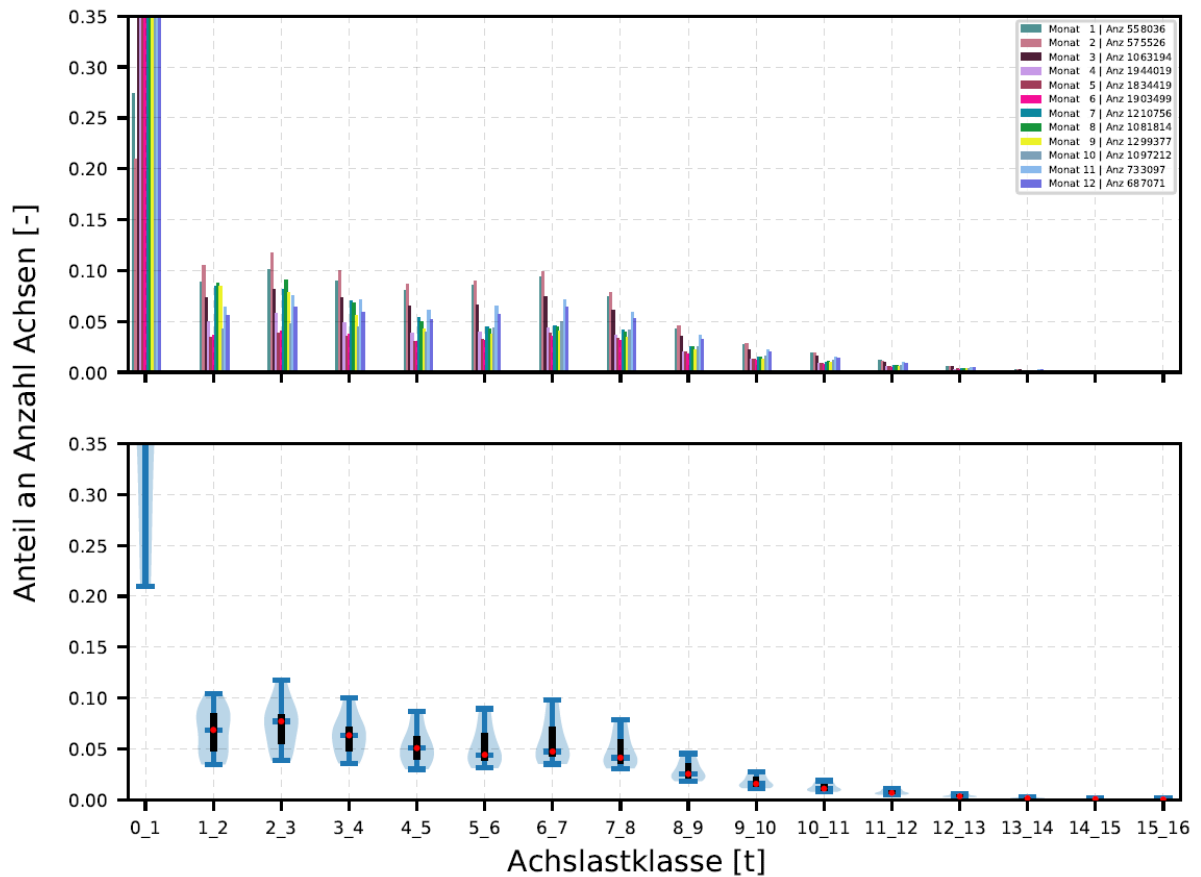


Bild 4-30: Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – saisonale Zeitabhängigkeit

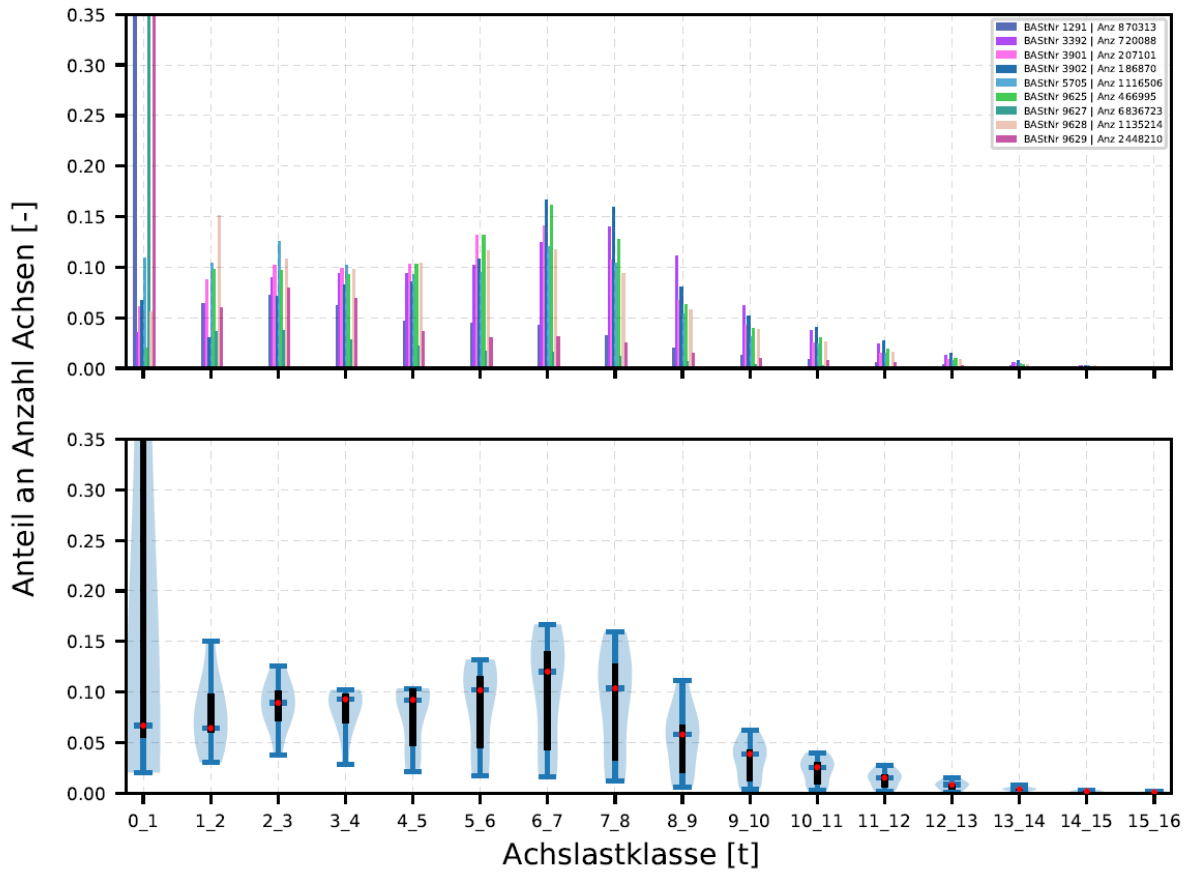


Bild 4-31: Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – Ortsabhängigkeit

4.3.2 Achslastverteilungsfunktion der Sonderfahrzeuge anhand selektierter Achslastdaten

In den Bildern 4-32 bis 4-35 sind die Achslastverteilungen aus den Bildern 4-28 bis 4-31 ohne die als unplausibel angesehenen Messstellen dargestellt. Bild 4-32 und Bild 4-33 zeigen, dass die Achslastverteilung der selektierten Achslasten der Sonderfahrzeuge als ausreichend zeitunabhängig anzusehen sind. Die ortsabhängigen Streuungen sind in Bild 4-34 dargestellt, sie fallen etwas ausgeprägter aus, sind jedoch ausreichend gering, um die in Bild 4-35 dargestellte mittlere Achslastverteilung

der Sonderfahrzeuge für alle betroffenen Stationen anwenden zu können.

Die Achslastverteilung der Sonderfahrzeuge ist aufgrund der geringen Anzahl an Achslastmessstellen nicht mit in den Achslastverteilungen für Fern-, Misch und Nahverkehr enthalten und wird auch nicht zur Ableitung allgemeiner f_A und q_{BM} -Werte herangezogen. Sie kann bei Bedarf entsprechend der Methodik der Kapitel 4.1 und 4.2 als fünfter Anteil zur Ermittlung der Achslastverteilung hinzugezogen werden. Die notwendigen Parameter sowie die durchschnittliche Achszahl sind in der folgenden Tab. 4-12 aufgeführt.

		σ_1	μ_1	α_1	$r_{1,gew}$: gewichteter Fehler der gewichteten Achslastverteilungsfunktion	Durchschnittliche Achszahl
Sonderfahrzeuge	Term 1	0,55011	1,32547	0,65710	0,0029795	5,197
	Term 2	0,17102	1,96420	0,28432		
	Term 3	0,13500	2,35318	0,05858		

Tab. 4-12: Parameter der Achslastverteilungsfunktionen der Sonderfahrzeuge, mit gewichteter Fehlerfunktion optimiert

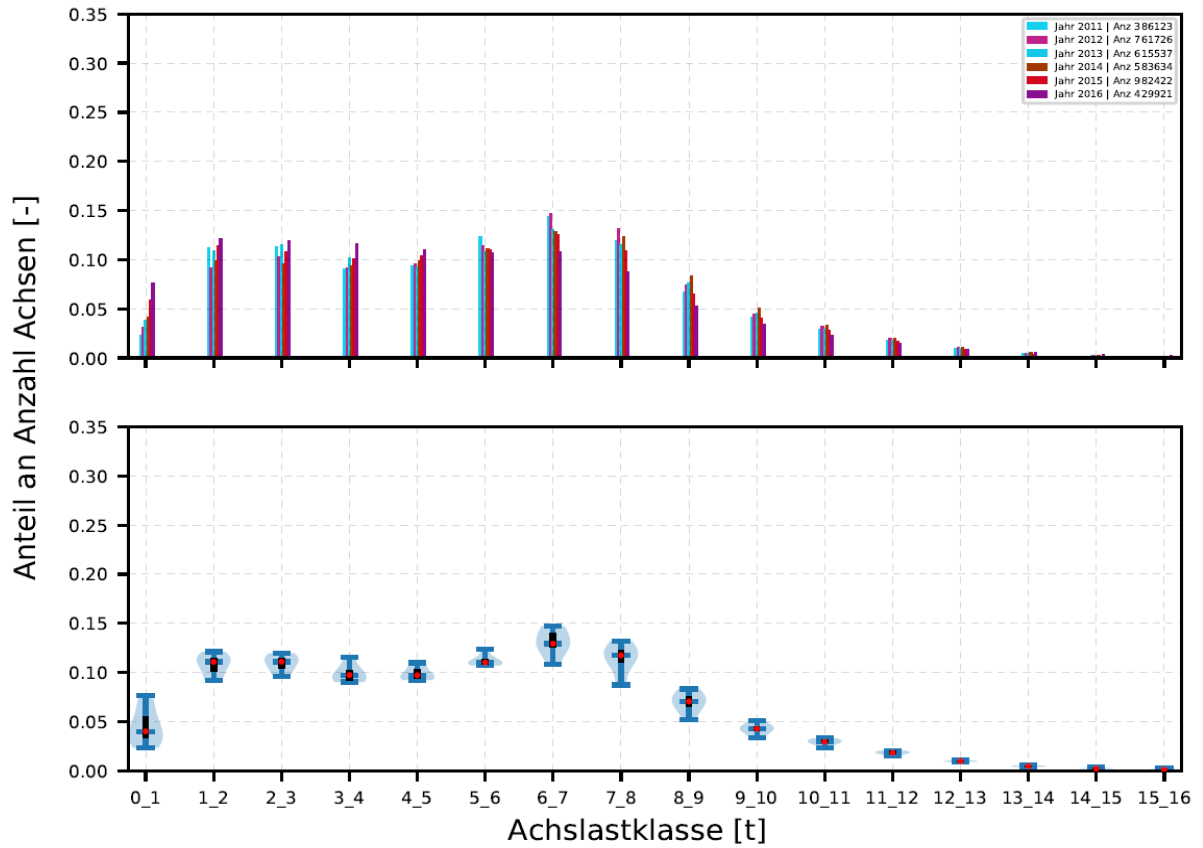


Bild 4-32: Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – langfristige Zeitabhängigkeit

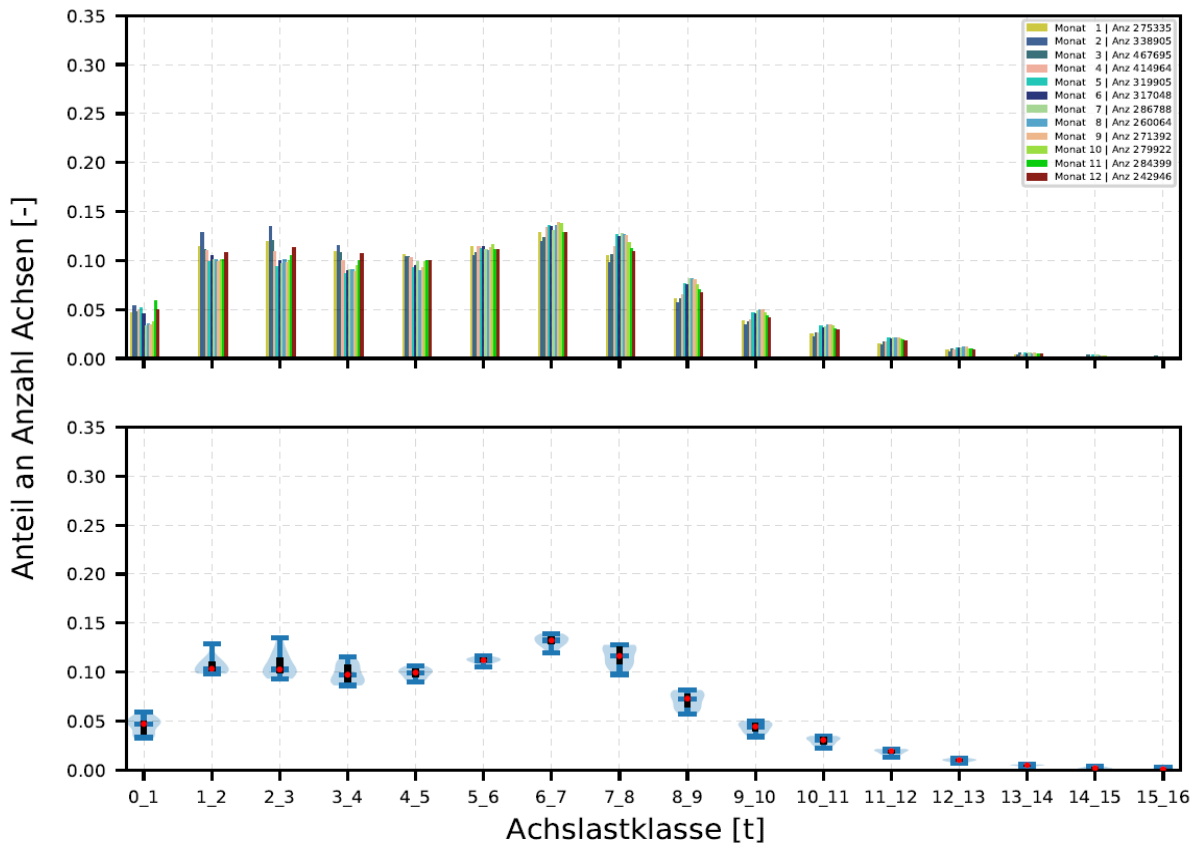


Bild 4-33: Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – saisonale Zeitabhängigkeit

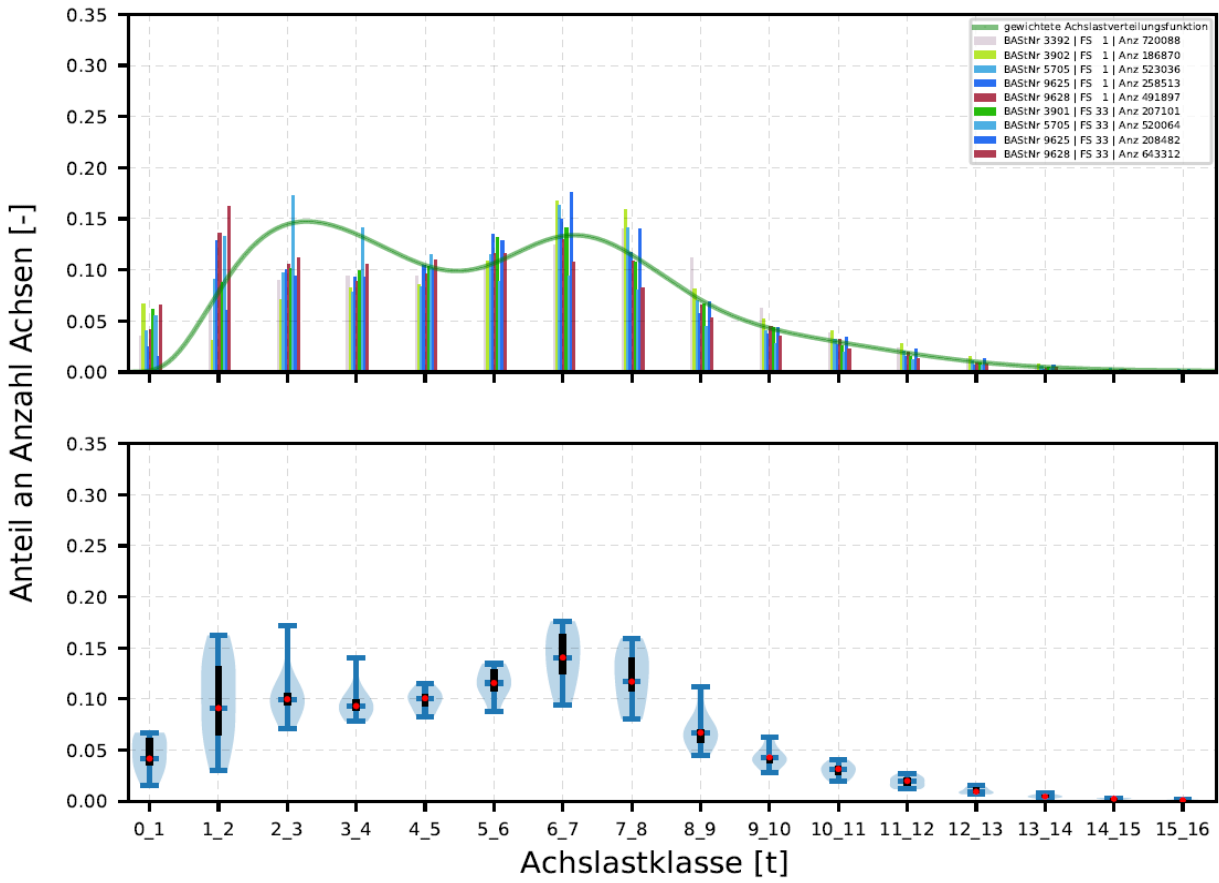


Bild 4-34: Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – Ortsabhängigkeit

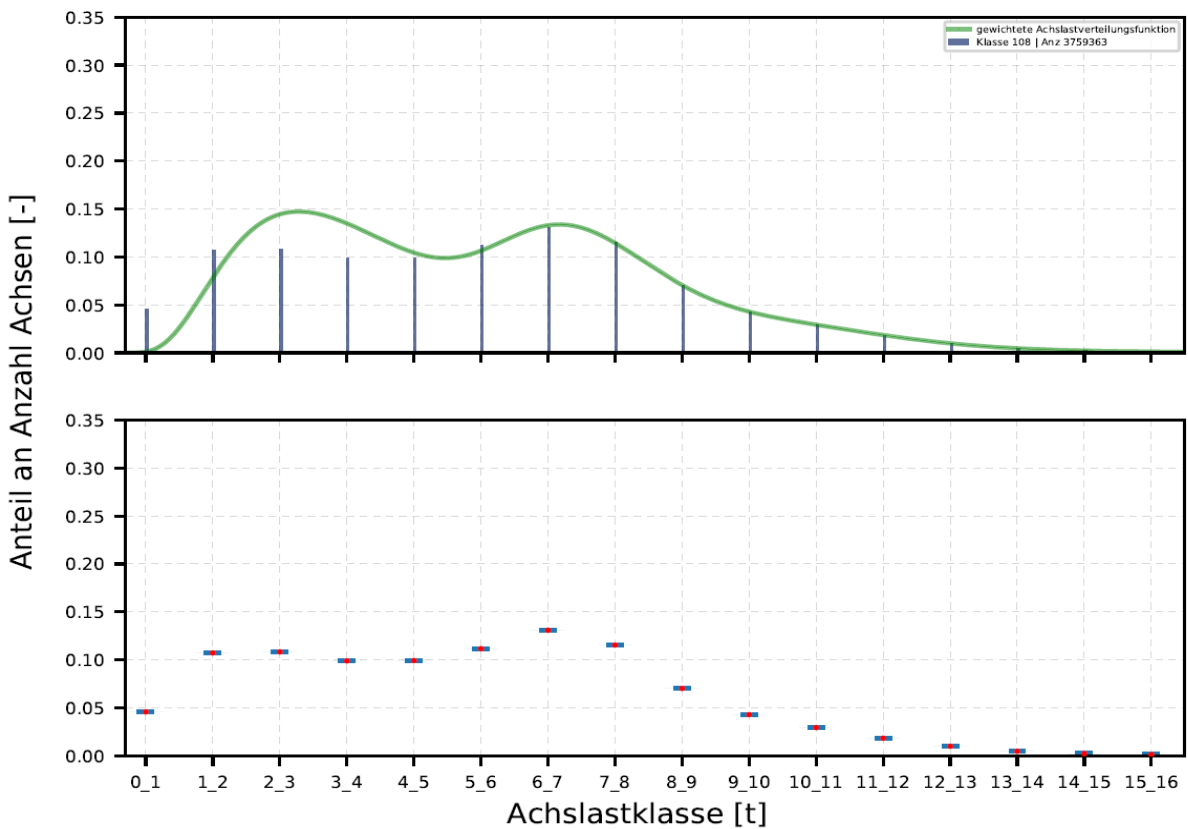


Bild 4-35: Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – mittlere Achslastverteilung

5 Ermittlung von Fahrzeugklassenverteilungen für unterschiedliche Straßenkategorien und Randbedingungen

Da sich die Achslastmessstellen in Deutschland derzeit nur auf den Bundesautobahnen befinden, ist eine direkte Ableitung von Achslastverteilungen für das nachgeordnete Straßennetz nur mit großen Ungenauigkeiten realisierbar.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ein methodisches Vorgehen entwickelt, welches durch die Überlagerung von Achslastverteilungen je Fahrzeugklasse des Schwerververkehrs mit den jeweiligen Verteilungen dieser Fahrzeugklassen Aussagen zu Achslastverteilungen für jede Straßenkategorie ermöglichen soll.

Neben den spezifischen Achslastverteilungen ist somit ein wesentlicher Bestandteil des Projektes, auch Fahrzeugklassenverteilungen für unterschiedliche Straßenkategorien und Randbedingungen zu ermitteln und für den modelltheoretischen Ansatz zur Verfügung zu stellen.

Zur Ermittlung dieser Fahrzeugklassenverteilungen mussten zahlreiche Datenquellen eruiert und ausgewertet werden. Nachfolgend werden zunächst die unterschiedlichen Datenquellen vorgestellt, auf deren Basis die anschließend dokumentierten Fahrzeugklassenverteilungen ermittelt wurden.

5.1 Datengrundlage

5.1.1 Automatische Dauerzählstellen

Seit 1975 werden in Deutschland auf ausgewählten Abschnitten des Bundesfernstraßennetzes die Verkehrsmengen mit automatischen Dauerzählstellen erfasst und ausgewertet. Dieses Netz der Dauerzählstellen umfasst mit Stand 2015 rund 1.750 Dauerzählstellen. Hiervon befinden sich 929 auf Bundesautobahnen und 815 auf außerörtlichen Bundesstraßen ([BAST 2016]; siehe auch [FITSCHEN/NORDMANN 2014]). Insgesamt ergibt sich damit eine gute Abdeckung des Bundesfernstraßennetzes (siehe Bild 5-1). Die Daten der automatischen Zählstellen auf Bundesfernstraßen und zunehmend auch auf Landes- und Kreisstraßen werden von den Ländern an die BAST übermittelt und

anschließend nach einem bundeseinheitlichen Verfahren aufbereitet. Das genaue Verfahren ist in [FITSCHEN/NORDMANN 2014]) beschrieben.

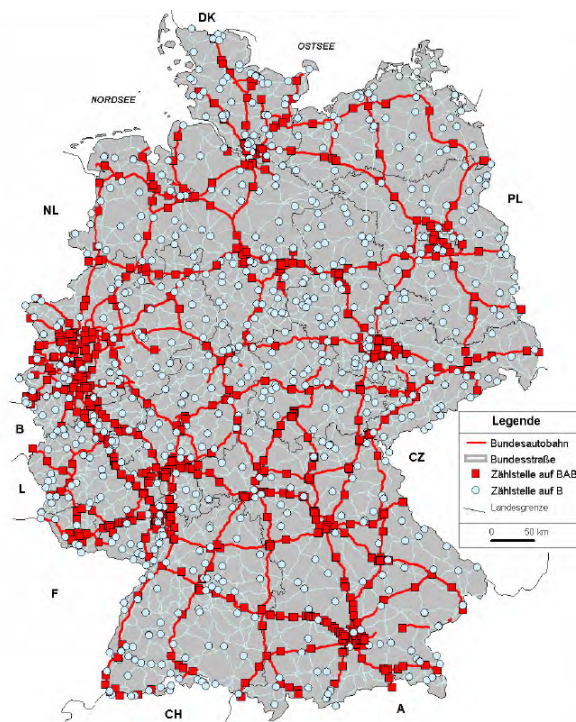


Bild 5-1: Karte der automatischen Dauerzählstellen auf Bundesfernstraßen in Deutschland [FITSCHEN/NORDMANN 2014]

An den automatischen Dauerzählstellen werden kontinuierlich Fahrzeuge erfasst und klassifiziert. Die erfassten Daten werden hierbei zu Stundenwerten zusammengefasst, wobei diese separat für jeden Fahrstreifen vorliegen. An 96 % aller Zählstellen ist inzwischen eine Differenzierung nach 8+1-Fahrzeugklassen [TLS 2012] möglich, weitere 2 % haben eine Differenzierung nach 5+1-Fahrzeugklassen.

Zur Verwendung der Dauerzählstellendaten im Rahmen des vorliegenden Projektes müssen jedoch gewisse Anforderungen erfüllt sein. Neben geringen Ausfallzeiten (vollständige Datensätze) ist auch eine Klassifizierung von 5+1 bzw. 8+1 Fahrzeugklassen erforderlich, um die Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs (Kfz mit zulässigem Gesamtgewicht ab 3,5 t) eindeutig identifizieren zu können.

Es kann davon ausgegangen werden, dass sowohl für die Autobahnen als auch für die Bundesstraßen ein hinreichend großes Kollektiv vorliegt, mit dem die unterschiedlichen Aspekte und Randbedingungen abgedeckt werden können. Auf den Landesstraßen stehen Daten von rund 280 Zählstellen (239 auf L, 41 auf S) zur Verfügung, so dass auch hier

eine gute Datengrundlage gegeben ist. Das Kollektiv der auswertbaren, automatischen Dauerzählstellen auf Kreis- und Gemeindestraßen ist mit 11 Zählstellen sehr klein, so dass eine Differenzierung nach unterschiedlichen Kriterien nicht immer möglich erscheint.

Seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurden die plausibilisierten Stundenwerte für die Jahre 2008 bis 2015 im BASt-Bestandsbandformat zur Verfügung gestellt. Im Laufe des Projekts konnten dann noch Daten von Achslastmessstellen aus dem Jahr 2016 hinzugenommen werden.

Zusätzlich zu den Daten liegt auch das bei der BASt geführte Zählstellenverzeichnis (ZV) vor, in dem u. a. Informationen zur genauen Lage der Zählstelle, zur Fahrzeugklassendifferenzierung sowie weitere Randbedingungen enthalten sind. In Ergänzung zum Zählstellenverzeichnis existiert für die Mehrheit der Zählstellen eine Zählstellendokumentation, in der weitere und teilweise detailliertere Informationen zur jeweiligen Zählstelle zusammengestellt sind. Die bei der BASt vorliegenden Zählstellendokumentationen (xls- oder pdf-Datei) wurden ebenfalls dem Forschungsnehmer zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus konnten durch die Länder teilweise zusätzliche Informationen bereitgestellt werden.

Für die hier zunächst beschriebene Auswertung der Daten des Jahres 2015 standen die folgenden Zählstellenkollektive der automatischen Dauerzählstellen zur Verfügung:

- 654 Zählstellen auf BAB
- 701 Zählstellen auf B
- 280 Zählstellen auf L und S
- 9 Zählstellen auf K
- 2 Zählstellen auf G

5.1.2 Daten des Verkehrsmonitorings Baden-Württemberg

Auf dem nachgeordneten Straßennetz (L, S, K, G) ist das Kollektiv automatischer Dauerzählstellen sehr gering. Hier bietet es sich an, die Daten des Verkehrsmonitorings der Länder zu nutzen. Im Rahmen des Verkehrsmonitorings werden von den Ländern Kurzzeitzählungen mit automatischen Zählgeräten über i. d. R. 2+2 Wochen durchgeführt.

Die hierzu eingesetzten Seitenradargeräte befinden sich in der Regel in einem Standardleitpfosten (siehe Bild 5-2), der in ein festes Betonfundament

am Straßenrand eingesetzt wird. Aufgrund der gewählten Messtechnik befinden sich die Zählstandorte zum Großteil auf der freien Strecke im Bereich eines geraden Straßenverlaufs ohne große Steigungen. Bei der Erfassung der Einzelfahrzeuge werden diese klassifiziert (bis zu 8+1 Fahrzeugklassen) sowie deren Geschwindigkeit gemessen.

Exemplarische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Erfassungsgenauigkeit bei rund 99 % liegt. Hinsichtlich der Klassifizierung ist das größtenteils eingesetzte Leitpfostenzählgerät von der Firma RTB GmbH & Co. KG inzwischen von der BASt positiv geprüft worden und hat hier die Genauigkeitsstufe F3 nach TLS erreicht. Diese Prüfstufe umfasst die fünf Fahrzeugklassen Pkw-Gruppe (Pkw ohne Anhänger, Motorräder und Lieferwagen), Pkw und Lieferwagen mit Anhänger, Lkw > 3,5 t ohne Anhänger, Lkw-Kombinationen (Lkw mit Anhänger und Sattelzüge) und Busse.



Bild 5-2: Leitpfostenzählgerät

Zur Verbesserung der Hochrechnungsgenauigkeit sind in einigen Ländern gerade auf schwach belasteten Straßen (z. B. Kreisstraßen) so genannte dauerhaft zählende Zählstellen (DZZ) eingerichtet worden. Baden-Württemberg besitzt rund 100 dieser Zählstellen, an denen über rund 10 Monate mit Seitenradargeräten der Verkehr in einer 8+1-Differenzierung erfasst und ausgewertet worden ist. Diese Daten wurden bislang im Rahmen von Projekten plausibilisiert und die Datenlücken mit Schätzwerten aufgefüllt.

Diese Geräte sind von der BASt für die 5+1-Klassifizierung zertifiziert. Bei der Auswertung wurde auf die vollständige 8+1-Klassifizierung zurückgegriffen, wenn Auswertungen für die genauen Fahrzeugarten dargestellt sind. Alle übrigen Auswertungen (z. B. zu Schwerverkehr und Lastzugfaktor) sind von diesem Unterschied nicht beeinflusst.

Ähnlich wie bei den automatischen Dauerzählstellen wird auch für die Zählstellen im Rahmen des Verkehrsmonitorings eine Dokumentation durchgeführt.

Diese Daten sollen im Rahmen der Auswertungen genutzt werden. Eine entsprechende Nutzungsgenehmigung wurde von der Landesstelle für Straßentechnik des Landes Baden-Württemberg (BW), die für Betrieb und Auswertung des Verkehrsmonitorings zuständig ist, erteilt. Hierdurch kann auf ein deutlich vergrößertes Zählstellenkollektiv, welches exemplarisch für Bundes- und Landesstraßen in Bild 5-3 dargestellt ist, zurückgegriffen werden.

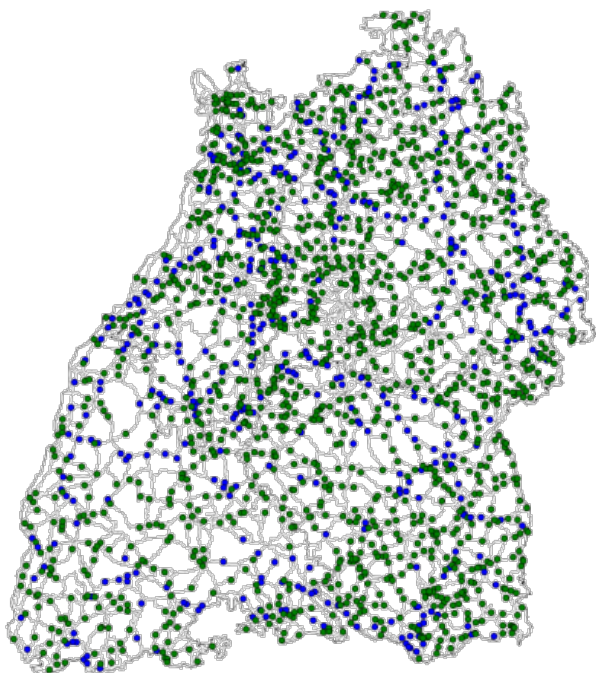


Bild 5-3: Abdeckung Zählstellen BW (Landesstraßen grün, Bundesstraßen blau)

Aus dem Verkehrsmonitoring Baden-Württemberg standen für die Jahre 2010-2015 Daten und Ergebnisse von folgenden Zählstellenkollektiven zur Verfügung:

- 814 Zählstellen auf B
- 1.764 Zählstellen auf L
- 2.089 Zählstellen auf K
- 10 Zählstellen auf G
- 4 DZZ auf B
- 160 DZZ auf L
- 2 DZZ auf K

5.2 Auswertung Verkehrskenngrößen

Für die Auswertung wurden die eingangs beschriebenen Daten übernommen, gesichtet und in einem

einheitlichen Format für die weitere Bearbeitung abgelegt.

Grundsätzlich stehen für alle hier beschriebenen Datenquellen Stundendaten mit entsprechenden Verkehrsdaten in bis zu 8+1 Fahrzeugklassendifferenzierung zur Verfügung, aber nicht zwangsläufig für jedes Gerät durchgehend Daten für den gesamten Erhebungszeitraum (2008-2015 bei Dauerzählstellen, 2010-2015 im Verkehrsmonitoring).

Um die unterschiedlichen Straßenkategorien miteinander zu vergleichen und Möglichkeiten der Übertragbarkeit zu eruieren, wurden zunächst auf der Basis der vorhandenen Daten verkehrliche Kennwerte bestimmt. Dabei wurde es als ausreichend angesehen, die Daten des Jahres 2015 zu betrachten, da eine Erweiterung auf zusätzliche Jahre mit den Daten überwiegend identischer Geräte kaum zusätzliche, unabhängige Daten in die Auswertung einbringt. Der Fokus lag hierbei insbesondere auf den Kennwerten, mit denen die Charakteristik des Schwerverkehrs beschrieben werden kann. Dies sind z. B. Schwerverkehrsanteil, Anteile der einzelnen SV-Fahrzeugklassen (LoA, LmA, Sat, Bus) und der Lastzugfaktor (Anteil der Last-/Sattelzüge am Schwerverkehr).

Diese Kennwerte wurden ebenfalls für die Querschnitte der Achslastmessstellen bestimmt. Während der Bearbeitung des Berichtes wurden zusätzliche Daten für 5 Achslastmessstellen (Gesamtquerschnitte) aus dem Jahr 2016 verfügbar. Durch Hinzunahme dieser Zählstellen konnte das Kollektiv der Achslastmessstellen von 3 auf 8 erhöht werden. Aufgrund der hohen mechanischen Belastung der Achslastmessstellen und dem damit verbundenen Verschleiß stand für die übrigen Achslastmessstellen keine ausreichende Datengrundlage für Jahreskennwerte bereit. Insbesondere lieferten die Zählstellen Neustadt-Glewe, Bliesheim, Straelen und Dachau nur Teildaten, die als nicht ausreichend erachtet wurden.

In Bild 5-4 bis Bild 5-7 sind zunächst die Mittelwerte für wesentliche Parameter dargestellt. Dabei wurden die DZZ aus dem Monitoring getrennt von den Dauerzählstellen betrachtet, da im Monitoring ausschließlich Daten aus Baden-Württemberg verwendet wurden und die Datenqualität der Dauerzählstellen aufgrund der Methodik als höher eingestuft wird.

Erwartungsgemäß sind die absoluten Verkehrsmengen auf den Autobahnen und damit auch an den Achslastmessstellen im Mittel mit Abstand am

höchsten. Dies gilt besonders für den Schwerverkehr.

Im Gegensatz dazu gibt es beim Schwerverkehrsanteil keinen Sprung zwischen den Zählstellen auf Autobahnen und denen auf dem nachgeordneten Netz (B, L, S, K, G). Hier zeigt sich vielmehr eine graduelle Abnahme mit dem Rang der Straßenklasse. Dies gilt ebenso für den Lastzugfaktor.

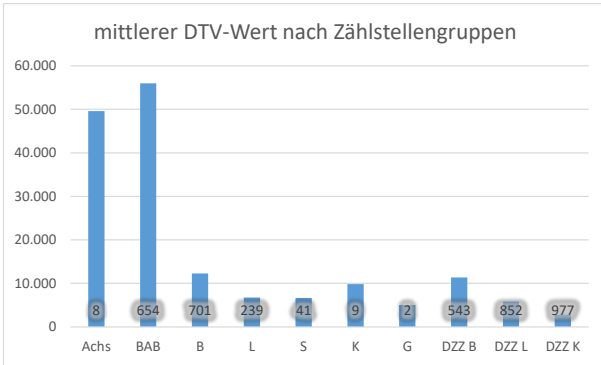


Bild 5-4: Mittlerer DTV-Wert nach Zählstellengruppen

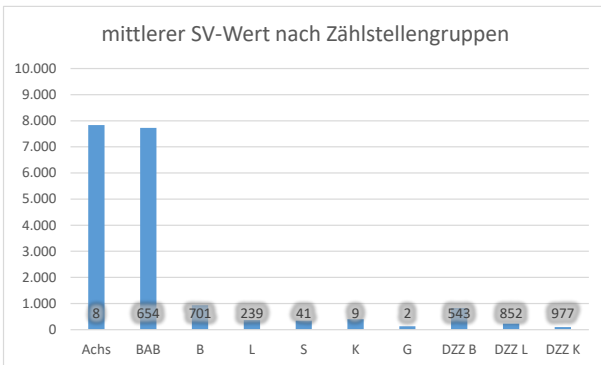


Bild 5-5: Mittlerer SV-Wert nach Zählstellengruppen

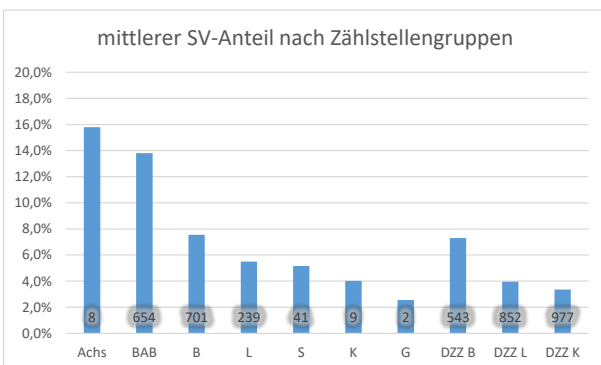


Bild 5-6: Mittlerer SV-Anteil nach Zählstellengruppen

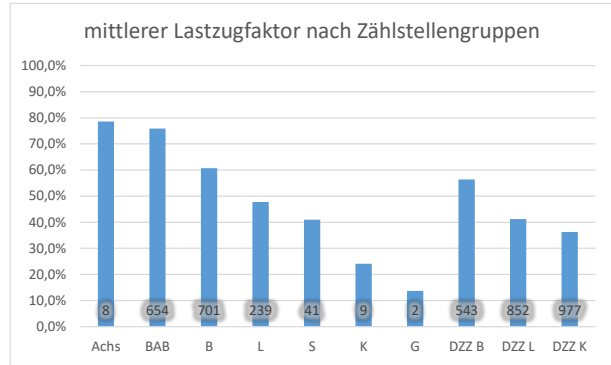


Bild 5-7: Mittlerer Lastzugfaktor nach Zählstellengruppen

In den nachfolgenden Grafiken (Bild 5-8 bis Bild 5-11) werden einzelne Merkmale separat betrachtet und die Ergebnisse gegenübergestellt. Hierzu wurden je Merkmal für unterschiedliche Wertebereiche die Werte in Form von Box-Plot-Diagrammen dargestellt. Daraus können anschließend Rückschlüsse auf die weitere Möglichkeit zur Zusammenfassung von Teilkollektiven gezogen werden.

In dieser Art der Darstellung wird der Median als horizontale Linie innerhalb der Box gekennzeichnet. Die Box selbst markiert den Bereich, in dem 50 % aller Werte liegen. Demnach wird sie durch das obere (75 %) und untere (25 %) Quartil begrenzt. Die Länge der Box wird als Interquartilsabstand (interquartile range, IQR) bezeichnet. Die Linien ober- und unterhalb der Box, die sogenannten Whisker, enden bei dem Wert aus den Daten, der gerade noch innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands liegt, ragen jedoch nicht über/unter den größten/kleinsten Einzelwert hinaus.

Weiterhin ist in den Diagrammen die Anzahl der Zählstellen je Teilkollektiv ausgewiesen, um bei der Interpretation der Ergebnisse die Belastbarkeit der Werte indirekt mit berücksichtigen zu können. Als weitergehende Information ist in den Diagrammen zusätzlich der 85 %-Quantilswert der Kennwerte der jeweiligen Teilkollektive als rote horizontale Linie eingetragen. Er markiert den Wert, der nur von 15 % der Werte innerhalb des Teilkollektivs überschritten wird. Die Daten der Achslastmessstellen zur Kollektivvergrößerung stammen wie erwähnt zum Teil aus dem Jahr 2016. Daher steht dort ein entsprechender Kommentar.

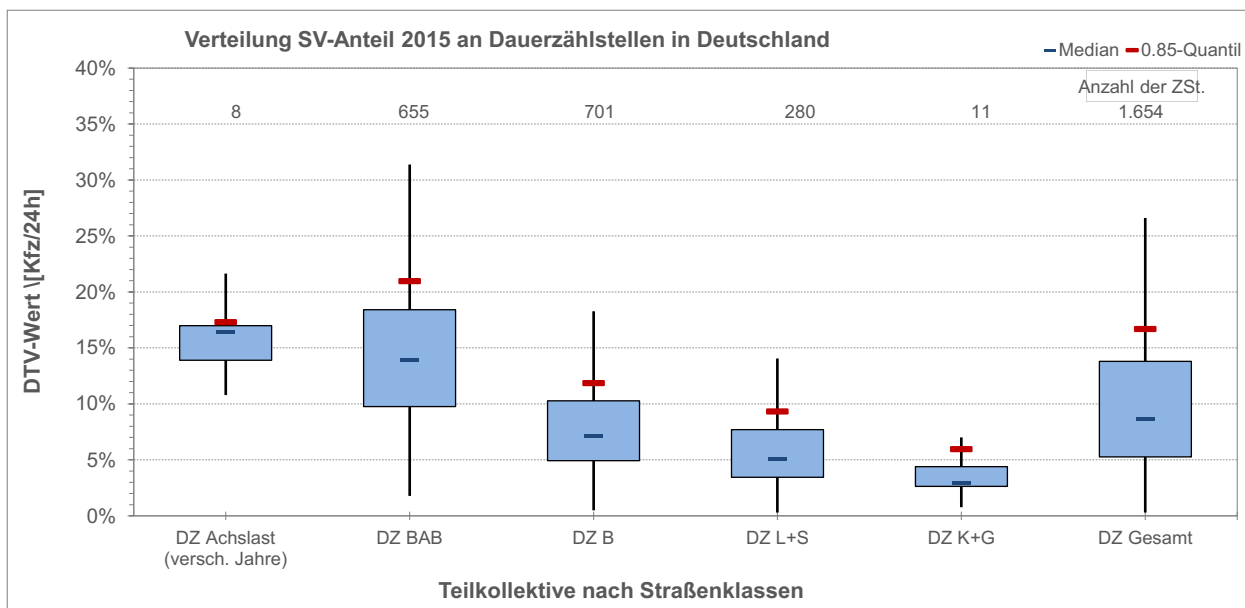


Bild 5-8: Verteilung SV-Anteil der Teilkollektive

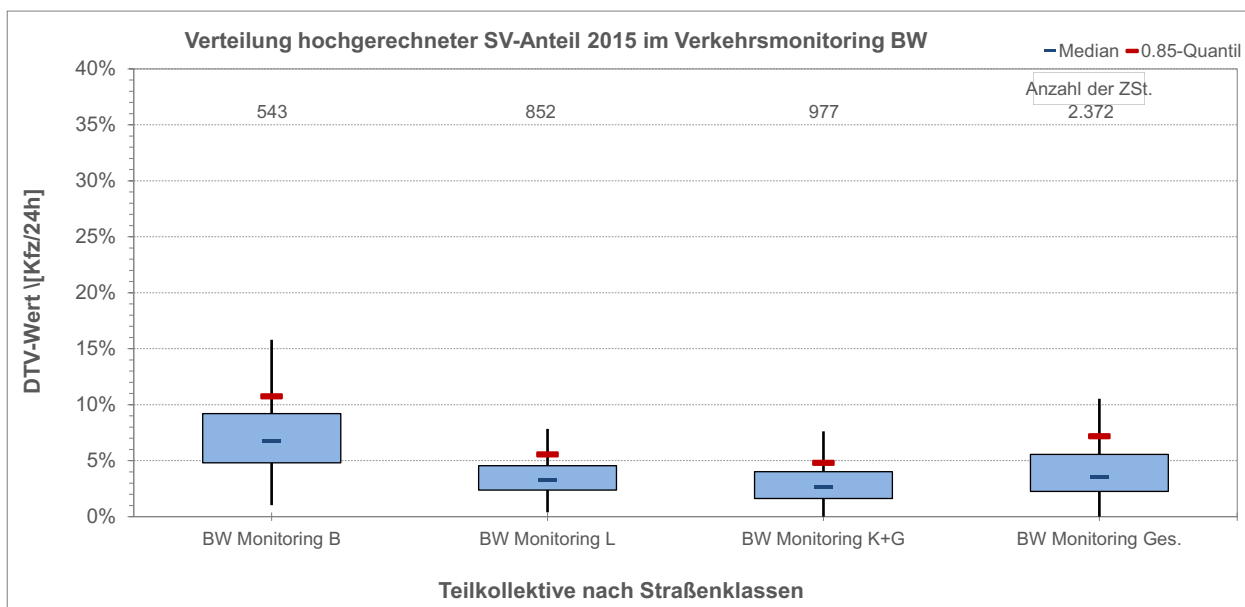


Bild 5-9: Verteilung SV-Anteil, Monitoring BW

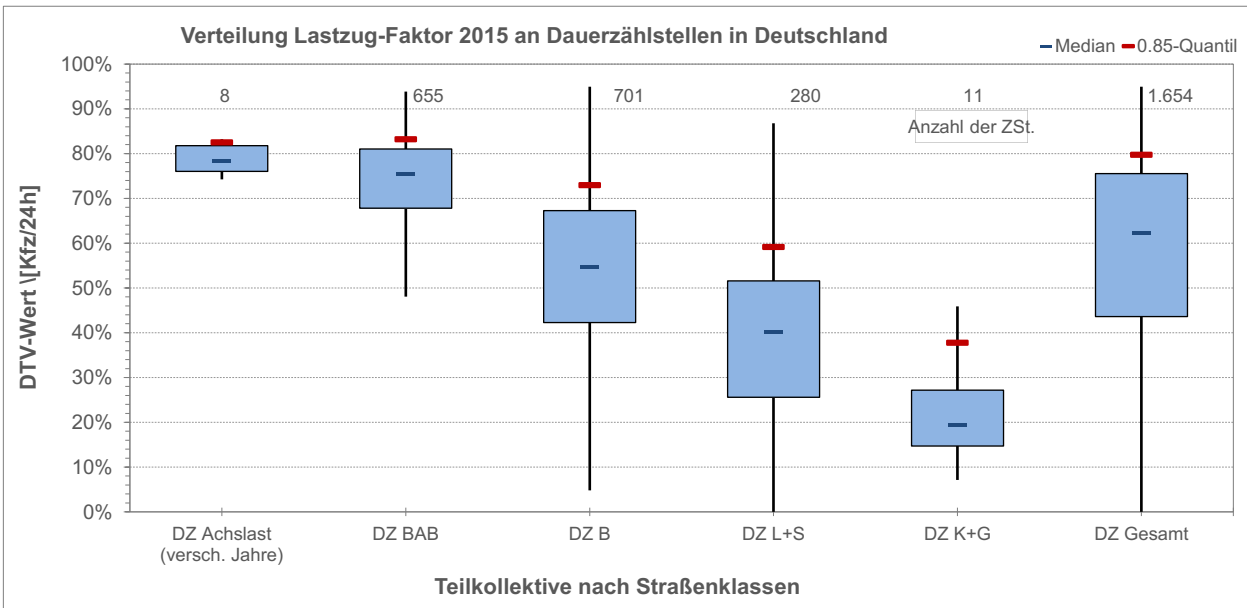


Bild 5-10: Verteilung Lastzugfaktor der Teilkollektive

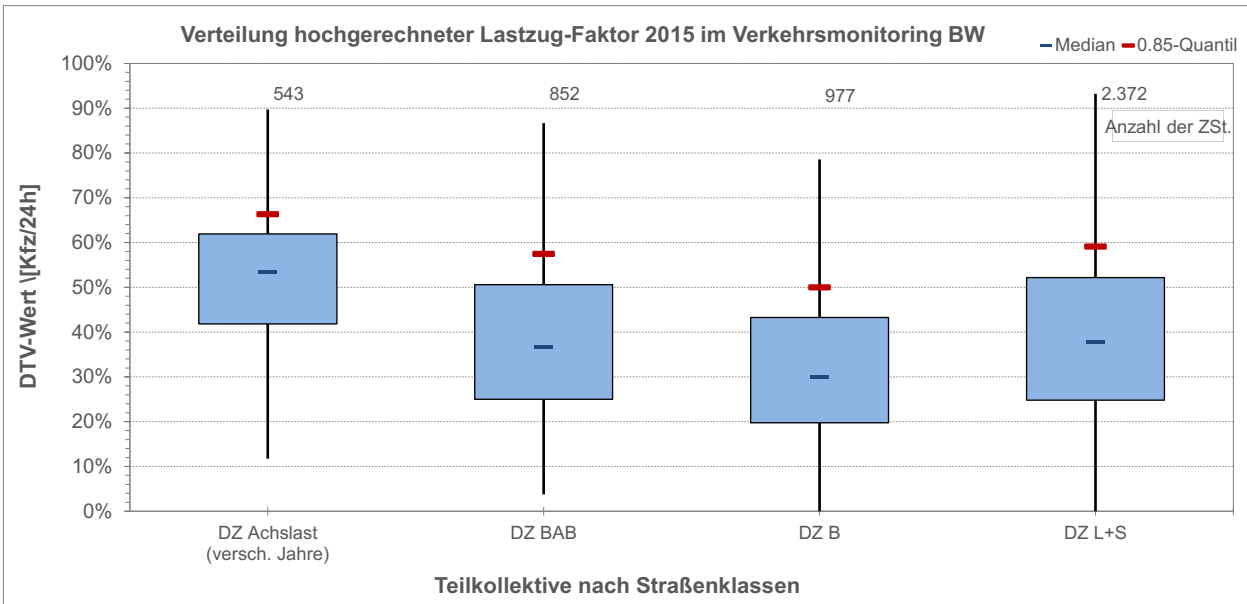


Bild 5-11: Verteilung Lastzugfaktor, Monitoring

Das kleine Kollektiv der acht Achslastmessstellen, die einen vollständigen Querschnitt erfassen, lässt sich durch zusätzliche erweitern, die nur einen Richtungsquerschnitt oder sogar nur den rechten Fahrstreifen erfassen. Für diese Zählstellen können zwar nicht alle Kennwerte errechnet werden, da beispielsweise querschnittsbezogene Verkehrsmengen für Kraftfahrzeuge und Schwerverkehr fehlen, reine Schwerverkehrskennwerte wie der Lastzug-

faktor lassen sich jedoch berechnen. Dabei wird angenommen, dass die Ungenauigkeit, die durch nicht erfassten Schwerverkehr auf den übrigen Fahrstreifen entsteht, vernachlässigbar klein ist. Dadurch lässt sich das Kollektiv für einige Kennwerte auf 35 Richtungsquerschnitte erweitern. In Bild 5-12 und Bild 5-13 sind die Kennwerte für das tägliche Schwerverkehrsaufkommen (doppelter Richtungswert) und den Lastzugfaktor für das so erweiterte Kollektiv dargestellt.

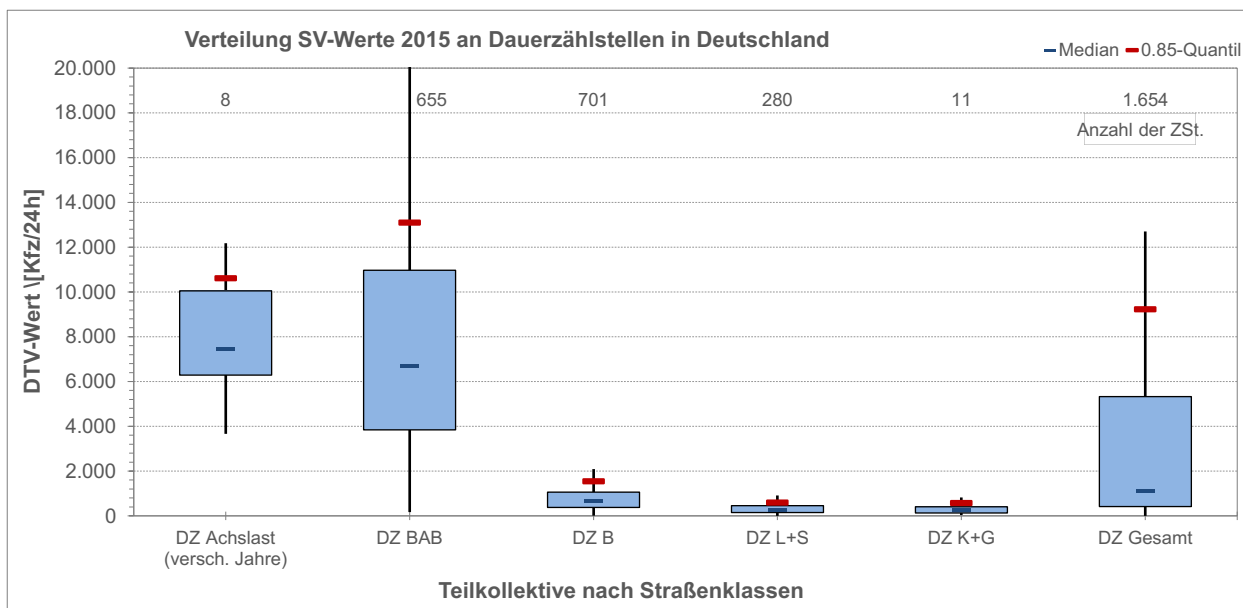


Bild 5-12: Verteilung Schwerverkehr, erweitertes DZ-Achslastkollektiv (doppelter Richtungs-SV)

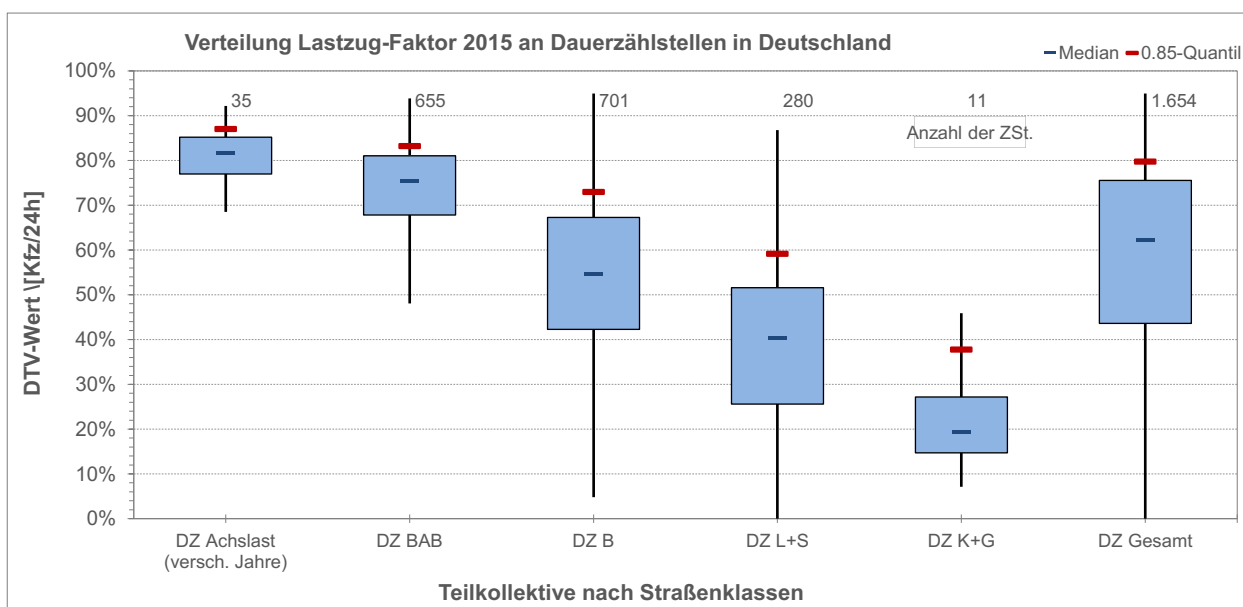


Bild 5-13: Verteilung Lastzugfaktor, erweitertes DZ-Achslastkollektiv

Bei den Achslastmessstellen fällt auf, dass diese in Bezug auf ihre verkehrlichen Kennwerte sehr ähnlich sind. Demgegenüber gibt es innerhalb der einzelnen Straßenklassen große Streuungen. Der Schwerverkehrsanteil streut besonders stark im Kollektiv der Bundesstraßen, der Lastzugfaktor vor allem auf den Landes- und Staatsstraßen.

Dabei liegt der Median für beide Kennwerte auf allen Straßenklassen – auch auf den Autobahnen – unterhalb des Medians der acht vorhandenen Achslastmessstellen.

Im Kollektiv der Monitoring-Zählstellen fällt erwartungsgemäß auf, dass der Schwerverkehrsanteil und der Lastzugfaktor kleiner sind, je niedriger der Rang der Straße ist. Auf B- und L-Straßen ist er außerdem kleiner als an den Dauerzählstellen der gleichen Straßenklasse. Dies ist bedingt dadurch, dass Dauerzählstellen vorrangig an Standorten mit hohem Verkehrsaufkommen errichtet sind.

Zusätzlich wurden der Schwerverkehrsanteil und der Lastzugfaktor in Abhängigkeit von der Gesamtverkehrsstärke dargestellt (Bild 5-14 und Bild 5-15).

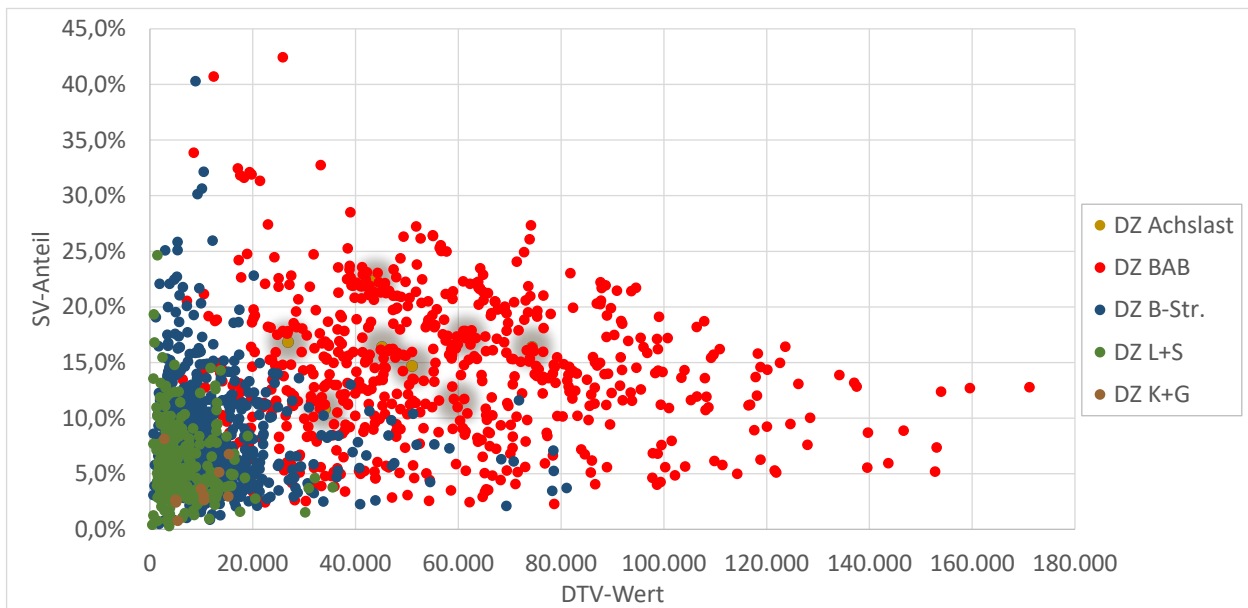


Bild 5-14: Analyse des Schwerverkehrsanteils in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke

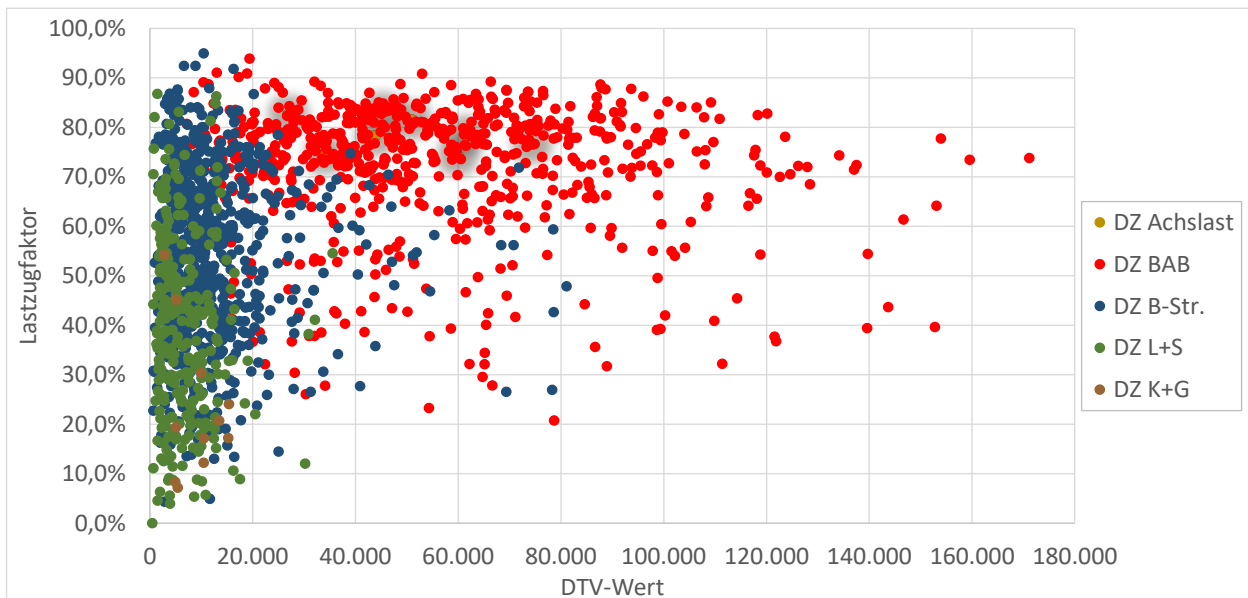


Bild 5-15: Analyse des Lastzugfaktors in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke

Auch hier lässt sich die große Streubreite der Kenngrößen innerhalb jeder Straßenklasse erkennen.

5.3 Auswertung Fahrzeugklassenverteilung

Aus den vorgestellten allgemeinen Verkehrskenngrößen geht hervor, dass insbesondere der Lastzugfaktor (Anteil von Lastzügen am Schwerverkehr) eine aussagekräftige Größe für die Einordnung einer Strecke ist. Darüber hinaus eignet er sich auch zur Abgrenzung der einzelnen Straßenkategorien voneinander.

Daher erfolgte in einem zweiten Schritt die Berechnung der Fahrzeugklassenverteilung. Neben der Betrachtung der Fahrzeugklassenanteile am gesamten Kraftfahrzeugverkehr lag der Fokus auf den jeweiligen Anteilen am Schwerverkehr. Hierbei wurden unterschiedliche Kollektive gebildet, die sich hinsichtlich der Straßenkategorie, der Lage, der Art des Güterverkehrs und der Verkehrsbelastung unterscheiden. Für die folgenden Kollektive wurden jeweils die Fahrzeugklassenverteilungen analysiert:

- Allgemein nach Straßenklasse BAB, B, L, K+G: Auf der Basis der Daten der automatischen Dauerzählstellen konnten für alle Straßenkategorien Fahrzeugklassenverteilungen ermittelt werden.

- Allgemein nach Straßenklasse B, L, K+G (Monitoring BW):
Auf der Basis der Daten des Verkehrsmonitorings konnten für die Straßenkategorien B, L und K+G Fahrzeugklassenverteilungen ermittelt werden. Insbesondere bei den geringeren Straßenklassen ist die Datengrundlage deutlich größer als bei den automatischen Dauerzählstellen.
- Güterverkehr Fern/Misch/Nah (BAB):
Anhand des Lastzugfaktors erfolgte eine Einteilung der automatischen Dauerzählstellen in die Gruppen Fernverkehr, Mischverkehr und Nahverkehr, für die die Fahrzeugklassenverteilungen ermittelt wurden.
- Autobahnnummer 1/2/3 (BAB):
Die Nummerierung der Autobahnen in Deutschland erfolgt zumeist nach der Bedeutung der BAB, wobei BAB mit einstelliger Nummer in der Regel die größte Bedeutung haben und für die Abwicklung des Fernverkehrs zuständig sind. Somit wurden anhand der Nummerierung Kollektive gebildet, die die Fernverkehrswirksamkeit wiedergeben.
- Ballungsraum nah/fern (BAB):

Im Zählstellenverzeichnis der automatischen Dauerzählstellen ist angegeben, ob die Lage der Zählstelle als ballungsraumnah oder ballungsraumfern beschrieben werden kann. Anhand dieses Merkmals erfolgte eine weitergehende Kollektivbildung.

- Verkehrsbelastung hoch / normal / schwach (BAB, B, L, K):
Für alle Straßenkategorien wurde eine weitere Differenzierung anhand der Verkehrsbelastung vorgenommen, wobei die gewählten Grenzwerte straßenkategoriespezifisch und ggfs. in Abhängigkeit der Fahrstreifenanzahl gewählt wurden.

Auch hier wurden als Darstellungsform Box-Plots gewählt. Die linken neun Box-Plots jedes Diagramms veranschaulichen dabei die Anteile der 8+1 Fahrzeugklassen am gesamten Kraftfahrzeugverkehr. Die rechten vier Box-Plots zeigen die Fahrzeugklassenanteile der maßgeblichen Fahrzeugklassen am Schwerverkehr.

Die folgenden Grafiken (Bild 5-16 bis Bild 5-19) zeigen die Anteile für je eine der vier Straßenklassen Bundesautobahnen, Bundesstraßen, Landes- und Staatsstraßen sowie Kreis- und Gemeindestraßen. Die verwendeten Daten basieren auf denen der Dauerzählstellen.

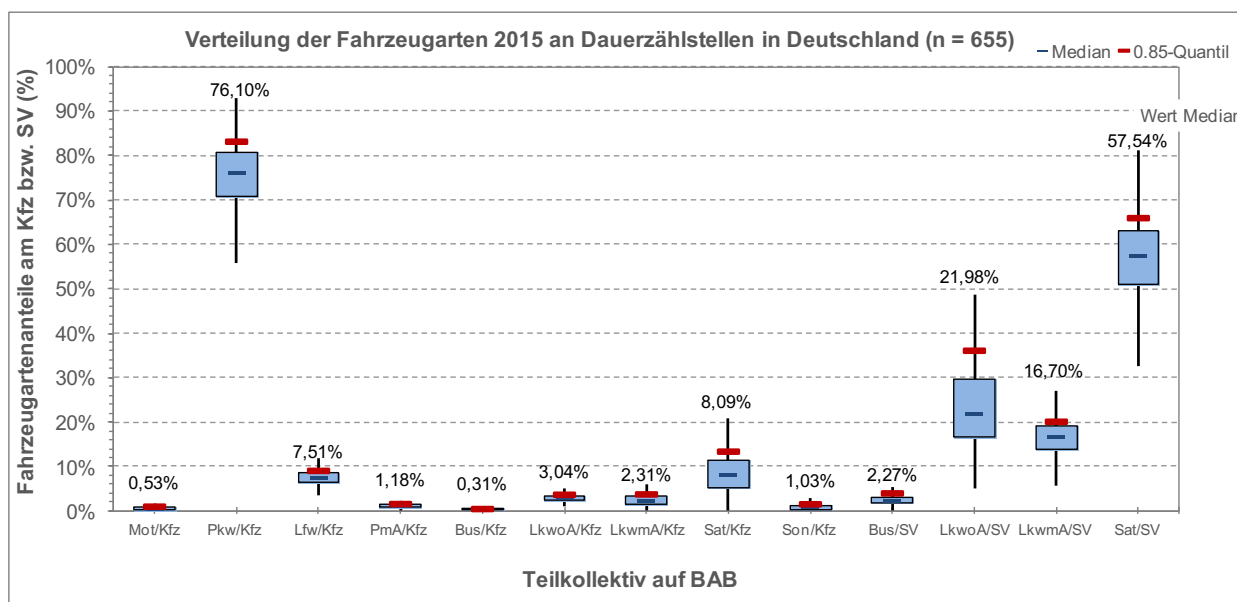


Bild 5-16: Fahrzeugklassenanteile an DZ auf BAB

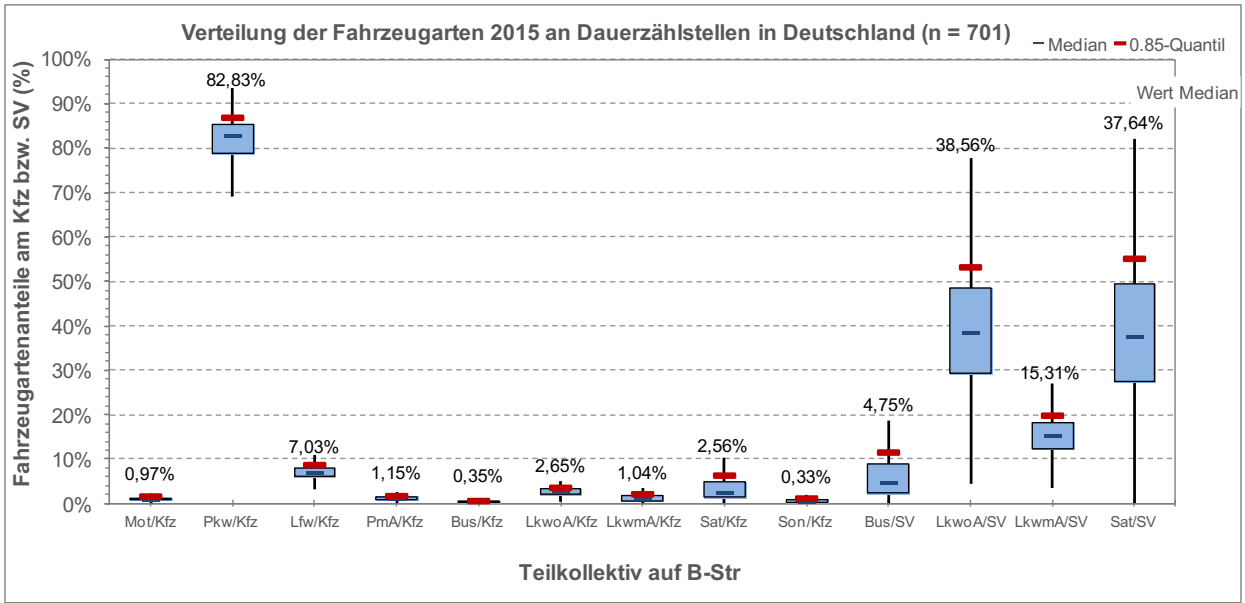


Bild 5-17: Fahrzeugklassenanteile an DZ auf B-Str.

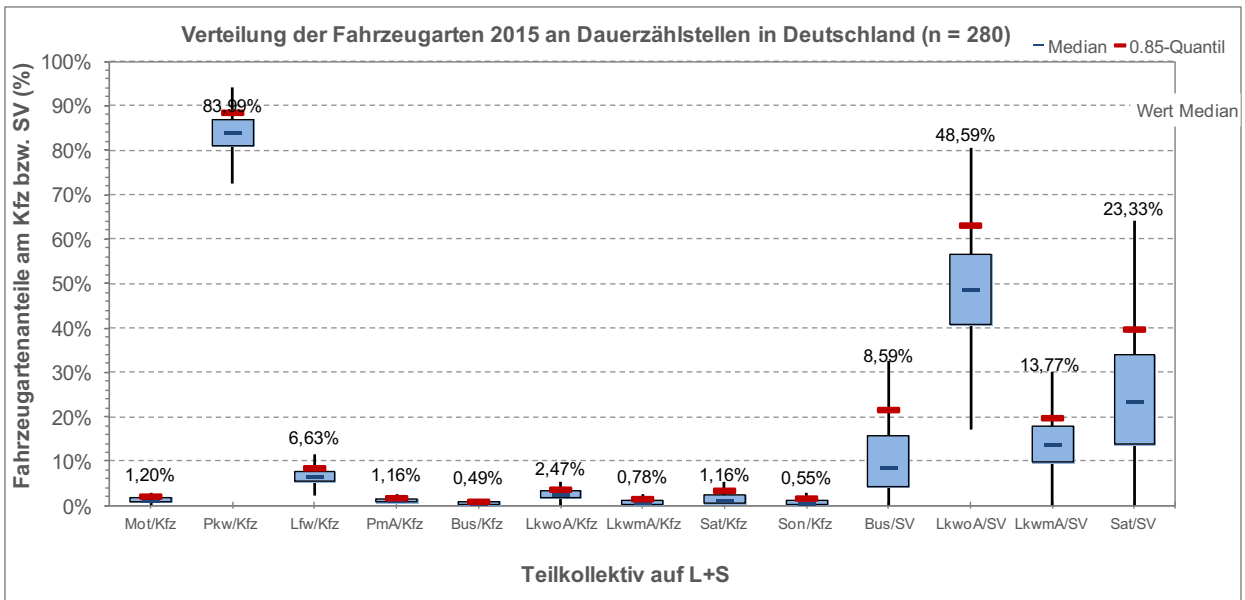


Bild 5-18: Fahrzeugklassenanteile an DZ auf L+S-Str.

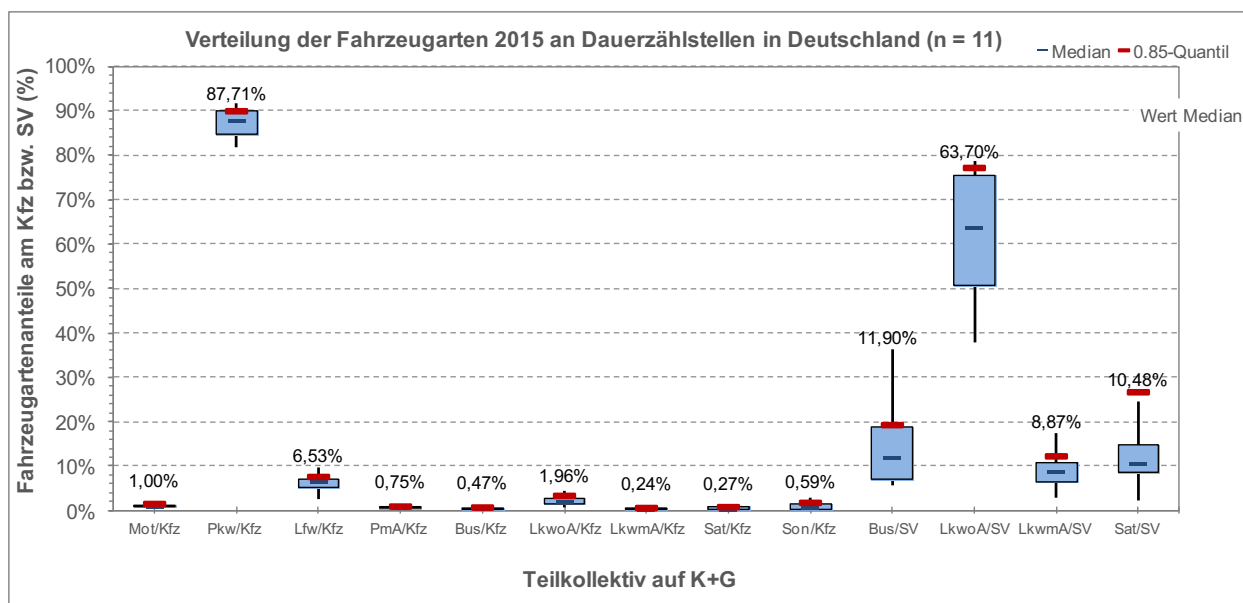


Bild 5-19: Fahrzeugklassenanteile an DZ auf K+G-Str.

Deutlich wird hier sofort der erwartete Rückgang des Sattel-Kfz-Anteils am Schwerverkehr mit absteigendem Rang der Straße. Liegt der Medianwert bei Bundesautobahnen noch bei einem Wert von 57,5 %, verringert sich dieser bis auf 10,5 % auf

Kreis- und Gemeindestraßen.

Die aufgezeigte Unterscheidung kann auch für die Daten aus dem Verkehrsmonitoring vorgenommen werden.

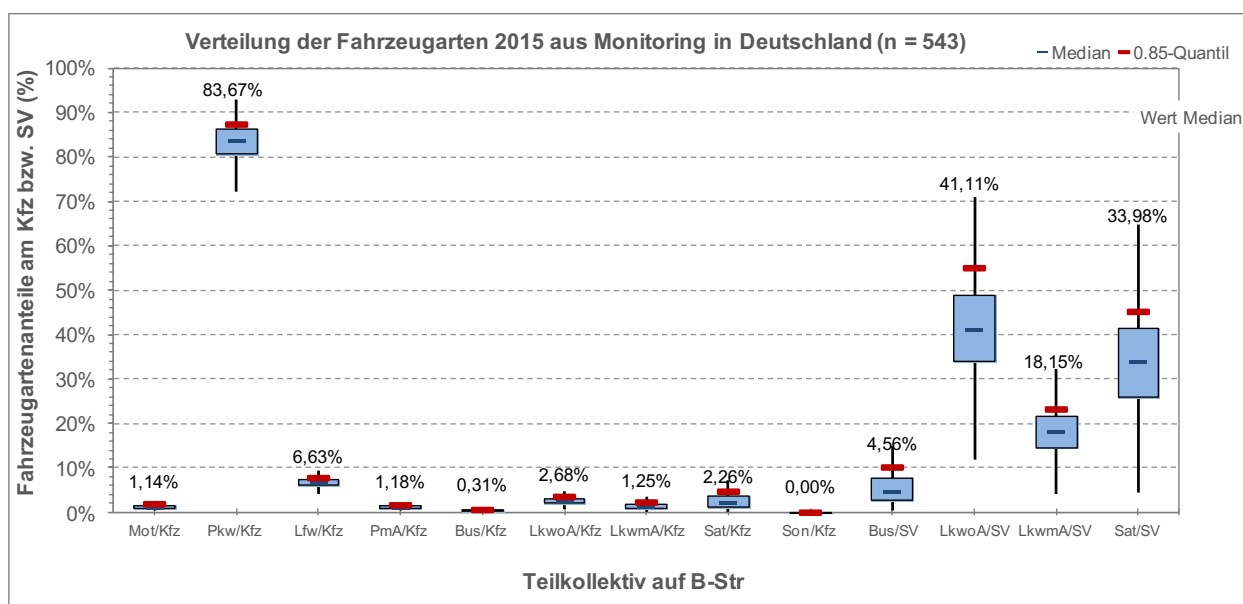


Bild 5-20: Fahrzeugklassenanteile auf B-Str. (Monitoring)

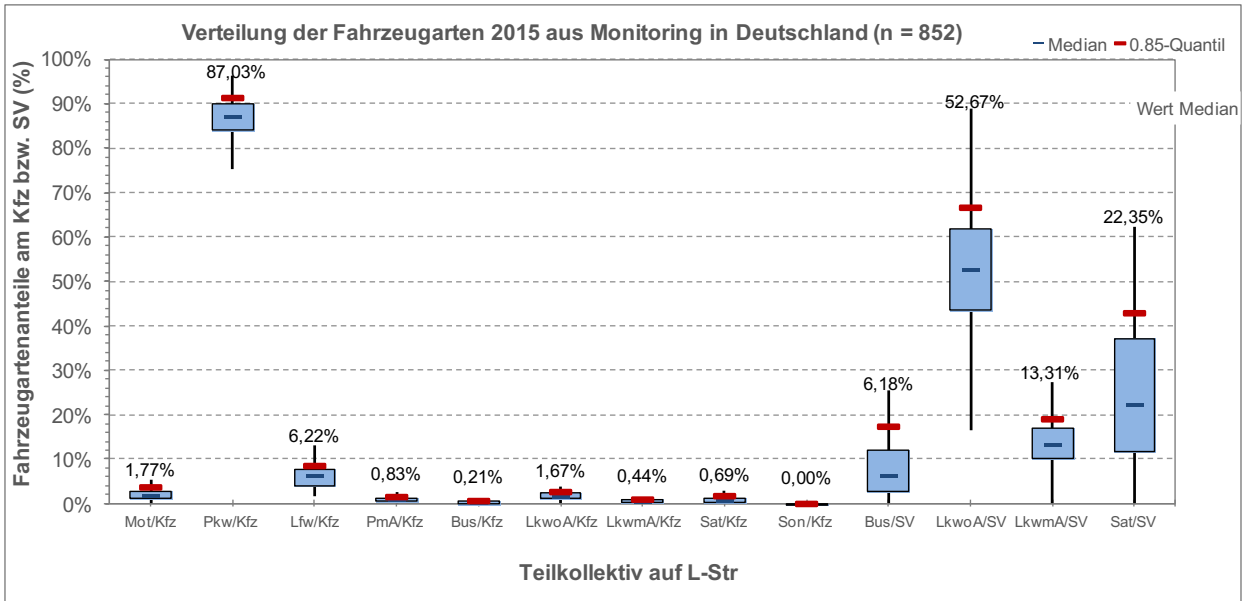


Bild 5-21: Fahrzeugklassenanteile auf L-Str. (Monitoring)

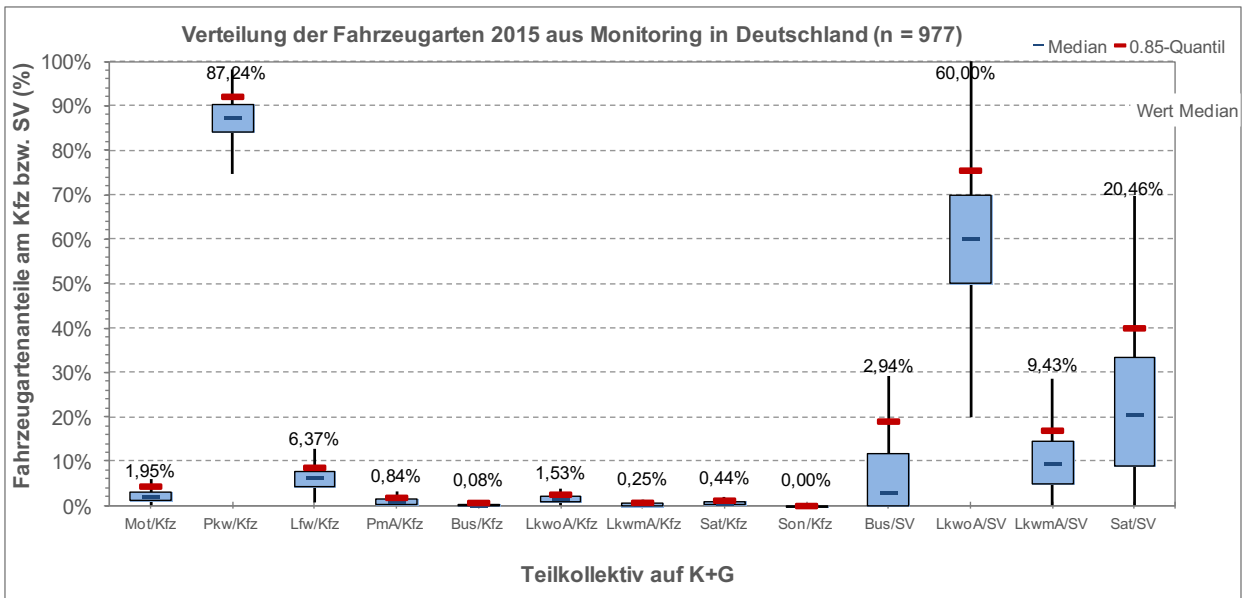


Bild 5-22: Fahrzeugklassenanteile auf K+G-Str. (Monitoring)

Die Box-Plots für die Straßenklassen Bundesstraßen, Landesstraßen sowie Kreis- und Gemeindestraßen sind Bild 5-20 bis Bild 5-22 zu entnehmen.

Der abnehmende Sattel-Kfz-Anteil wird auch hier ersichtlich. Gleichzeitig steigt der Anteil der Lkw ohne Anhänger am Schwerverkehr mit absteigender Straßenklasse.

Ein Vergleich der Box-Plots aus den Daten der Dauerzählstellen und aus denen des Verkehrsmonitorings zeigt nur bei den Kreis- und Gemeindestraßen einen entscheidenden Unterschied. Während bei den Dauerzählstellen der Median des Sat-Anteils einen Wert von 10,5 % annimmt, liegt dieser beim

Verkehrsmonitoring bei 20,5 %. Dafür fällt der Anteil der Busse bei den Dauerzählstellen deutlich größer aus.

Die Bundesautobahnen lassen sich weiterhin nach der Art des Güterverkehrs unterteilen. Aus diesem Grund erfolgt eine Unterscheidung anhand des Lastzugfaktors (LZF) in Autobahnen mit

- Güterfernverkehr (LZF \geq 65 %) (Bild 5-23),
- Gütermischverkehr (40% \leq LZF < 65 %) (Bild 5-24) und
- Güternahverkehr (LZF < 40 %) (Bild 5-25).

Die daraus resultierenden Box-Plots werden durch die folgenden Grafiken (Bild 5-23 bis Bild 5-25) veranschaulicht.

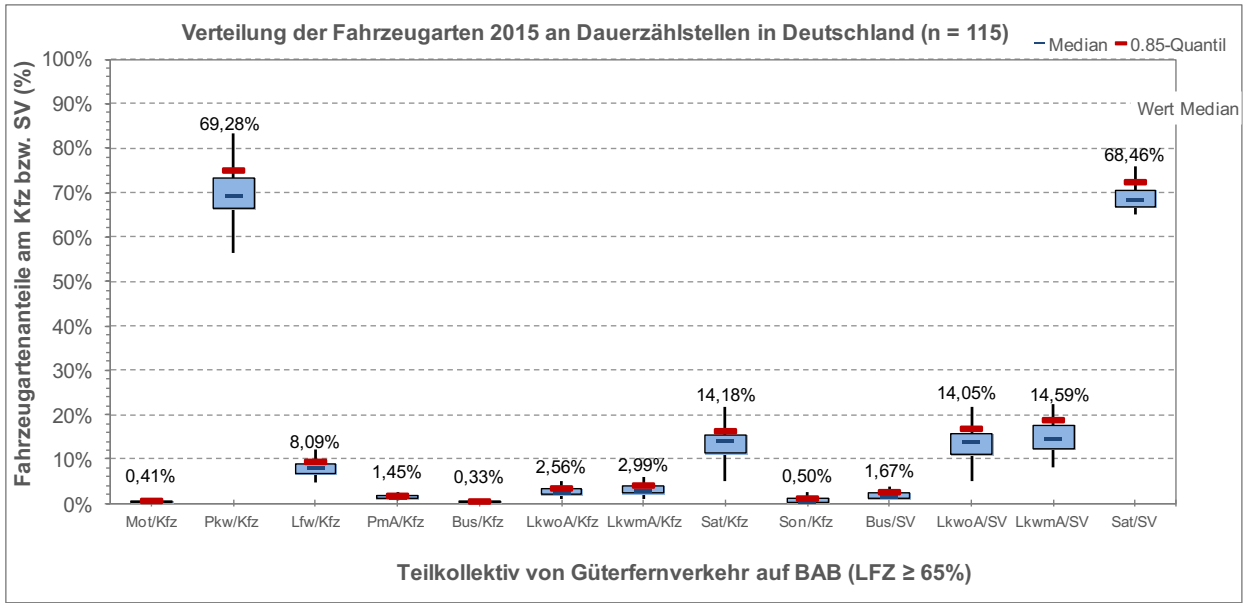


Bild 5-23: BAB mit Güterfernverkehr

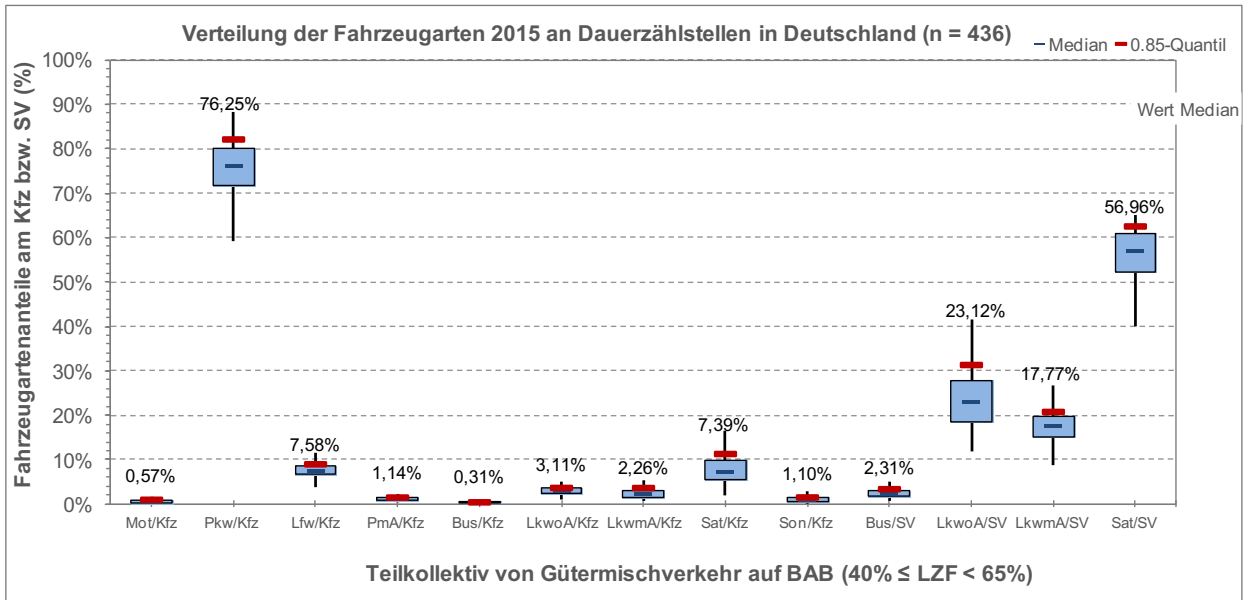


Bild 5-24: BAB mit Gütermischverkehr

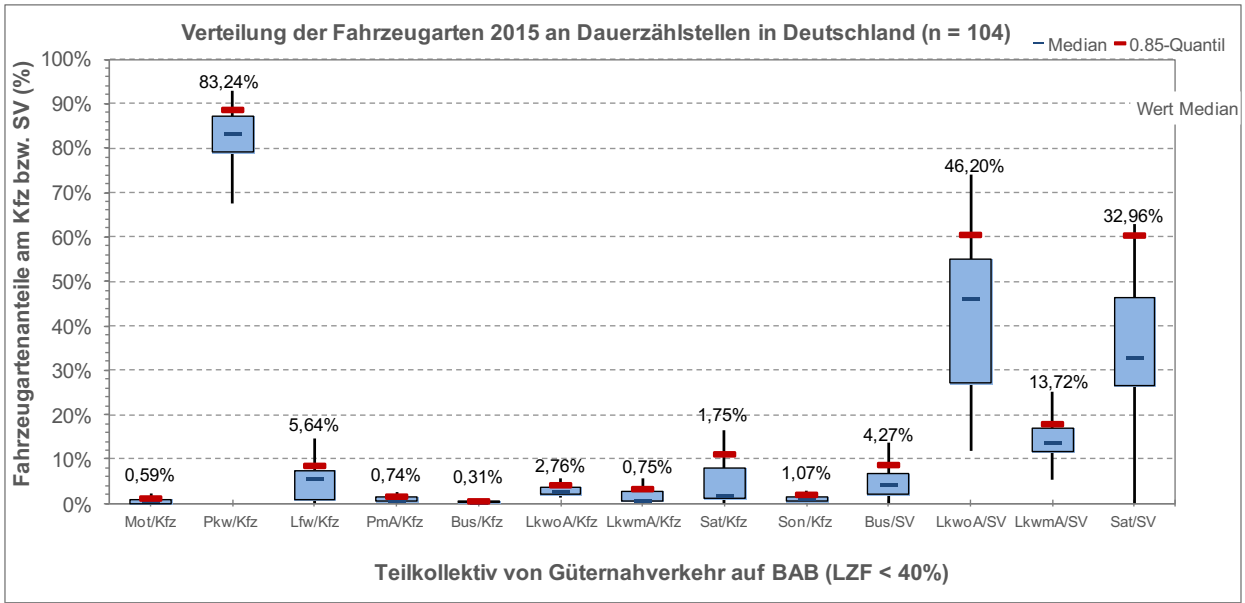


Bild 5-25: BAB mit Güternahverkehr

Es ist zu erkennen, dass die Fahrzeugklassenverteilung deutlich vom Lastzugfaktor abhängig ist. Im Bereich des Güterfernverkehrs ist ein hoher Anteil der Sat vorhanden, der sukzessive zum Gütermischverkehr und Güternahverkehr nachlässt.

Bei Güternahverkehr ist allerdings die Bandbreite innerhalb der Fahrzeugklassen, insbesondere bei den LmA, deutlich größer.

Eine weitere Unterteilung ist im Hinblick auf die Nummer der jeweiligen Bundesautobahn möglich. Dieser Schritt ist sinnvoll, da die Nummerierung

i. d. R. die Bedeutung und Fernwirksamkeit der jeweiligen Autobahn berücksichtigt. Folglich wird zwischen Autobahnen mit

- einstelliger Nummer,
- zweistelliger Nummer und
- dreistelliger Nummer

unterschieden.

Die entsprechenden Box-Plots sind den nachfolgenden Abbildungen (Bild 5-26 bis Bild 5-28) zu entnehmen

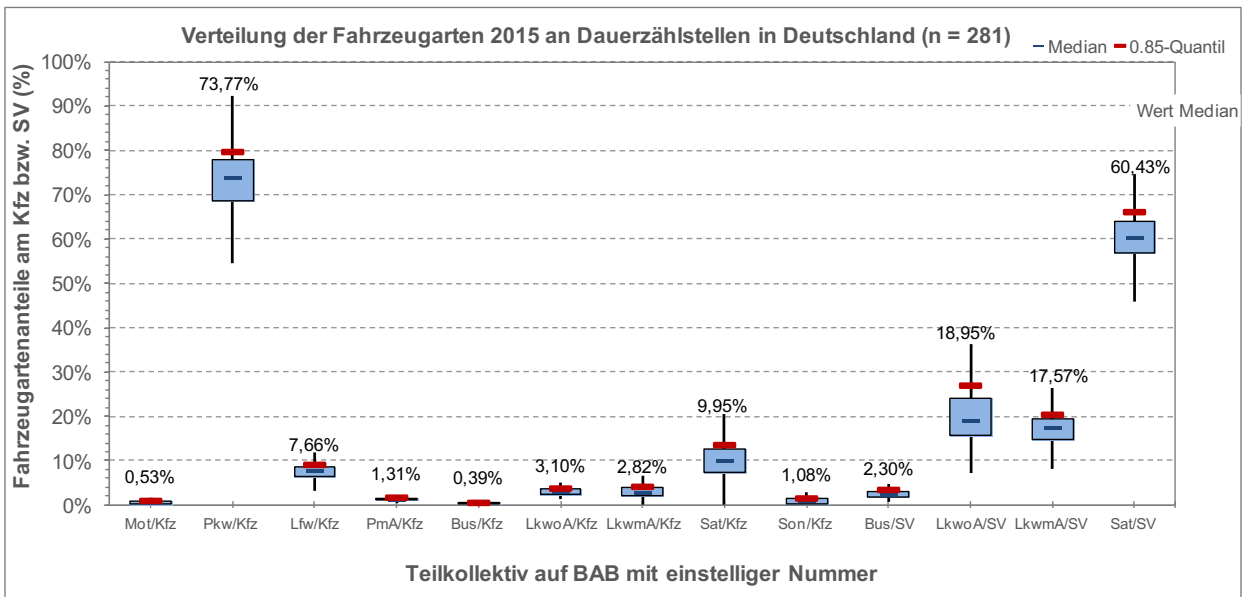


Bild 5-26: BAB mit einstelliger Nummer

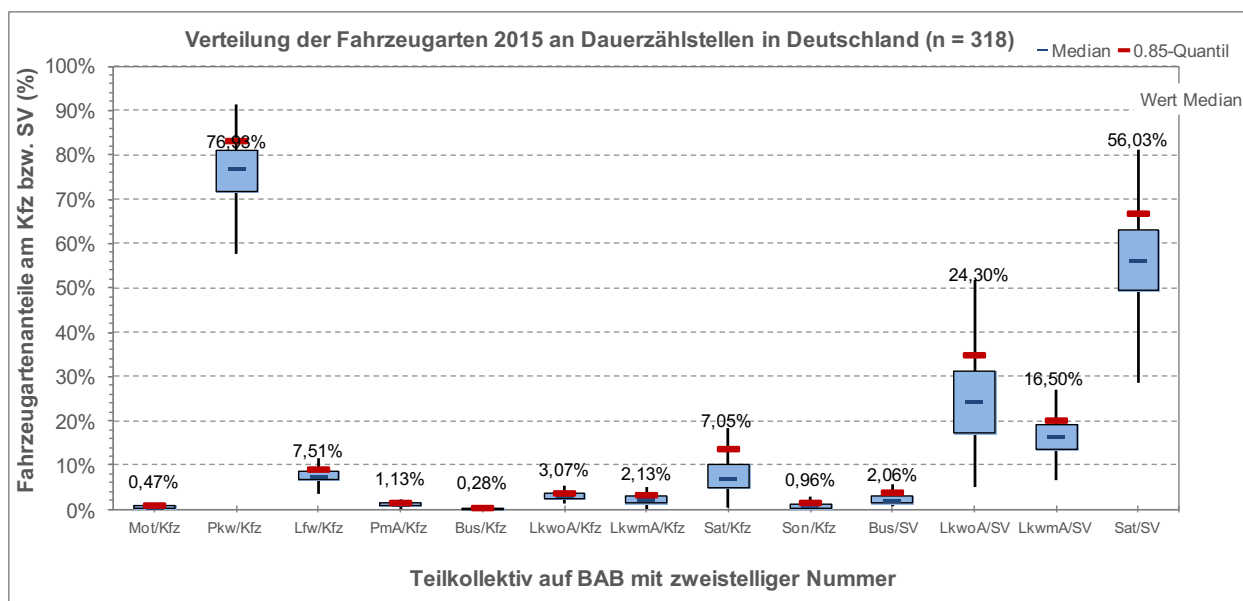


Bild 5-27: BAB mit zweistelliger Nummer

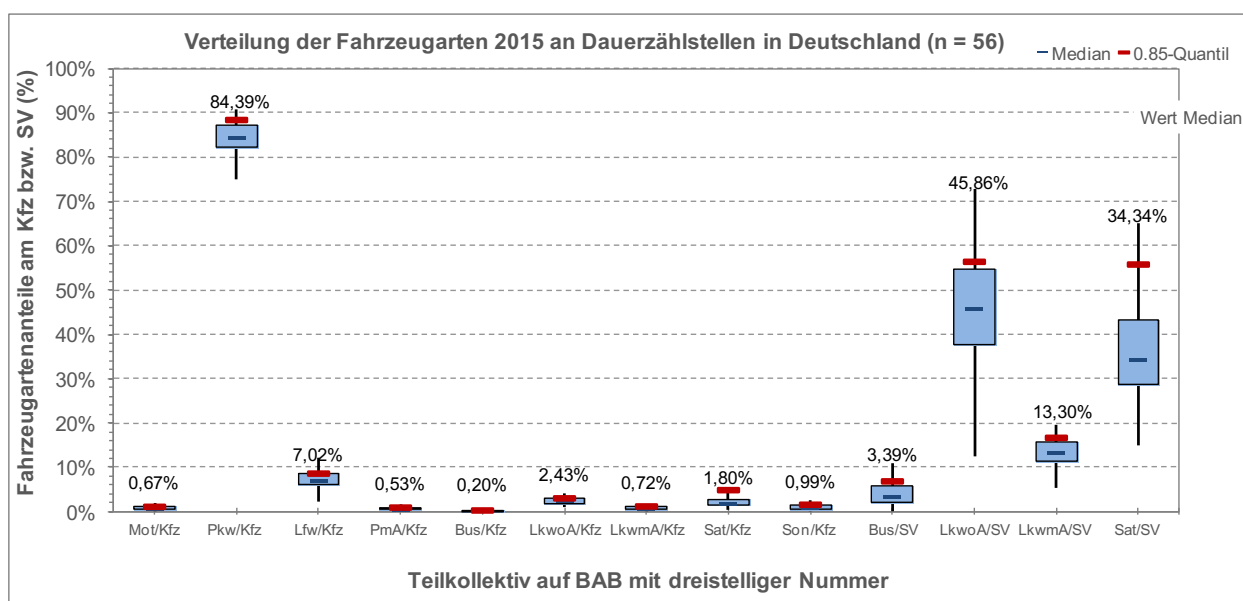


Bild 5-28: BAB mit dreistelliger Nummer

Das Phänomen eines abnehmenden Sat-Anteils ist auch hier deutlich zu erkennen. So ist der Medianwert bei Autobahnen mit einstelliger Nummer (i. d. R. Güterfernverkehr) mehr als doppelt so groß wie bei denen mit dreistelliger Nummer (i. d. R. Güternahverkehr).

Weiterhin kann die Lage der Zählstellen zur Hilfe genommen werden, um die Bundesautobahnen voneinander abzugrenzen. Unterschieden wird zwischen Autobahnen außerhalb (Bild 5-29) und innerhalb (Bild 5-30) eines Ballungsraums.

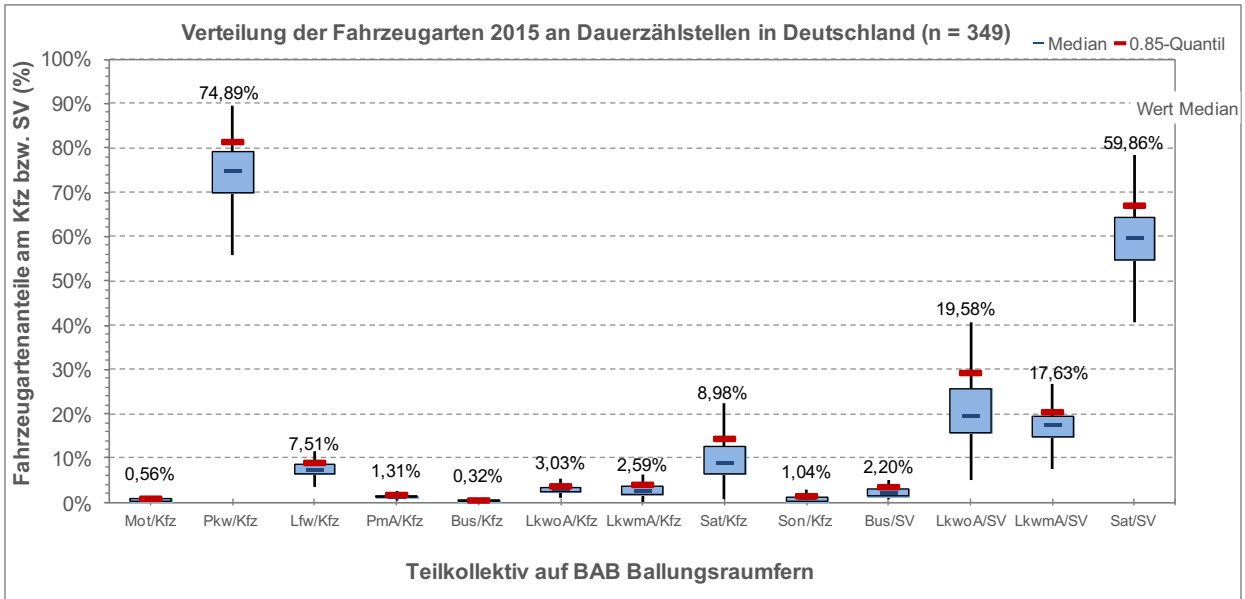


Bild 5-29: BAB ballungsraumfern

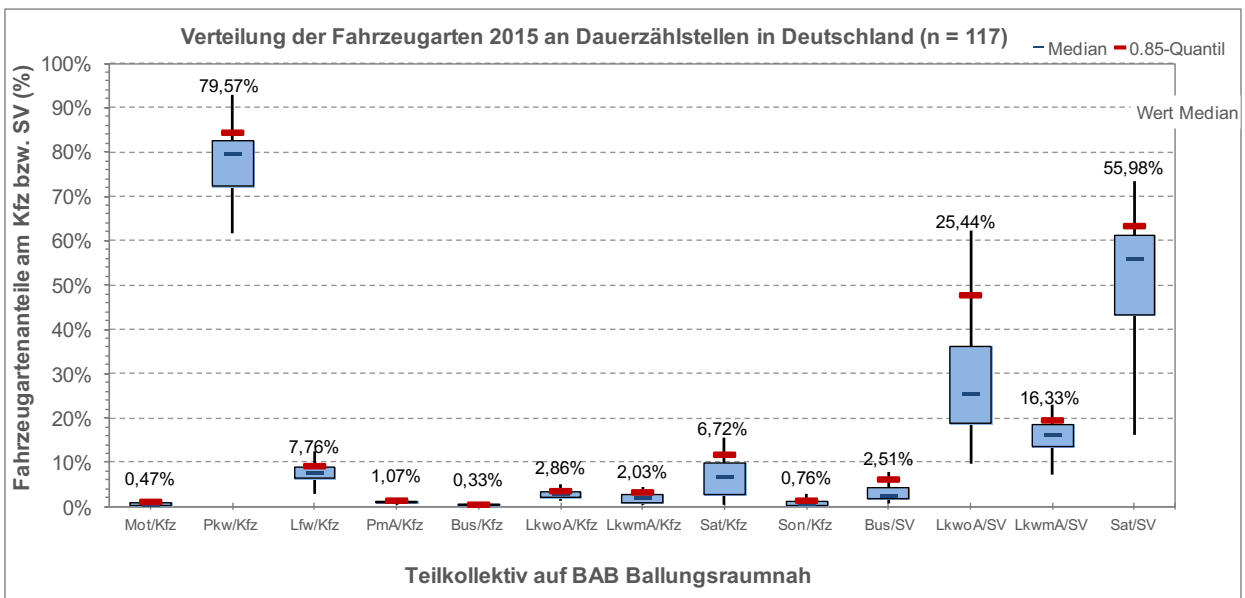


Bild 5-30: BAB ballungsraumnah

Die zuvor häufig genannte Abnahme des Sat-Anteils wird bei einer Unterscheidung der Autobahnen innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen nicht ersichtlich. Die Anteile am Schwerverkehr befinden sich auf einem annähernd gleichen Niveau.

Die vier Straßenklassen Bundesautobahnen, Bundesstraßen, Landes- und Staatsstraßen sowie Kreis- und Gemeindestraßen lassen sich durch unterschiedliche Belastungsklassen kennzeichnen. Dabei wurden die folgenden Klassen festgelegt:

- hoch belastet,
- normal belastet sowie
- schwach belastet.

Der maßgebliche Faktor zur Einteilung in die genannten Klassen ist der entsprechende DTV-Wert. Diesbezüglich ist aber auch die Fahrstreifenanzahl zu berücksichtigen, da ein Bezug zwischen dem DTV-Wert und der Kapazität der Autobahn besteht. Die Zuordnung der Mindest- bzw. Maximalwerte für die einzelnen Klassen erfolgte nach ingenieurmäßigem Verständnis.

Bei Bundesautobahnen wird zwischen den Autobahnen mit 2 Fahrstreifen sowie denen mit 3 oder mehr Fahrstreifen pro Fahrtrichtung unterschieden. Für eine zweistreifige Autobahn ergibt sich die folgende Festlegung der Grenzwerte bezüglich der DTV-Werte:

- hoch belastet: DTV ≥ 50.000 Kfz/24 h
- normal belastet:
35.000 \leq DTV $<$ 50.000 Kfz/24 h
- schwach belastet: DTV $<$ 35.000 Kfz/24 h.

Bild 5-31 bis Bild 5-33 visualisieren die entsprechenden Box-Plots.

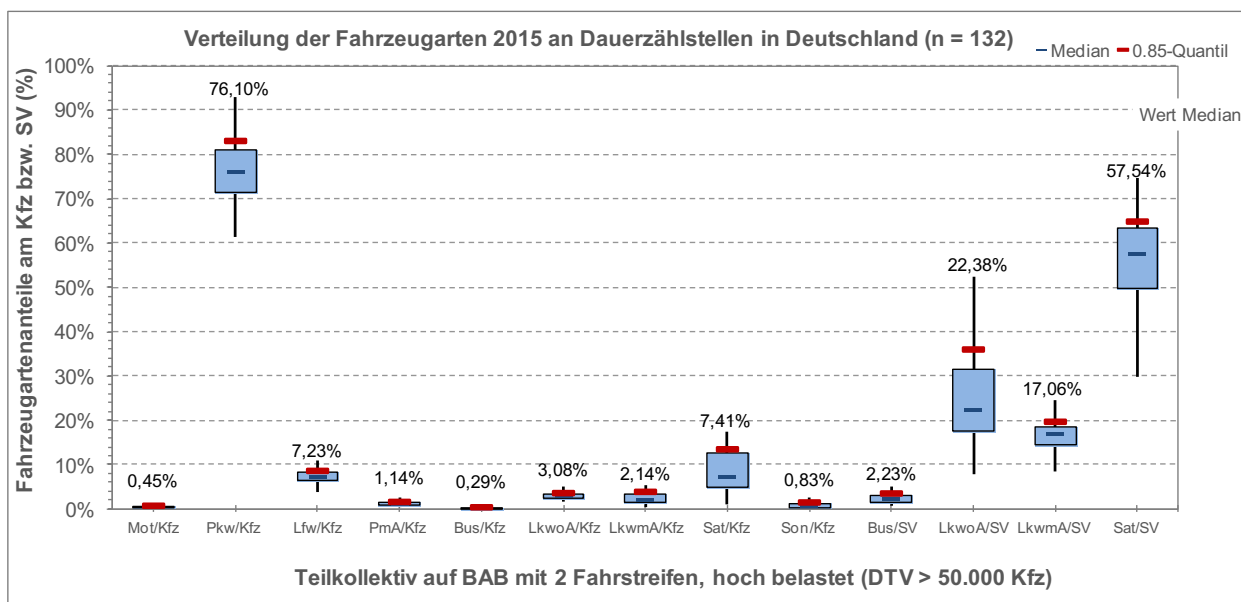


Bild 5-31: BAB mit 2 FS, hoch belastet

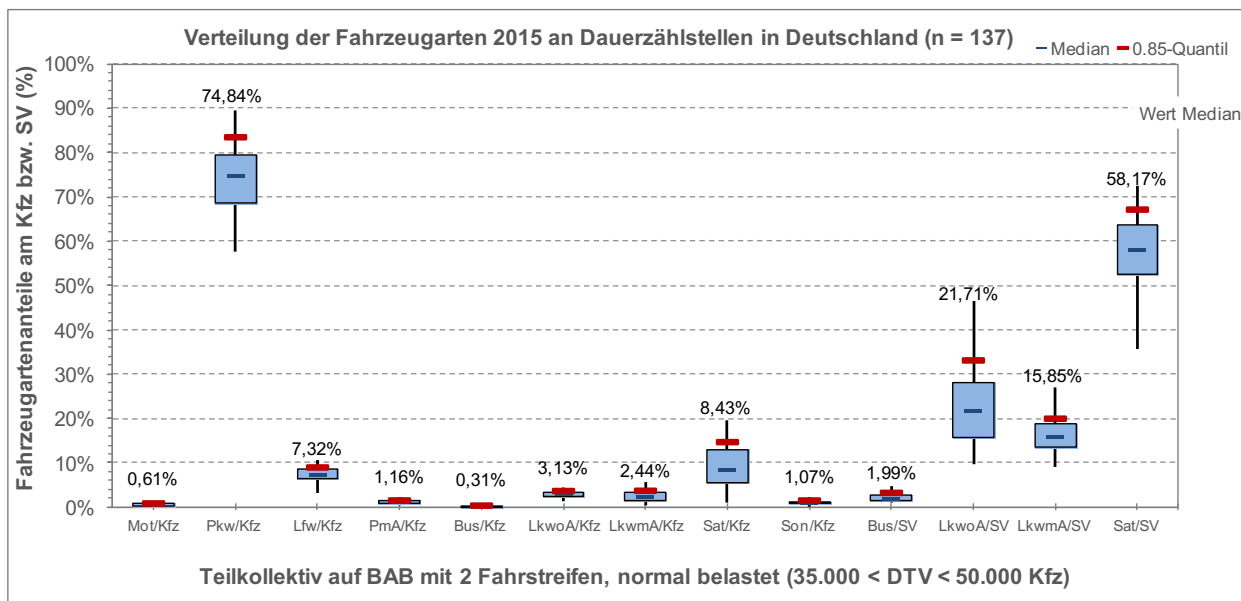


Bild 5-32: BAB mit 2 FS, normal belastet

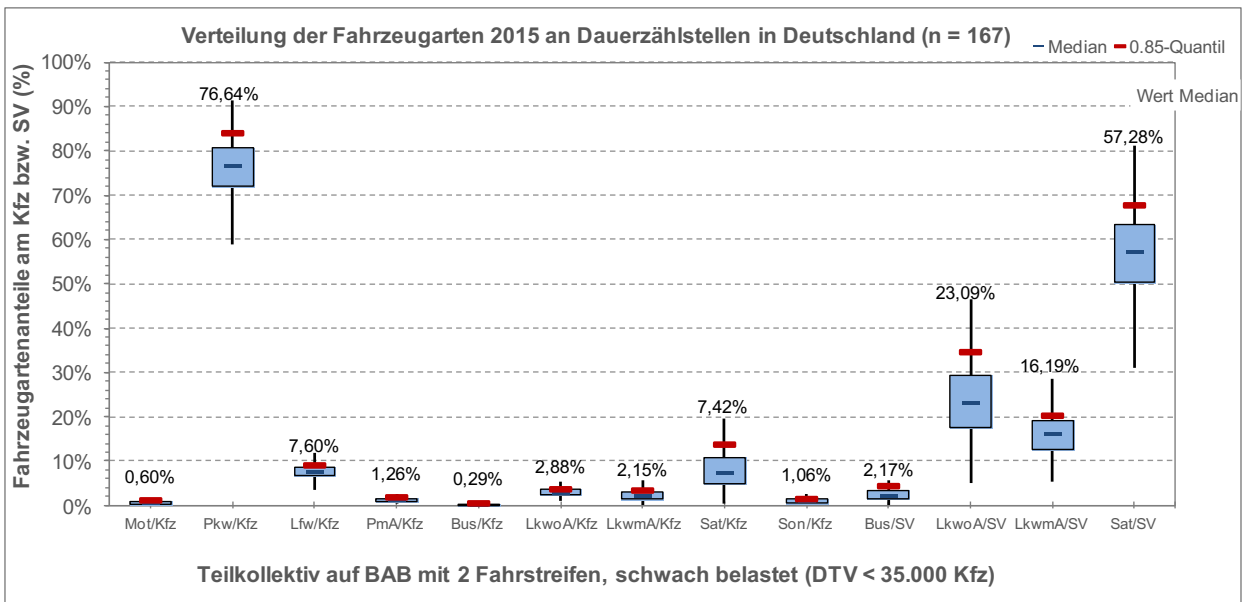


Bild 5-33: BAB mit 2 FS, schwach belastet

Für Bundesautobahnen mit 3 oder mehr Fahrstreifen sind die folgenden Klassengrenzen festgelegt worden:

- hoch belastet: $DTV \geq 90.000$ Kfz/24 h
- normal belastet:
 $70.000 \leq DTV < 90.000$ Kfz/24 h
- schwach belastet: $DTV < 70.000$ Kfz/24 h.

Die Box-Plots für diese DTV-Klassen sind den nachfolgenden Grafiken (Bild 5-34 bis Bild 5-36) zu entnehmen.

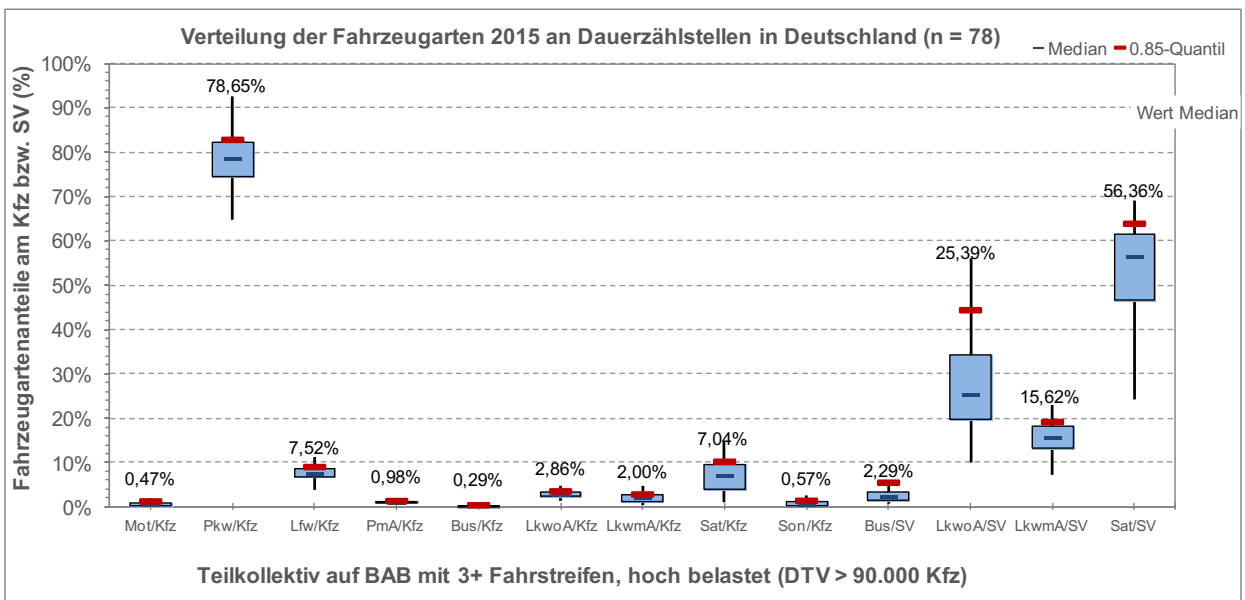


Bild 5-34: BAB mit 3+ FS, hoch belastet

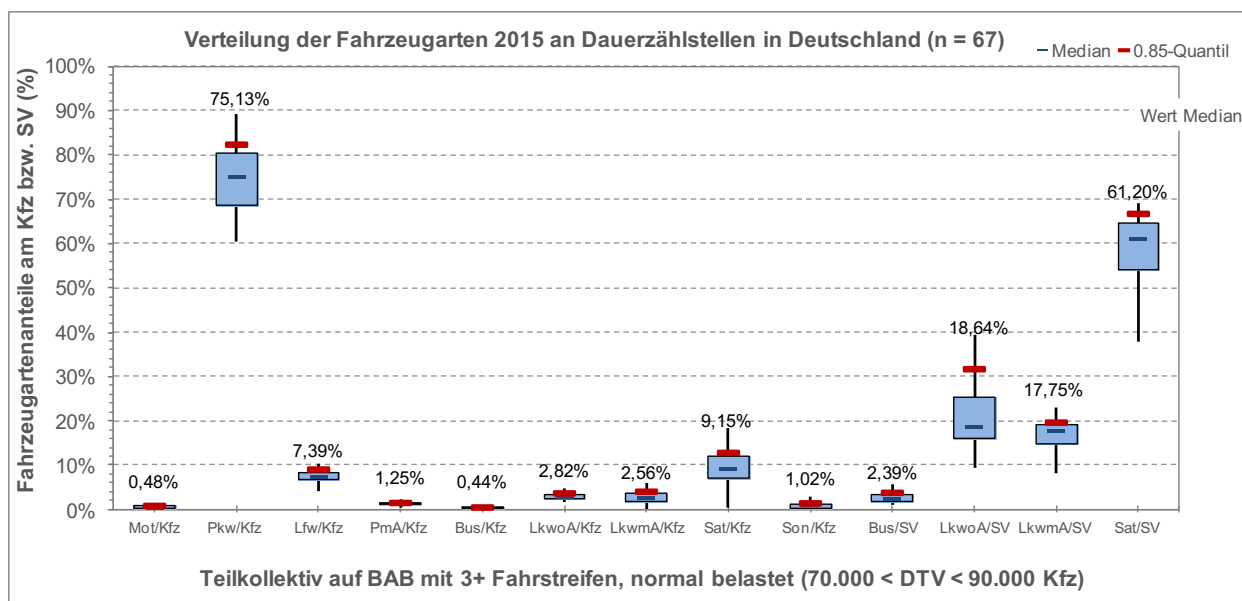


Bild 5-35: BAB mit 3+ FS, normal belastet

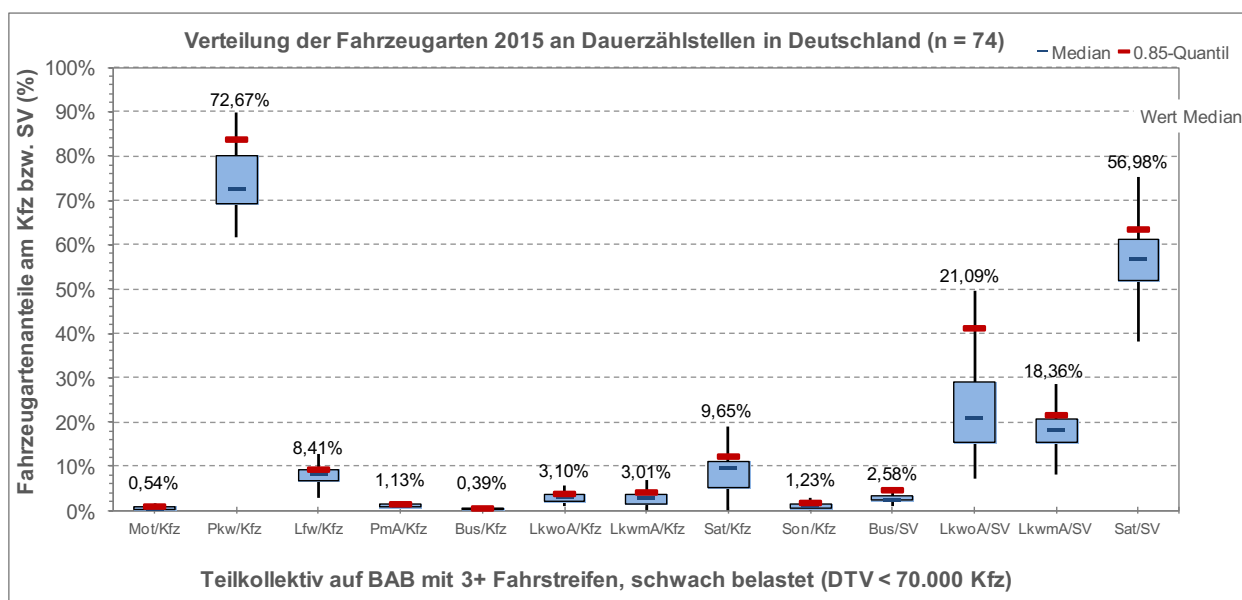


Bild 5-36: BAB mit 3+ FS, schwach belastet

Auch für die Bundesstraßen erfolgt die Zuordnung der Klassen unter Berücksichtigung der Fahrstreifenanzahl. Unterschieden wird zwischen Straßen mit einem und mit 2 oder mehr Fahrstreifen pro Fahrtrichtung. Für eine einstreifige Bundesstraße ergeben sich die folgenden Grenzwerte:

- hoch belastet: $DTV \geq 8.000$ Kfz/24 h
- normal belastet: $4.000 \leq DTV < 8.000$ Kfz/24 h
- schwach belastet: $DTV < 4.000$ Kfz/24 h.

Aus den Zuordnungen ergeben sich die in Bild 5-37 bis Bild 5-39 veranschaulichten Box-Plots.

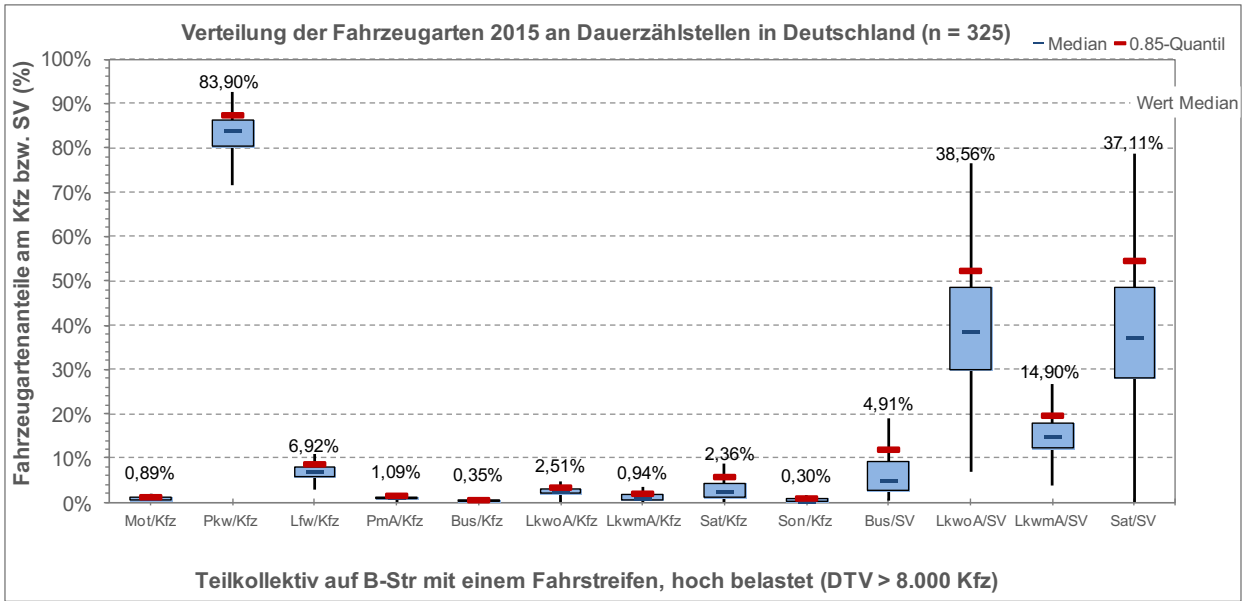


Bild 5-37: B-Str. mit einem FS, hoch belastet

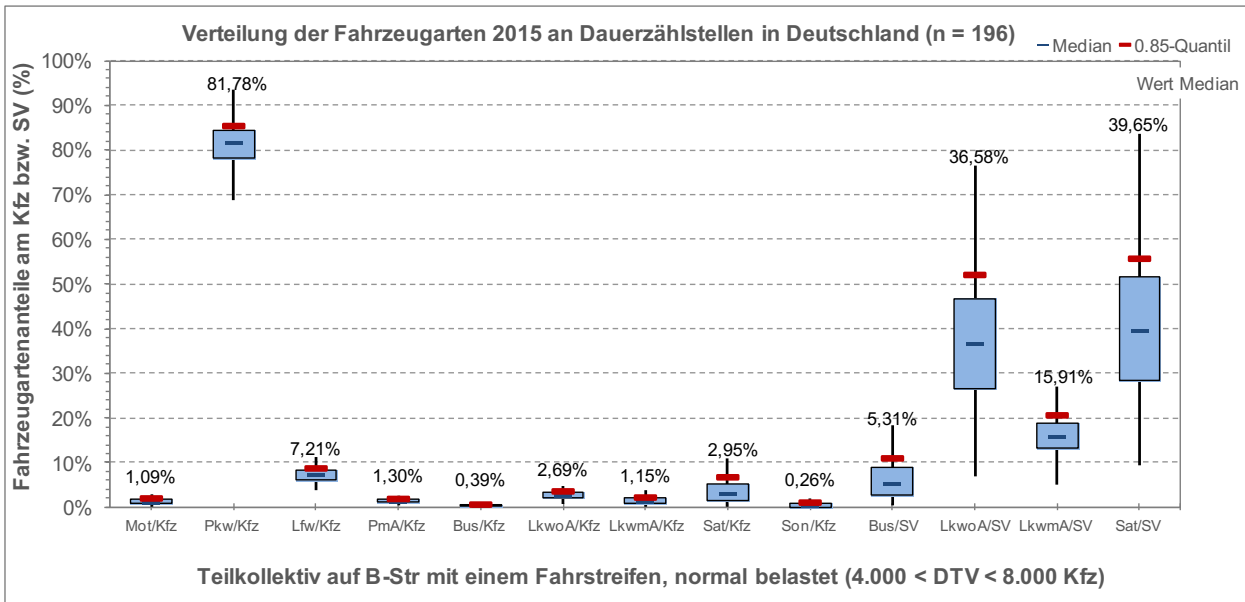


Bild 5-38: B-Str. mit einem FS, normal belastet

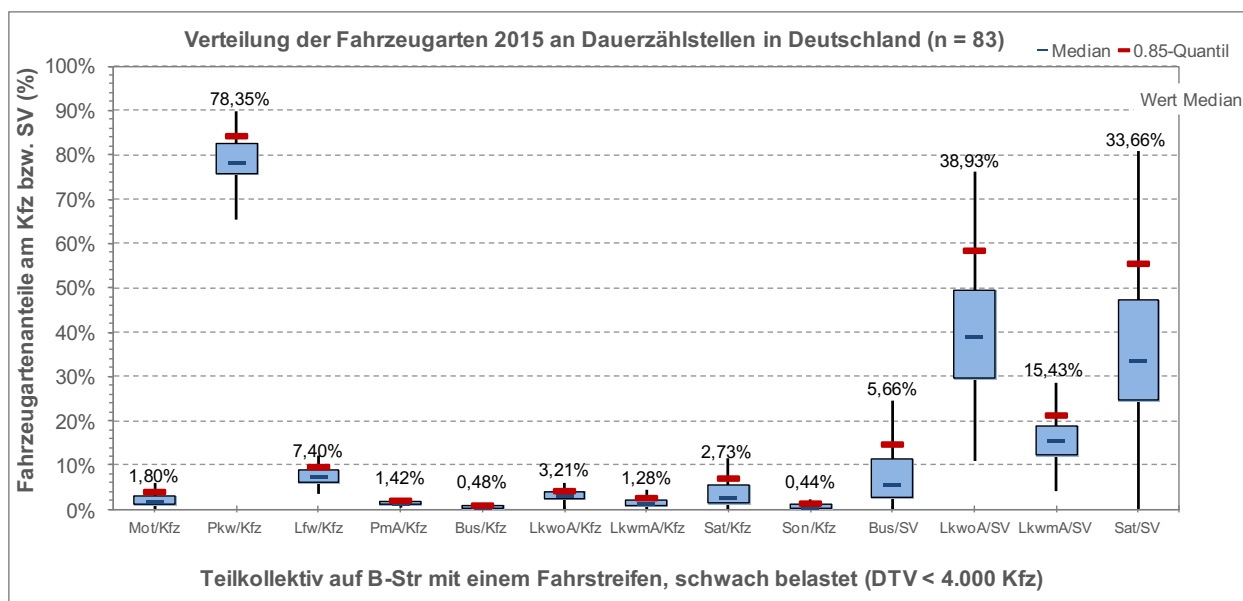


Bild 5-39: B-Str. mit einem FS, schwach belastet

Für die Bundesstraßen mit 2 oder mehr Fahrstreifen gelten die folgenden Zuordnungen des DTV- Wertes:

Daraus ergeben sich die Box-Plots entsprechend Bild 5-40 bis Bild 5-42.

- hoch belastet: $DTV \geq 30.000$ Kfz/24 h
- normal belastet:
 $20.000 \leq DTV < 30.000$ Kfz/24 h
- schwach belastet: $DTV < 20.000$ Kfz/24 h.

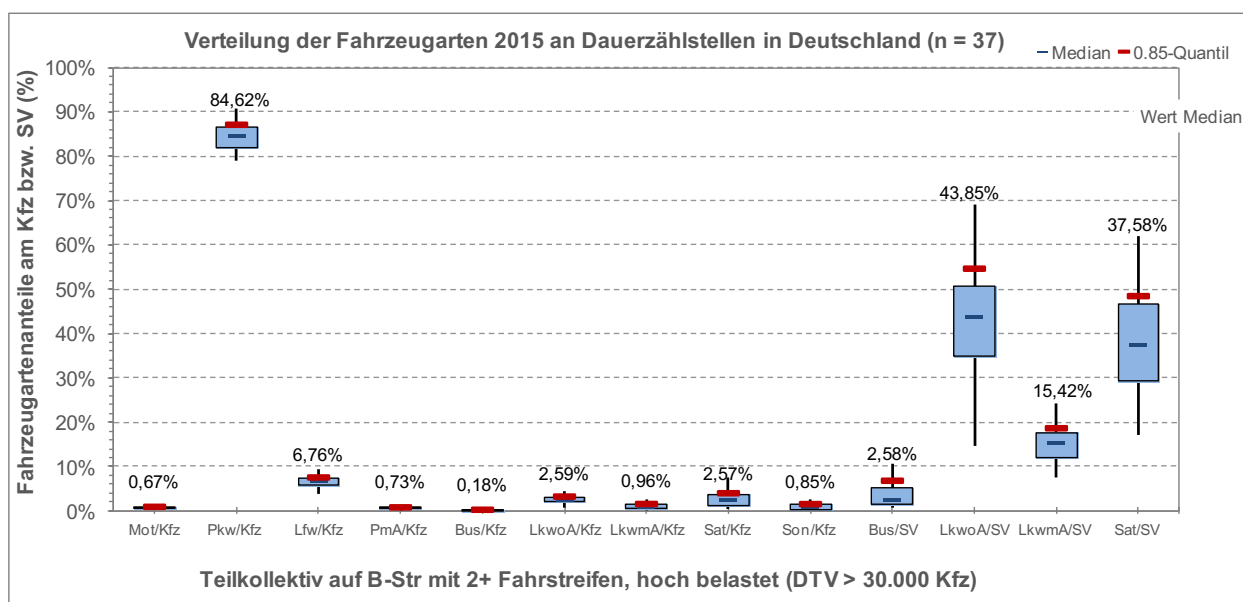


Bild 5-40: B-Str. mit 2+ FS, hoch belastet

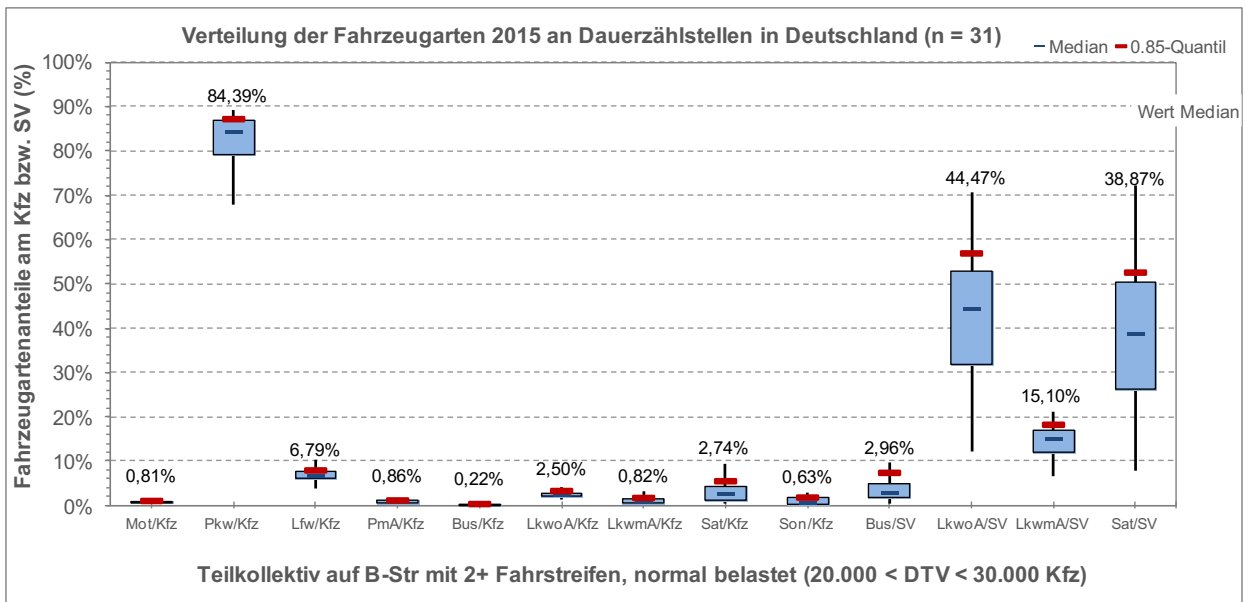


Bild 5-41: B-Str. mit 2+ FS, normal belastet

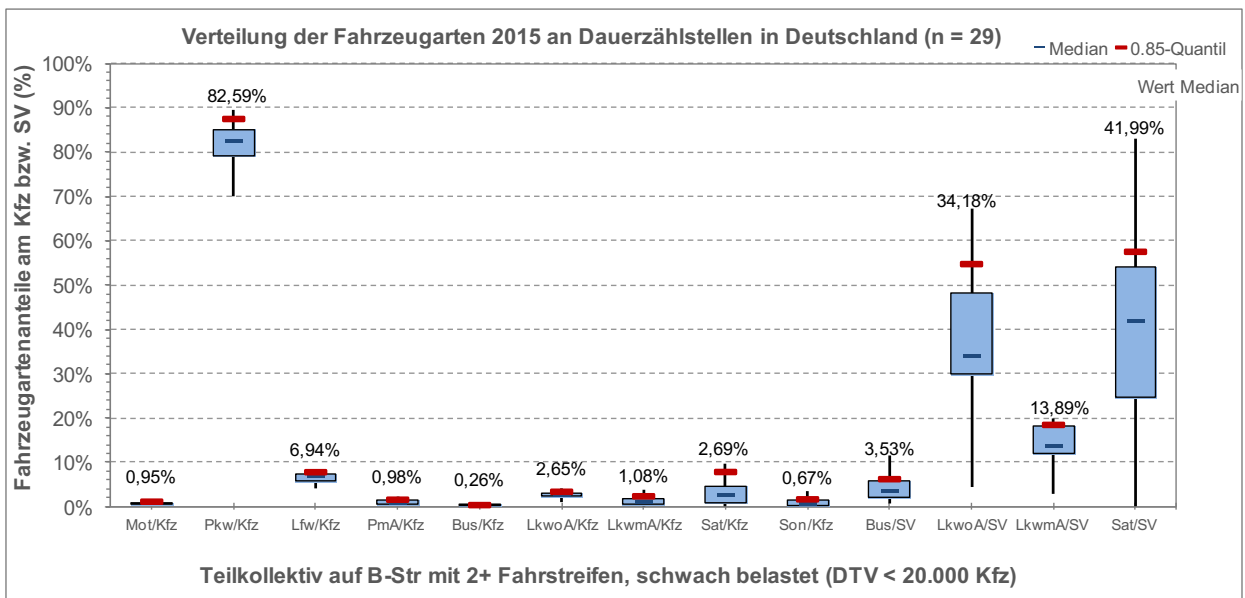


Bild 5-42: B-Str. mit 2+ FS, schwach belastet

Für die Landes- und Staatsstraßen sowie für die Kreis- und Gemeindestraßen ergeben sich die Zuordnungen der DTV-Werte entsprechend denen der einstreifigen Bundesstraßen:

- hoch belastet: $DTV \geq 8.000$ Kfz/24 h
- normal belastet:
4.000 \leq DTV < 8.000 Kfz/24 h
- schwach belastet: DTV < 4.000 Kfz/24 h

Für beide Straßenklassen werden jeweils einstreifige Richtungsfahrbahnen angenommen. Zudem ist bei den Daten der Kreis- und Gemeindestraßen zu berücksichtigen, dass es sich hier aufgrund einer zu geringen Datenverfügbarkeit aus den Dauerzählstellen um Daten aus dem Verkehrsmonitoring handelt. Die sich ergebenden sechs Box-Plots sind den folgenden Grafiken (Bild 5-43 bis Bild 5-48) zu entnehmen.

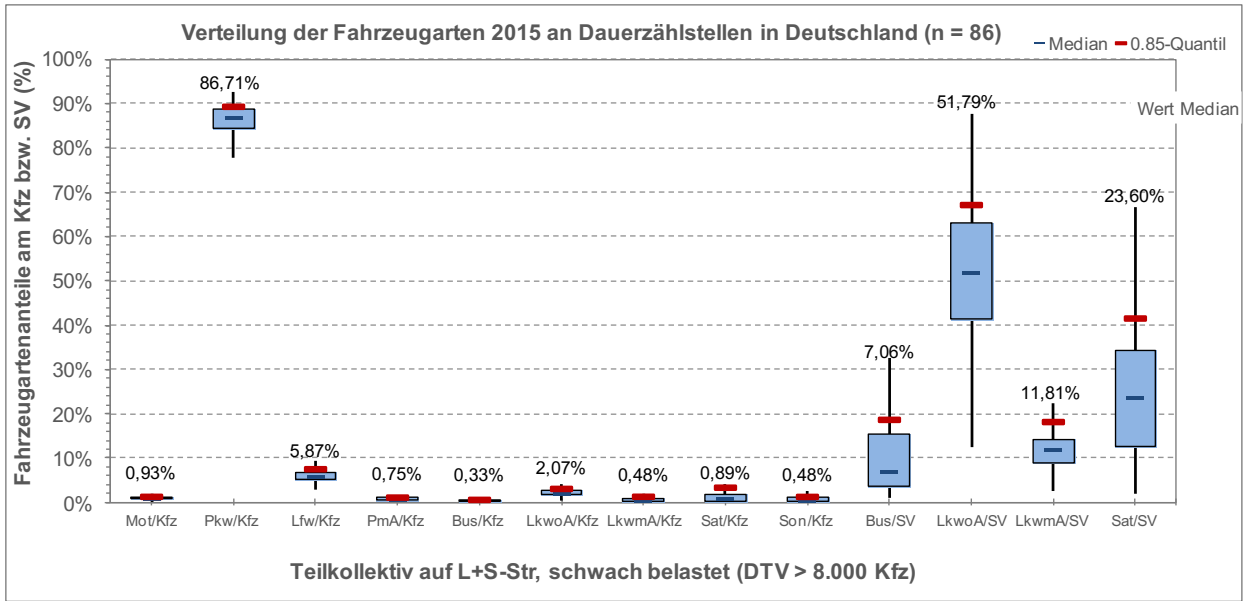


Bild 5-43: L+S-Str., hoch belastet

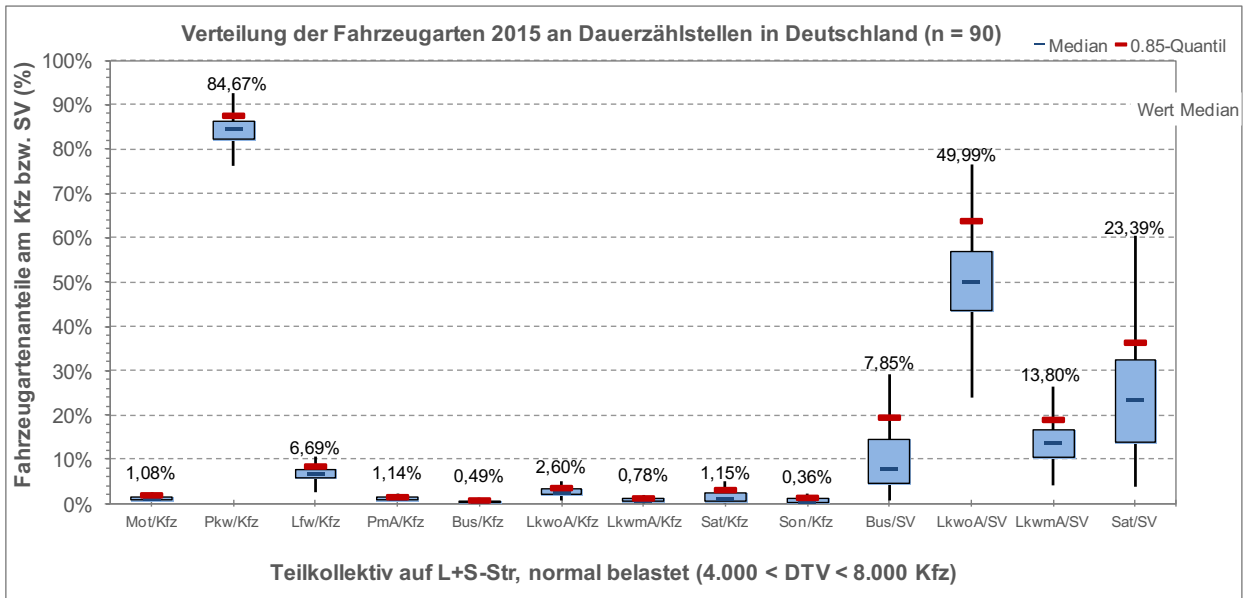


Bild 5-44: L+S-Str., normal belastet

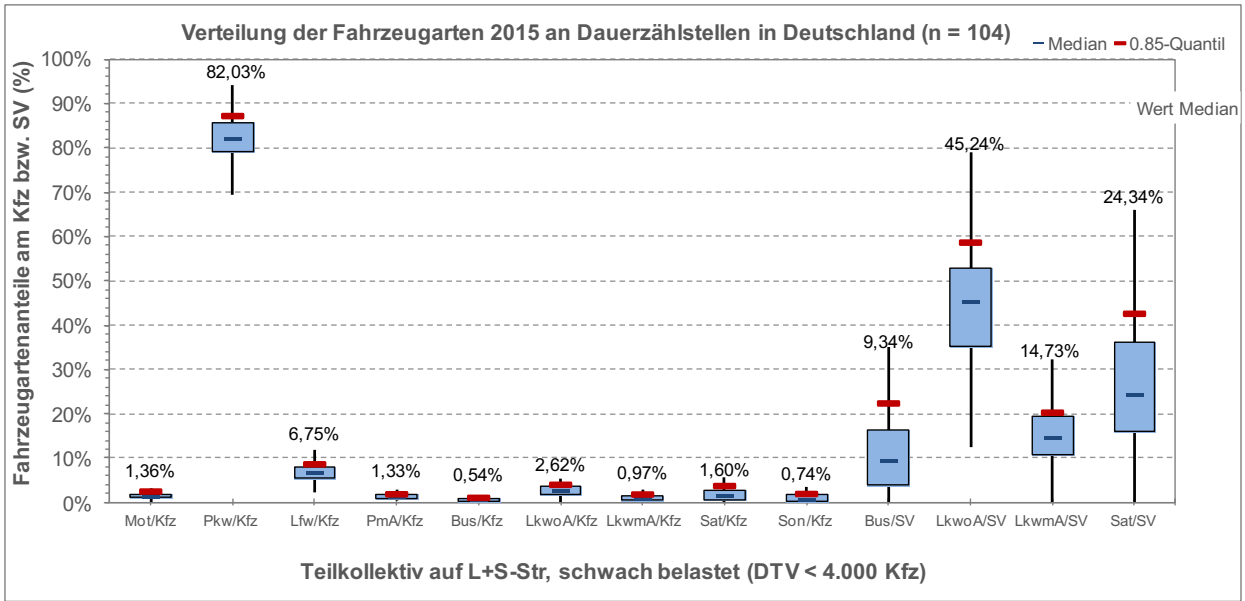


Bild 5-45: L+S-Str., schwach belastet

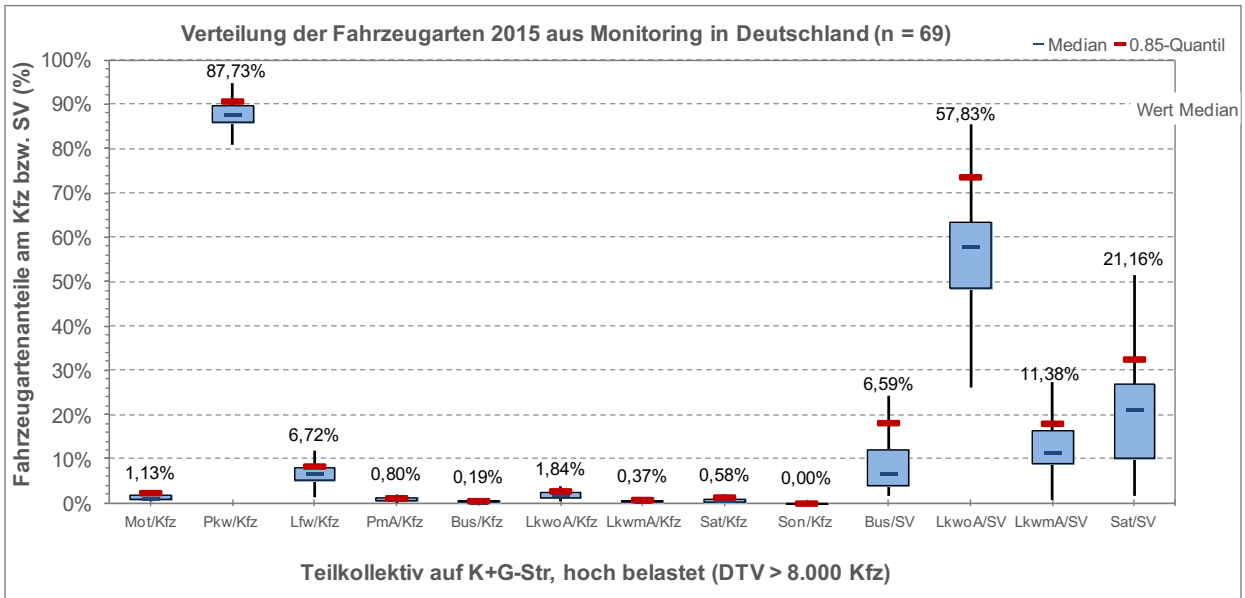


Bild 5-46: K+G-Str., hoch belastet

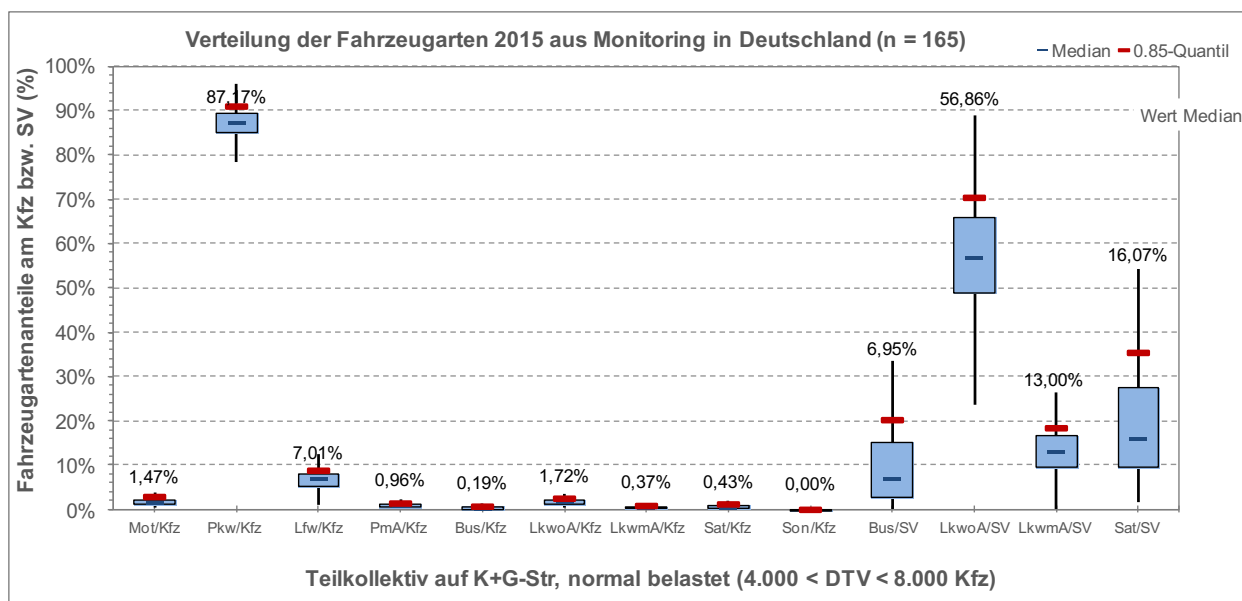


Bild 5-47: K+G-Str., normal belastet

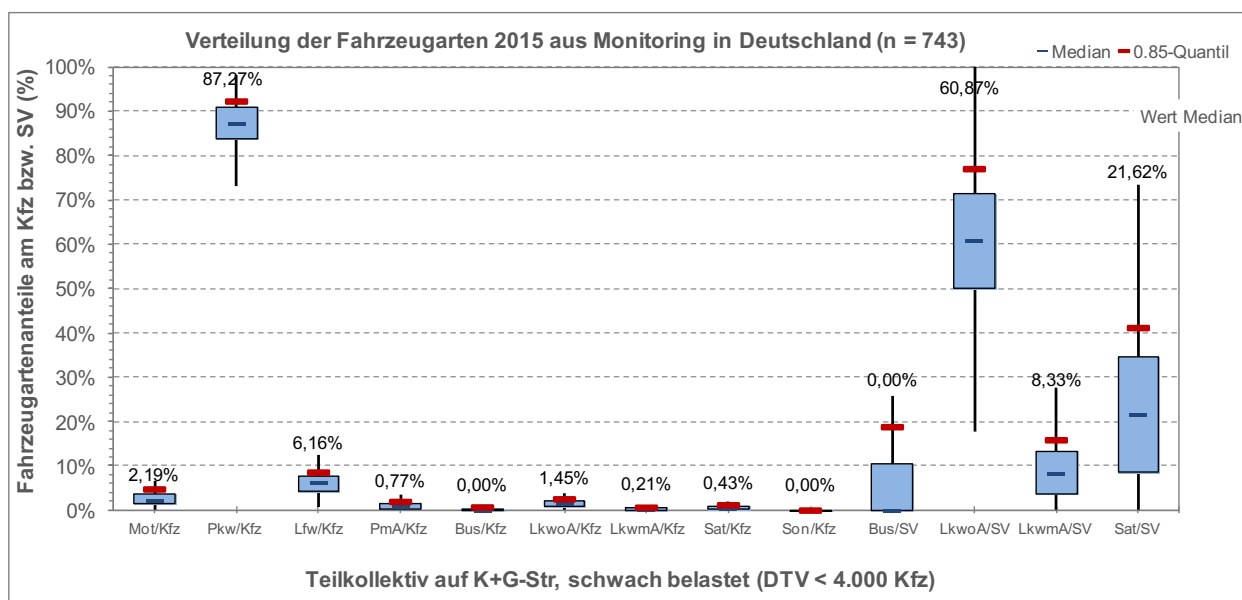


Bild 5-48: K+G-Str., schwach belastet

Die aufgezeigten Box-Plots mit einer Unterscheidung der Belastungsklasse verdeutlichen, dass sich innerhalb jeder der vier untersuchten Straßenklassen die Anteile unter Berücksichtigung der Fahrstreifenanzahl nicht maßgeblich unterscheiden.

Als Fazit kann somit festgehalten werden, dass für alle Straßenkategorien Fahrzeugklassenverteilungen ermittelt werden konnten. Für Autobahnen sollte eine weitere Differenzierung hinsichtlich des Lastzugfaktors erfolgen, da hiermit die Funktion der

Autobahn (Fernverkehr/Mischverkehr/Nahverkehr) als wesentliches Kriterium zur Differenzierung berücksichtigt werden kann.

zeigt eine Übersicht über alle genannten thematischen Unterteilungen der Straßenklassen im Hinblick auf die Fahrzeugklassenanteile am SV. Abgebildet sind die jeweiligen Medianwerte. Aufgrund der Verwendung der Medianwerte kann die Summe der vier Fahrzeugklassen von 100 % abweichen.

Kategorie	Bus/SV	LkwoA/SV	LkwmA/SV	Sat/SV
BAB	2,27%	21,98%	16,70%	57,54%
BAB Güterfernverkehr	1,67%	14,05%	14,59%	68,46%
BAB Gütermischverkehr	2,31%	23,12%	17,77%	56,96%
BAB Güternahverkehr	4,27%	46,20%	13,72%	32,96%
BAB einstellig	2,30%	19,05%	17,56%	60,35%
BAB zweistellig	2,06%	24,30%	16,50%	56,03%
BAB dreistellig	3,39%	45,86%	13,30%	34,34%
BAB Ballungsraumfern	2,20%	19,62%	17,64%	59,83%
BAB Ballungsraumnah	2,51%	25,44%	16,33%	55,98%
BAB 2 FS hoch belastet	2,24%	22,41%	17,02%	57,54%
BAB 2 FS normal belastet	1,99%	21,71%	15,85%	58,17%
BAB 2 FS schwach belastet	2,17%	23,09%	16,19%	57,28%
BAB 3+ FS hoch belastet	2,29%	25,39%	15,62%	56,36%
BAB 3+ FS normal belastet	2,39%	18,64%	17,75%	61,20%
BAB 3+ FS schwach belastet	2,56%	21,35%	18,31%	56,98%
B-Str.	4,75%	38,56%	15,31%	37,64%
B-Str. Monitoring	4,56%	41,11%	18,15%	33,98%
B-Str. 1 FS hoch belastet	4,91%	38,56%	14,90%	37,11%
B-Str. 1 FS normal belastet	5,31%	36,58%	15,91%	39,65%
B-Str. 1 FS schwach belastet	5,66%	38,93%	15,43%	33,66%
B-Str. 2+ FS hoch belastet	2,58%	43,85%	15,42%	37,58%
B-Str. 2+ FS normal belastet	2,96%	44,47%	15,10%	38,87%
B-Str. 2+ FS schwach belastet	3,53%	34,18%	13,89%	41,99%
L+S-Str.	8,59%	48,59%	13,77%	23,33%
L-Str. Monitoring	6,18%	52,67%	13,31%	22,35%
L+S-Str. hoch belastet	7,06%	51,79%	11,81%	23,60%
L+S-Str. normal belastet	7,85%	49,99%	13,80%	23,39%
L+S-Str. schwach belastet	9,34%	45,24%	14,73%	24,34%
K+G-Str.	11,90%	63,70%	8,87%	10,48%
K+G-Str. Monitoring	2,94%	60,00%	9,43%	20,46%
K+G-Str. hoch belastet (Monitoring)	6,59%	57,83%	11,38%	21,16%
K+G-Str. normal belastet (Monitoring)	6,95%	56,86%	13,00%	16,07%
K+G-Str. schwach belastet (Monitoring)	0,00%	60,87%	8,33%	21,62%

Tab. 5-1: Darstellung der Fahrzeugklassenanteile (Medianwerte) am SV entsprechend der thematischen Schwerpunkte

6 Validierung des methodischen Ansatzes

Durch die systematische Auswertung der in Deutschland vorhandenen Achslastmessstellen sowie Dauerzählstellen steht ein methodischer Ansatz zur Verfügung, wie mit unterschiedlichen Eingangsgrößen (Fahrzeugklassenanteile aus projektbezogenen Messungen oder Standardwerte der Fahrzeugklassenverteilung) die Achslastverteilungen ermittelt werden können.

Für die Ableitung der verschiedenen Achslastverteilungskurven stand allerdings nur eine begrenzte Anzahl an Achslastmessstellen zur Verfügung, die zudem für unterschiedliche Jahre ausgewertet werden mussten. Vor diesem Hintergrund stellt sich zunächst die Frage, wie stabil die benötigten Eingangsgrößen sind und welchen Schwankungen sie unterworfen sind.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie gut mit der abgeleiteten Verteilungsfunktion die Achslastverteilung an anderen Stellen im Straßennetz berechnet werden kann. Diese Frage stellt sich besonders für das nachgeordnete Netz, da sämtliche verwendete Achslastmessstellen auf Autobahnen installiert sind. Somit werden zwar Unterschiede der Fahrzeugklassen berücksichtigt, aber auch die Fahrzeugtypenverteilung innerhalb der Arten kann in den Straßenkategorien variieren und möglicherweise zu Abweichungen führen.

Um hierzu Aussagen treffen zu können, wurden verschiedene Möglichkeiten in Betracht gezogen. So kann beispielsweise die entwickelte Methodik wieder auf die bundesweiten Achslastmessstellen angewendet werden und die Berechnung sowohl mittels der tatsächlichen Fahrzeugklassenverteilung als auch mit der standardisierten Fahrzeugklassenverteilung durchgeführt werden. Da allerdings für die Methodikentwicklung und die Berechnung die gleiche Datengrundlage zur Anwendung käme, wäre das Ergebnis wenig aussagekräftig, so dass diese Variante nicht weiter verfolgt wird.

Auch eine Anwendung auf weitere Achslastmessstellen auf BAB in Deutschland, die erst aktuell in Betrieb gegangen sind und somit nicht Bestandteil des Auswertekollektivs waren, wäre denkbar. Da im Rahmen der Projektlaufzeit 6 weitere Achslastmessstellen in Betrieb gegangen sind, hätte die Auswertung auf der Basis von 6 Monaten Laufzeit durchgeführt werden können. Da aufgrund der Lage

auf BAB von einer guten Übereinstimmung ausgegangen werden kann, wurde auf diese Überprüfung zunächst verzichtet.

Darüber hinaus bietet es sich an, das Verfahren anhand weiterer Achslastmessstellen, insbesondere im nachgeordneten Netz, zu validieren. Dies können sowohl Zählstellen in Deutschland sein, die nicht im Kollektiv der BAST enthalten sind, als auch ausländische Zählstellen. Da Achslastmessstellen im nachgeordneten Straßennetz im benachbarten Ausland bekannt waren, wurde diese Variante favorisiert und umgesetzt.

Nachfolgend werden zunächst Untersuchungen zur Stabilität der Eingangsgrößen und anschließend die Anwendung des methodischen Berechnungsansatzes auf weitere Achslastmessstellen beschrieben, bevor abschließend eine zusammenfassende Bewertung des methodischen Ansatzes vorgenommen wird.

6.1 Untersuchung zur Stabilität der Eingangsgrößen

Als Eingangsgrößen in das Verfahren zur Berechnung der Achslastverteilungen wird insbesondere die jeweilige Fahrzeugklassenverteilung des Schwerverkehrs genutzt. Dies erfolgt unter der Grundvoraussetzung, dass es sich hierbei um eine relativ stabile Eingangsgröße handelt.

Zur Abschätzung der Stabilität dieser Eingangsgröße konnten die Daten der automatischen Dauerzählstellen in Deutschland herangezogen werden, die in plausibilisierter Form für die zurückliegenden Jahre vorlagen.

Insgesamt konnten in die statistische Auswertung die Daten von 1.688 Dauerzählstellen einbezogen werden, hiervon befanden sich 893 auf BAB und 795 auf Bundesstraßen. Es standen die Daten der Jahre 2008 bis 2016 zur Verfügung.

In einer ersten Auswertung wurden die reinen Anteile der jeweiligen Fahrzeugklassen am Schwerverkehr betrachtet und die Ergebnisse für die Jahre 2008 bis 2016 zusammenfassend in Boxplots dargestellt (siehe Bild 6-1 bis Bild 6-3).

Bild 6-1 zeigt die Auswertung für das komplette Bundesfernstraßennetz (BAB und B). Es ist erkennbar, dass sich die Streubreite der Anteile in Grenzen hält. Während die Fahrzeugklassen LoA und Sat teils etwas größere Abweichungen zeigen, sind Busse und LmA kaum von Abweichungen betroffen.

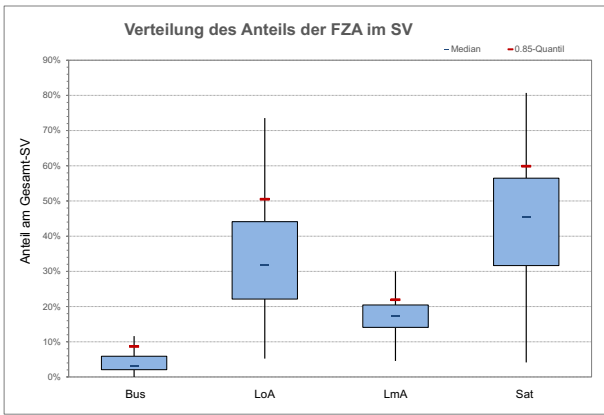


Bild 6-1: Anteil der jeweiligen Fahrzeugklasse am Schwerverkehr auf BAB und B in den Jahren 2008 bis 2016 (1.688 Zählstellen)

Beim Vergleich zwischen den Abweichungen auf Bundesautobahnen (siehe Bild 6-2) und Bundesstraßen (siehe Bild 6-3) zeigen sich ähnliche Unterschiede zwischen den Anteilen der Fahrzeugklassen an der Gesamtmenge des Schwerverkehrs. Die Streubreite ist allerdings nahezu unverändert. Der Bus-Anteil ist auf BAB nur sehr gering und streut im Gegensatz zu den Bundesstraßen kaum.

Die bisherigen Untersuchungen belegen nur, dass die Streubreite insgesamt bei LoA und Sat stärker ausgeprägt ist. Da aber in den Diagrammen alle Zählstellen verarbeitet wurden, können noch keine ortsspezifischen Analysen durchgeführt werden. Hierzu wurde eine weitere Auswertung vorgenommen, wo bezogen auf das Referenzjahr 2016 die zählstellenspezifische Veränderung der Fahrzeugklassenanteile für die Jahre 2008 bis 2015 berechnet wurde und diese Veränderungen über alle Zählstellen in Boxplots dargestellt wurden (siehe Bild 6-4 bis Bild 6-7).

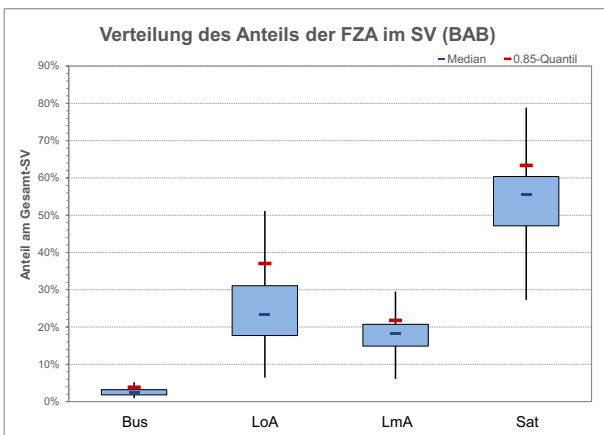


Bild 6-2: Anteil der jeweiligen Fahrzeugklasse am Schwerverkehr auf BAB in den Jahren 2008 bis 2016 (893 Zählstellen)

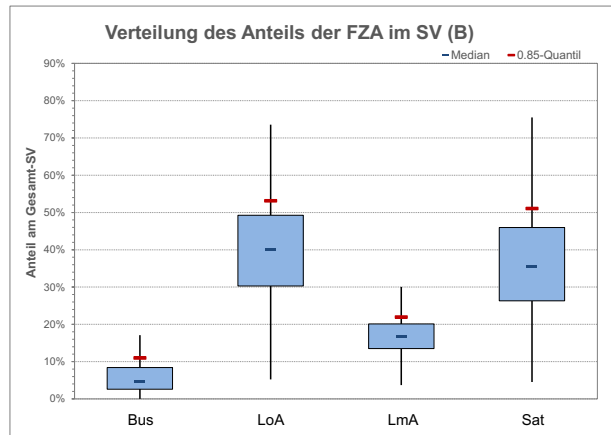


Bild 6-3: Anteil der jeweiligen Fahrzeugklasse am Schwerverkehr auf B in den Jahren 2008 bis 2016 (795 Zählstellen)

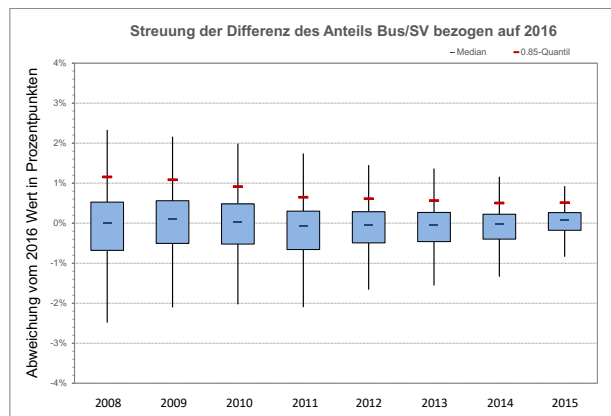


Bild 6-4: Differenz des Bus-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)

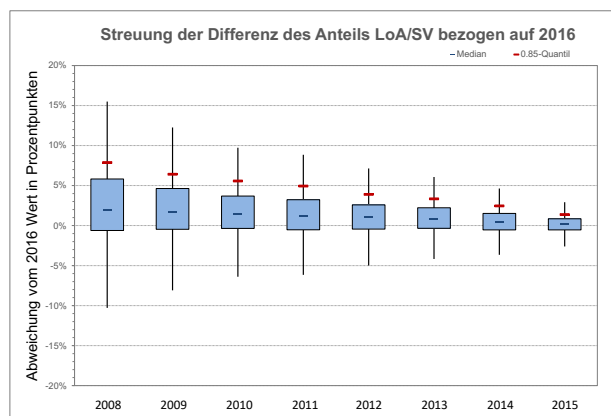


Bild 6-5: Differenz des LoA-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)

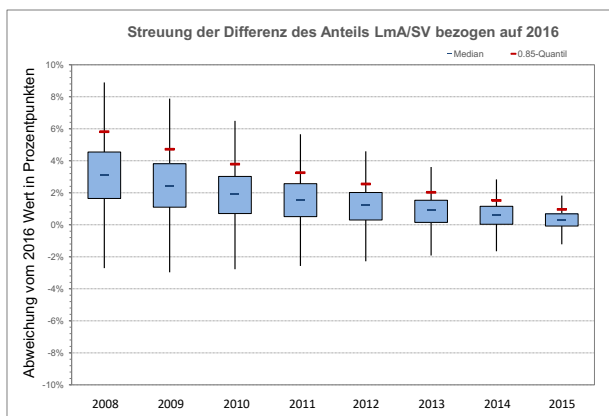


Bild 6-6: Differenz des LmA-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)

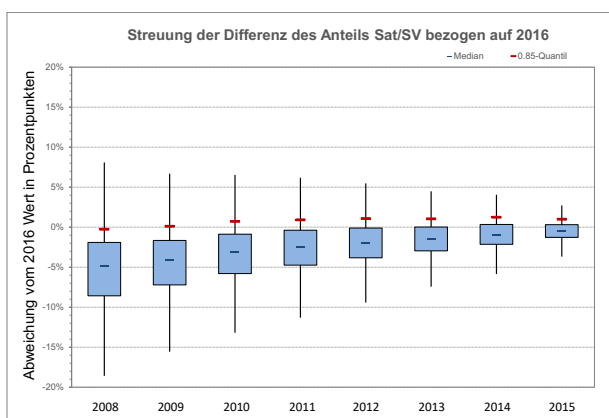


Bild 6-7: Differenz des Sat-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)

Wie in Bild 6-4 bis Bild 6-7 zu erkennen, bleiben die Anteile der Busse sehr stabil und die Anteile der Lkw mit und ohne Anhänger am Gesamt-SV nehmen von 2008 bis 2015 stetig ab. Der Anteil der Sat nimmt in diesem Zeitraum hingegen deutlich zu. Dies erklärt auch die größere Streuung dieser Fahrzeugklassen, die schon in Bild 6-1 zu erkennen war.

Darüber hinaus ist unabhängig von der Fahrzeugklasse eine zunehmende Streuung zu beobachten, je länger das jeweilige Jahr zurückliegt. Dies liegt insofern nahe, dass die Daten einer Zählstelle umso mehr korrelieren, je näher die Daten zeitlich zusammenliegen. Insgesamt zeigt sich aber, dass die Abweichungen der Fahrzeugklassenanteile selbst bei einer Betrachtung der letzten acht Jahre im Mittel je Fahrzeugklasse nur zwischen -5 und +2 Prozentpunkten liegen.

Eine statistische Auswertung der Straßenklassen L+S und K+G ist aufgrund eines zu geringen Dauerzählstellenkollektivs von insgesamt 26 Dauerzählstellen nicht repräsentativ möglich.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die als Eingangsgröße verwendeten Fahrzeugklassenanteile am Schwerverkehr netzweit nur geringe Schwankungen aufweisen.

6.2 Anwendung des Berechnungsverfahrens auf weitere Achslastmessstellennetze

Wie eingangs beschrieben war es das Ziel, das entwickelte methodische Vorgehen zur Berechnung von Achslastverteilungen auch auf weitere Achslastmessstellen anzuwenden, da somit die berechneten und realen Achslastverteilungen miteinander verglichen werden können.

Daher wurde nach weiteren Achslastmessstellen gesucht, anhand deren Daten eine Validierung des methodischen Verfahrens möglich ist.

6.2.1 Umfrage zu weiteren Achslastmessstellen

Nachfolgend werden kurz die angefragten Institutionen sowie die Ergebnisse in Bezug auf Datenverfügbarkeit zusammengefasst:

• England:

Auch in England finden sich in der Literatur Hinweise auf Achslastmessstellen. Angeschrieben wurde hier die Driver & Vehicle Standards Agency (DVSA). Als Ergebnis wurde mitgeteilt, dass eine Zusammenstellung der Standorte nicht herausgegeben wird, da es sich hier um strategische ANPR Standorte (Automatische Kennzeichenerfassung = Automatic number plate recognition) handelt. Es werden verschiedene Anordnungen realisiert, wobei in der Regel auf 2 der 3 Fahrstreifen die Erfassung erfolgt. Da Lkw über 7,5 t in England nicht auf dem 3. Fahrstreifen zugelassen sind, erfolgt hier nur eine ANPR-Erfassung. Die erfassten Daten werden direkt vor Ort mit den Daten der ANPR-Erfassung kombiniert und unterliegen somit dem Datenschutz. Eine Bereitstellung anonymisierter Daten ist derzeit nicht vorgesehen und aufgrund der hiermit verbundenen Programmanpassung nicht realisierbar.

• Österreich:

Um Informationen über Achslastmessstellen in Österreich zu erhalten, wurde Kontakt mit der Autobahn- und Schnellstraßenfinanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) aufgenommen. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass sich derzeit ein

Achslastmessstellennetz mit 4 geplanten Messstellen im Aufbau befindet (A2 Bereich Wr. Neudorf / IZ Süd, Richtung Wien (VBA-Bereich), A1 Bereich Haag, Richtung Wien, A9 Bereich zwischen Bosruck und St. Michael, Richtung Slowenien, A2 Bereich Ilz, vor dem VKP Ilztal, Richtung Graz (ab 2017)). An allen Achslastmessstellen ist allerdings vorgesehen, nur den jeweils rechten Fahrstreifen zu erfassen und nicht den ganzen Querschnitt. Da das Errichtungsprojekt erst Mitte 2016 abgeschlossen wurde, liegen bisher weder Dokumentation noch Daten vor, zumal die statistischen Auswertungen der Ergebnisse erst programmiert werden müssen.

- **Schweiz:**

Um Informationen über Achslastmessstellen in der Schweiz zu erhalten, wurde die schweizerische ASTRA angeschrieben. Es gibt Achslast-Zählstellen im Bereich der ASTRA und im Zuständigkeitsbereich des Zolls. Insgesamt wurden von 10 Richtungsmessstellen an 6 Standorten Daten bereitgestellt.

- **Polen:**

In Polen sind rund 40 Richtungsquerschnitte von Achslastmessstellen in Betrieb. Um hier einen geeigneten Ansprechpartner zu finden, wurde zunächst Kontakt zu den beiden Herstellerfirmen CAT GmbH und Neurosoft GmbH aufgenommen. Die genannten Kontaktpersonen wurden angeschrieben, die Kontaktaufnahmen blieben aber erfolglos. Die Firma Neurosoft betreibt zu Testzwecken eine Achslastmessstelle in Breslau, die somit im städtischen Bereich liegt. Drei weitere Achslastmessstellen konnten aus einem Forschungsprojekt bereitgestellt werden. Die Nutzung dieser Daten wurde zugesagt. Insgesamt wurden von 4 Richtungsmessstellen Daten zur Verfügung gestellt.

- **HH-Süderelbbrücke:**

Auf der A1 ist in Fahrtrichtung Norden vor der Süderelbbrücke eine Achslastmessstelle eingerichtet, die vom Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) betrieben wird. Die Achslastwaage misst die wichtigsten Fahrzeugdaten der drei Fahrstreifen in Fahrtrichtung Norden. Die Anlage ist seit Ende September 2016 in Betrieb und soll mindestens 2 Jahre in Betrieb bleiben. Verlässliche Daten gibt es etwa von den letzten drei Monaten, in denen allerdings auch noch kleinere Kalibrierungen und Feinjustierungen vorgenommen worden sind. Der Nutzung der Daten im Rahmen des Forschungsprojektes wurde zugestimmt, allerdings wurden bis

Projektende aufgrund von Konfigurationsproblemen keine Daten bereitgestellt.

- **HH-Köhlbrandbrücke:**

Im Bereich der Köhlbrandbrücke in Hamburg wurde die dort befindliche Achslastmessstelle im Jahr 2016 erneuert. Betreiber dieser Zählstelle ist die Hamburg Port Authority (HPA), Hersteller die Neurosoft GmbH. Über den Kontakt mit der Firma Neurosoft wurden mit den polnischen Daten auch die Daten der Köhlbrandbrücke aus dem Jahr 2017 bereitgestellt.

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass Daten von zusätzlichen Achslastmessstellen zur Verfügung gestellt werden konnten. Diese Daten wurden entsprechend bei den zuständigen Behörden angefragt, wobei zur Reduzierung des Aufwandes einzelne Monate als ausreichend erachtet wurden. Nachfolgend werden die für die Achslastmessstellen

- AMS Ceneri (A2), FR Chiasso (CH)
- AMS Ceneri (A2), FR Gotthard (CH)
- AMS Oberbüren (A1), FR St. Gallen (CH)
- AMS Oberbüren (A1), FR Zürich (CH)
- AMS St. Maurice (A9), Sion (CH)
- AMS St. Maurice (A9), Lausanne (CH)
- AMS Gotthard (A2), FR Gotthard (CH)
- AMS Oberbuchsitzen (A1), FR Zürich (CH)
- AMS San Bernardino (A13), FR Chur (CH)
- AMS San Bernardino (A13), FR Fürstenu (CH)
- AMS HH-Köhlbrandbrücke, FR Waltersdorf (DE)
- AMS HH-Köhlbrandbrücke, FR Reiherstieg (DE)
- AMS Grodziec, FR Czeszowice (PL)
- AMS Grodziec, FR Opole (PL)
- AMS Zmigrodzka, FR Zentrum (PL)
- AMS Pozglowaska, FR Zentrum (PL)

zur Verfügung gestellten Daten sowie die Auswertungen vorgestellt.

6.2.2 Anwendung auf die AMS in der Schweiz

Aus der Schweiz lag das größte Kollektiv an Achslastmessstellen vor, die sich jedoch ausnahmslos auf dem Autobahnnetz befinden. Dieses kommt daher dem bisher analysierten Kollektiv in Deutschland am nächsten. Es wurden fahrstreifengetrennte Einzelfahrzeugdaten zur Verfügung gestellt. Dabei gab es zwei unterschiedliche Dateiformate. In beiden Fällen waren aber die folgenden wesentlichen Kriterien vorhanden:

- Zeit
- Zählort
- Fahrstreifen/-richtung
- Fahrzeugklasse (8+1)
- Achsanzahl
- Gewicht jeder Achse
- Abstand zur vorhergehenden Achse

Hinsichtlich der Erfassung und der vorhandenen Fahrstreifen zeigte sich die folgende Aufteilung:

Zählstellen 2+2 Fahrstreifen

- Ceneri (A2)
- Oberbüren (A1)
- St. Maurice (A9)

Zählstellen 2 FS (nur eine Richtung)

- Gotthard (A2)
- Oberbuchsiten (A1)

Zählstellen 1+1 Fahrstreifen

- San Bernardino (A13)

Die Daten stammten aus dem Zeitbereich Juni bis August 2017. Bild 6-8 zeigt eine Karte der schweizerischen AMS.

Auch wenn teilweise in der Schweiz mehrere Fahrstreifen je Richtung mittels Achslastwaage erfasst werden, werden hier nur die jeweils rechten Fahrstreifen ausgewertet und dargestellt. Die Ergebnisse für die Zählstellen und die Fahrrichtungen sind in Bild 6-9 bis Bild 6-18 dargestellt. Jeweils in blau ist die tatsächliche Achslastverteilung des Schwerververkehrs an der Achslastmessstelle dargestellt. Zusätzlich sind in grau auch die vier Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs getrennt eingezeichnet. In orange ist dem die aus dem Kollektiv hochgerechnete Verteilung der Achslasten gegenübergestellt.

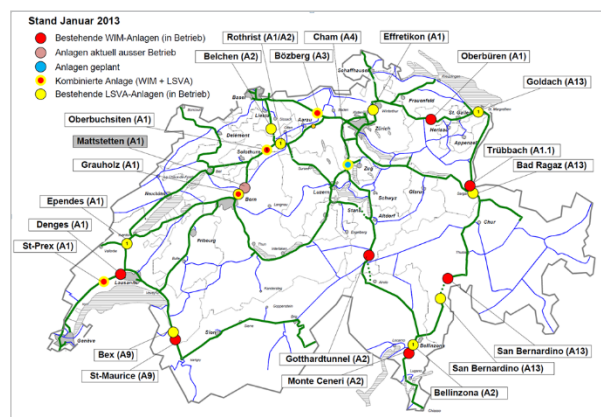


Bild 6-8: Karte der schweizerischen AMS

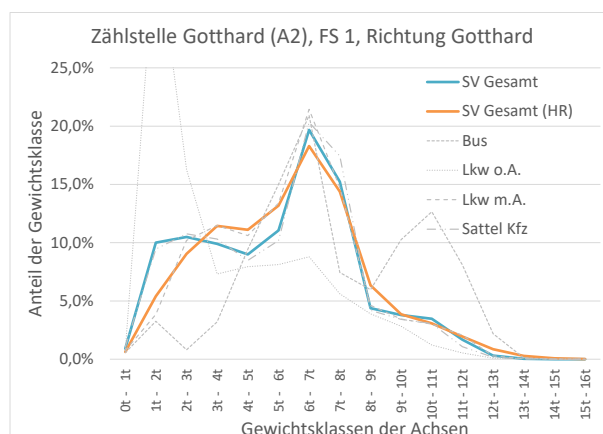


Bild 6-9: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Gotthard (A2), FR Gotthard (CH)

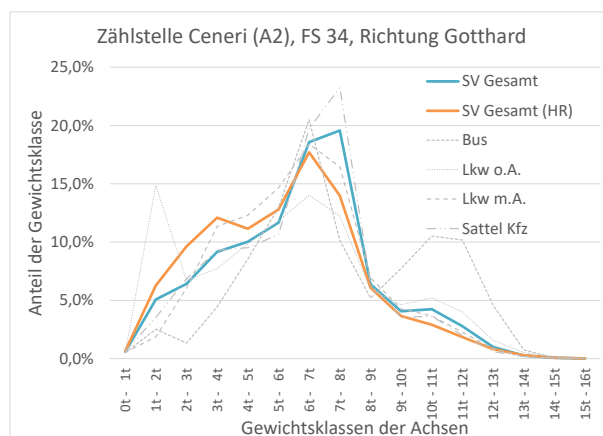


Bild 6-10: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Ceneri (A2), FR Gotthard (CH)

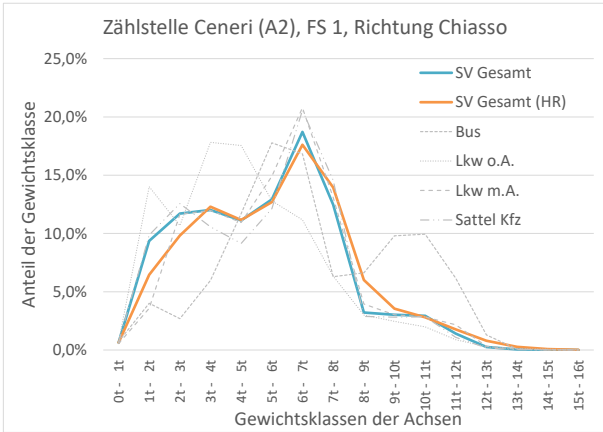


Bild 6-11: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Ceneri (A2), FR Chiasso

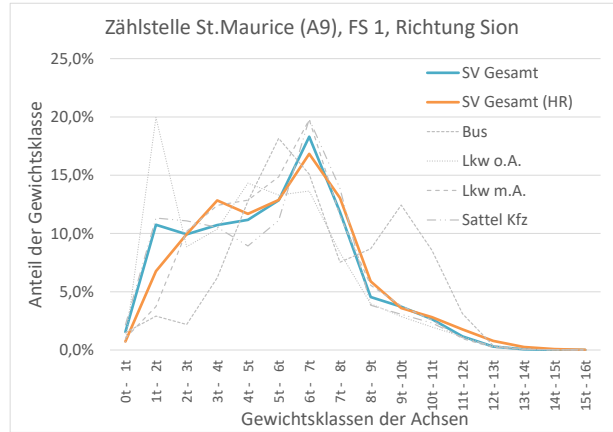


Bild 6-14: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS St. Maurice (A9), FR Sion

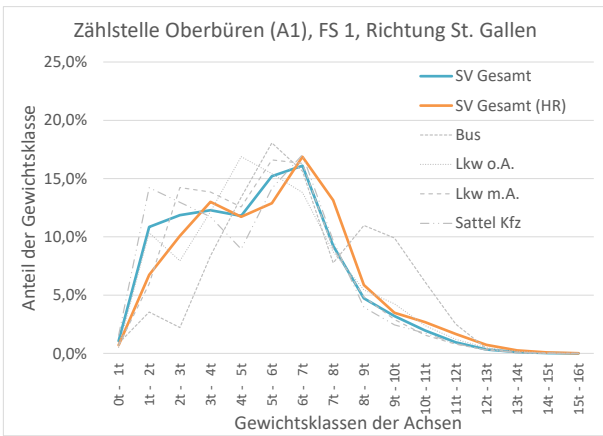


Bild 6-12: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Oberbüren (A1), FR St. Gallen

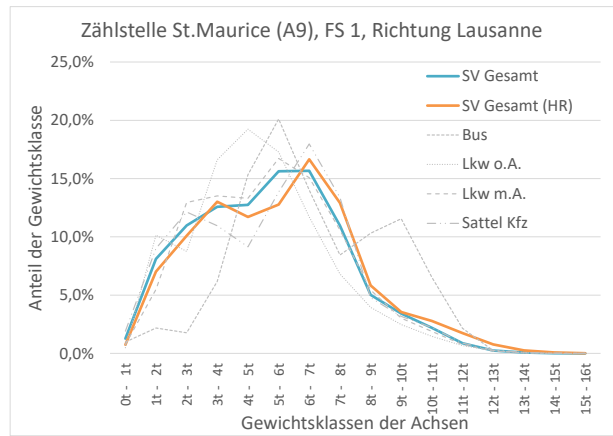


Bild 6-15: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS St. Maurice (A9), FR Lausanne

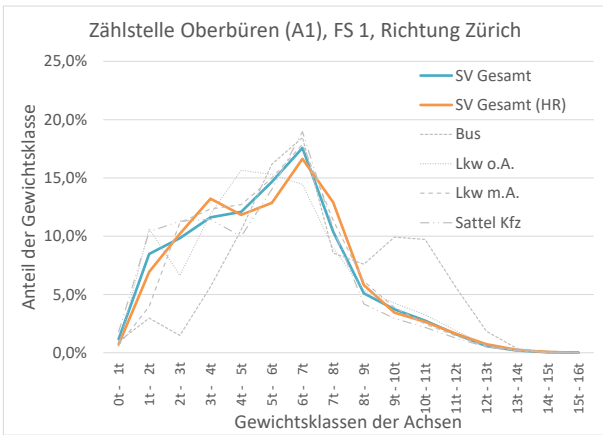


Bild 6-13: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Oberbüren (A1), FR Zürich

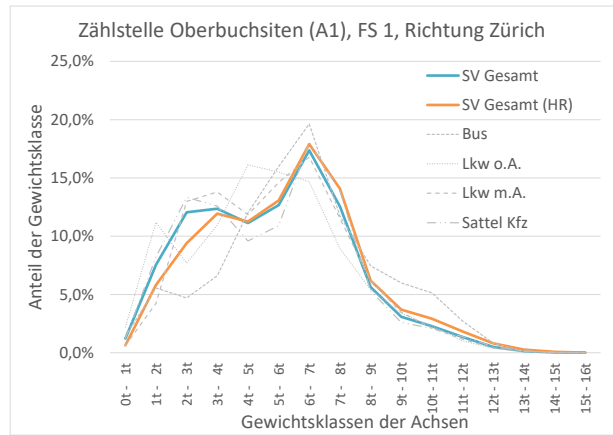


Bild 6-16: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Oberbüchsitzen (A1), FR Zürich

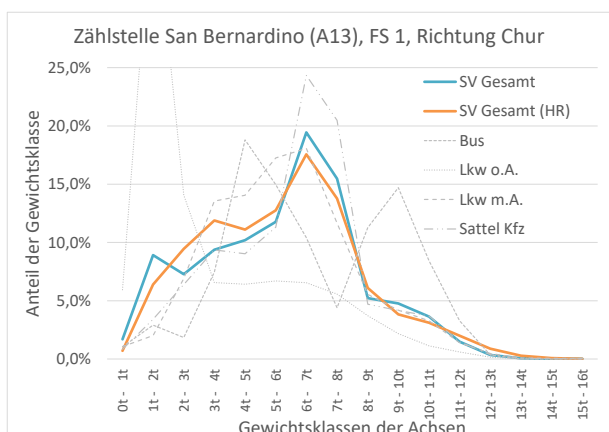


Bild 6-17: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS San Bernardino (A13) FR Chur (CH)

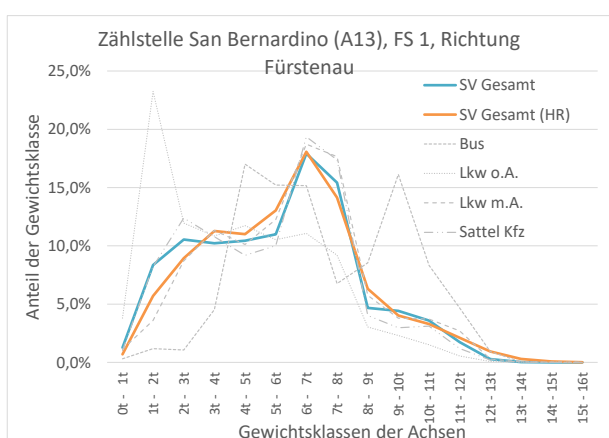


Bild 6-18: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS San Bernardino (A13) FR Fürstenau (CH)

Insgesamt zeigt sich, dass die mit den Fahrzeugklassenverteilungen berechneten Achslastverteilungen für den Hauptfahrstreifen an allen Achslastmessstellen sehr gut mit den realen Achslastverteilungen übereinstimmen. Somit kann erwartet werden, dass bei guten Kenntnissen der Zusammensetzung des Schwerverkehrs eine Anwendung des methodischen Verfahrens zu sehr guten Ergebnissen und validen Achslastverteilungen auf Autobahnen führt.

6.2.3 Anwendung auf die AMS HH-Köhlbrandbrücke

Aus Hamburg standen Achslastdaten aus einer Messstelle kurz vor der Köhlbrandbrücke zur Verfügung. Diese befindet sich in der Nähe zur A7 im Hamburger Hafenbereich (siehe Bild 6-19). Der Zeitraum umfasste die Monate Juni bis August 2017. Erfasst wurde jeder der insgesamt vier Fahrstreifen separat, wobei auch hier die Daten des Hauptfahrstreifens je Richtung ausgewertet wurden.

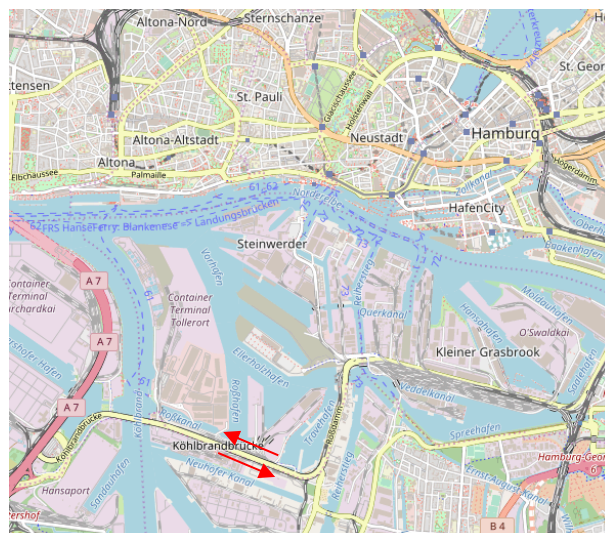


Bild 6-19: Lage der Achslastmessstelle Köhlbrandbrücke in Hamburg, Karte: Open Street Map

Die Daten wurden ebenfalls als Einzelfahrzeugdaten in Text-Dateien mit Tabulator-Trennung der Spalten geliefert. Dabei wurden die Fahrtrichtungen getrennt bereitgestellt.

Inhaltlich waren neben zahlreichen weiteren Kenngrößen die folgenden enthalten:

- Zeit
- Zählort
- Fahrstreifen
- Fahrzeugklasse (8+1)
- Achsanzahl
- Gewicht jeder Achse

Auch für diese beiden richtungsbezogenen Achslastmessstellen konnte auf der Basis der vor-Ort gemessenen Fahrzeugklassenverteilung die Achslastverteilung berechnet und der realen Achslastverteilung gegenübergestellt werden. Die Ergebnisse sind in Bild 6-20 und Bild 6-21 dargestellt.

Im Vergleich zu den bisherigen Auswertungen der schweizerischen Achslastmessstellen zeigen sich hier größere Abweichungen, die insbesondere bei den kleineren Gewichtsklassen deutlich erkennbar sind. Diese Extremwerte im Bereich 2-3 t tauchen in beiden Fahrtrichtungen auf und stellen einen eher unüblichen Verlauf dar. Dieser außerordentlich hohe Anteil an Fahrzeugen mit für den Schwerverkehr untypisch leichten Achsen lässt sich möglicherweise mit der Nähe zum Hamburger Hafen erklären, wo es neben vollbeladenem Schwerverkehr auch Leerfahrten in gleicher Größenordnung gibt.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Umsetzung eines auf Standardwerten basierenden Verfahrens bei besonderen Randbedingungen nicht zum gewünschten Ergebnis führt.

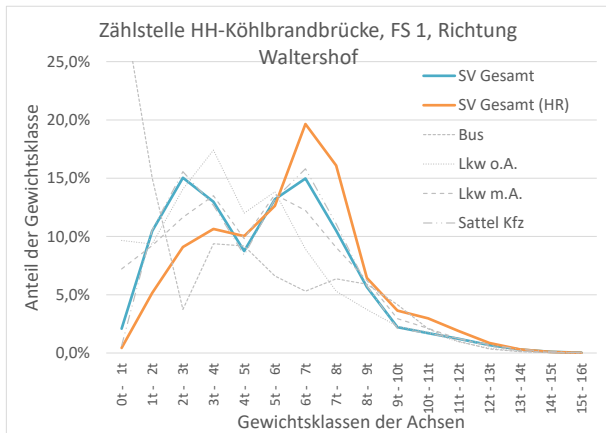


Bild 6-20: Vergleich Achslastverteilung real/HR Zst. Köhlbrandbrücke, FR Waltershof, FS1

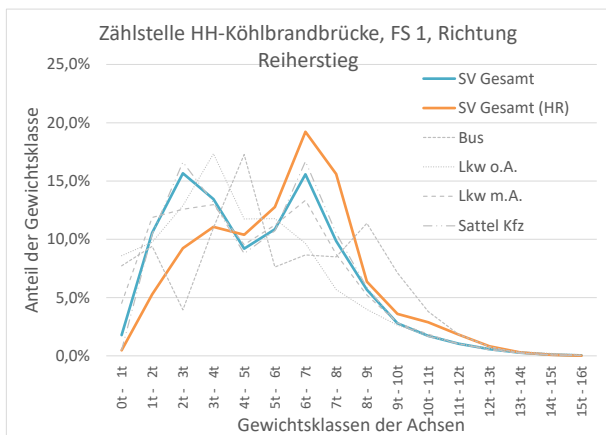


Bild 6-21: Vergleich Achslastverteilung real/HR Zst. Köhlbrandbrücke, FR Reierstieg, FS1

6.2.4 Anwendung auf die AMS in Polen

Aus Polen wurden Daten für insgesamt 4 richtungsbezogene Achslastmessstellen zur Verfügung gestellt. Die Lage der Achslastmessstellen ist Bild 6-22 bis Bild 6-24 zu entnehmen.

Das besondere an den Achslastmessstellen in Polen ist, dass sich diese ausschließlich auf dem nachgeordneten Straßennetz befinden, was die in Bild 6-25 bis Bild 6-28 dargestellten Fotos gut wiedergeben. Insbesondere die AMS Grodziec zeigt hier hinsichtlich der Querschnittsgestaltung deutliche Unterschiede zu den bisher betrachteten Autobahnstandorten, wobei aufgrund der Lage im Netz auch hier von einer Fernverkehrsverbindung ausgegangen werden kann.

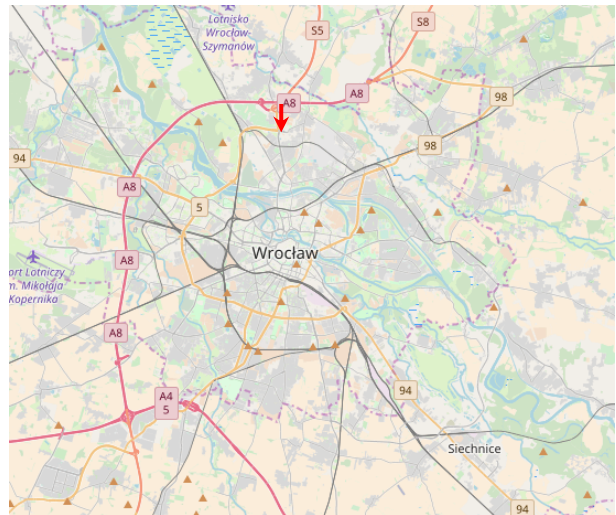


Bild 6-22: Lage der AMS Zmigrodzka, FR Zentrum (Karte: OSM)

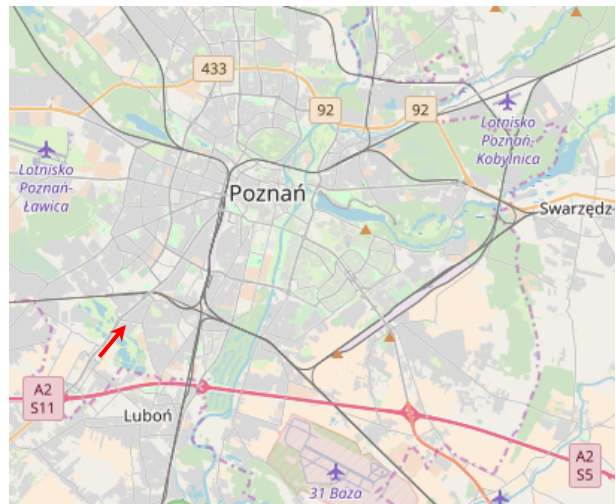


Bild 6-23: Lage der AMS Pozglogowska, FR Zentrum (Karte: OSM)

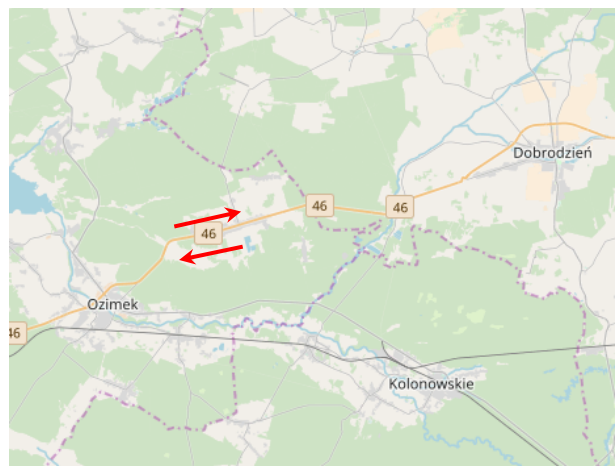


Bild 6-24: Lage der AMS Grodziec, FR Opole und AMS Grodziec, FR Czestochowa (Karte: OSM)



Bild 6-25: Foto der AMS Zmigrodzka, FR Zentrum



Bild 6-26: Foto der AMS Pozglogowska, FR Zentrum



Bild 6-27: Foto der AMS Grodziec, FR Czestochowa



Bild 6-28: Foto der AMS Grodziec, FR Opole

Die Daten stammen für die AMS Zmigrodzka und AMS Grodziec aus den Monaten Mai bis August 2017. Später wurden für die AMS Pozglogowska Daten von November 2017 bis Januar 2018 zur Verfügung gestellt.

Auch hier wurden unabhängig von der Erfassungsart nur die Daten des Hauptfahrstreifens ausgewertet. Die Daten wurden als Einzelfahrzeugdaten im

tsv-Dateiformat (tab separated values) bereitgestellt. Neben umfangreichen weiteren Daten waren die folgenden Kenngrößen je Fahrzeug enthalten:

- Zeit
- Zählort
- Fahrstreifen/-richtung
- Fahrzeugklasse (8+1)
- Achszahl
- Gewicht jeder Achse
- Abstand zur vorhergehenden Achse

Auch für die polnischen richtungsbezogenen Achslastmessstellen konnte auf der Basis der vor-Ort gemessenen Fahrzeugklassenverteilung die Achslastverteilung berechnet und der realen Achslastverteilung gegenübergestellt werden. Die Ergebnisse sind in Bild 6-29 bis Bild 6-32 dargestellt. Auch hier ist jeweils in blau die tatsächliche Achslastverteilung des Schwerververkehrs an der Achslastmessstelle dargestellt. Zusätzlich sind in grau die vier Fahrzeugklassen des Schwerververkehrs getrennt eingezeichnet. In orange ist dem die aus dem Kollektiv hochgerechnete Verteilung der Achslasten gegenübergestellt. Obwohl die Charakteristiken der Gewichtsverteilungen an den vier polnischen Zählstellen sehr unterschiedlich sind, zeigt der Vergleich der hochgerechneten mit der realen Achslastverteilung an allen vier Messstellen sehr gute Übereinstimmungen. Somit können, unter Zuhilfenahme der tatsächlichen Fahrzeugklassenverteilung, realistische Achslastverteilungen mit den fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungen berechnet werden.

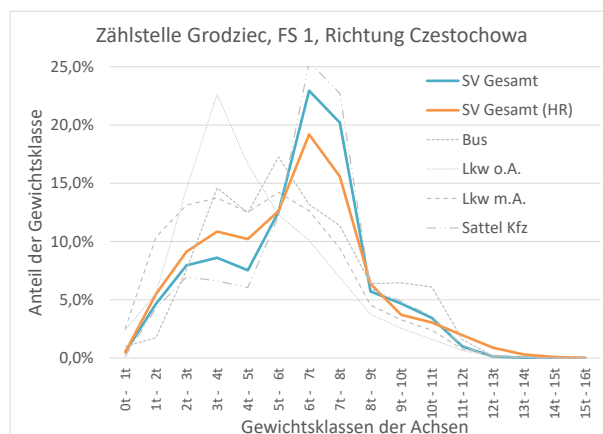


Bild 6-29: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Grodziec, FR Czestochowa

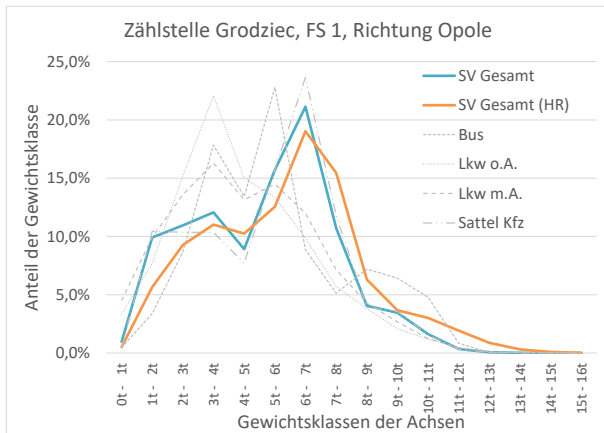


Bild 6-30: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Grodziec, FR Opole

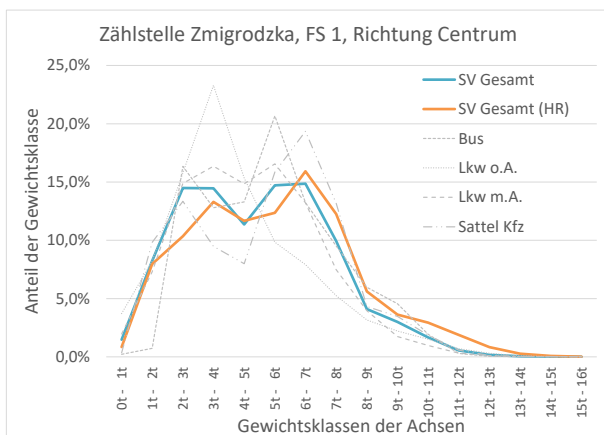


Bild 6-31: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Zmigrodzka, FR Zentrum, FS1

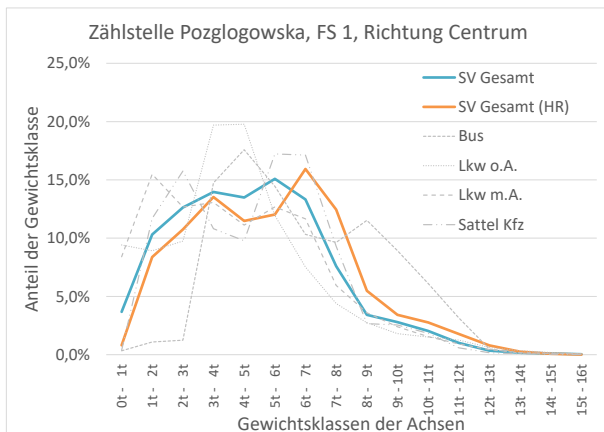


Bild 6-32: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Pozglogowska, FR Zentrum, FS1

Aufgrund ihrer sehr ländlichen Lage zwischen Opole und Czestochowa bietet sich die AMS Grodziec für eine weitergehende Detailbetrachtung an, bei der nicht nur mit der realen Fahrzeugklassenverteilung aus der Zählstelle eine Hochrechnung der Achslastverteilung durchgeführt wird, sondern auch mit den Standardwerten nach Tab. 5-1. Die verwendeten Standardwerte sowie die realen

ermittelten Fahrzeugklassenverteilungen sind in Tab. 6-1 dargestellt.

Kategorie	Bus/SV	LkwoA/SV	LkwmA/SV	Sat/SV
Reale Anteile	15,55%	6,83%	6,03%	71,59%
L-Str.	8,59%	48,59%	13,77%	23,33%
L-Str. stark	7,06%	51,79%	11,81%	23,60%
L-Str. normal	7,85%	49,99%	13,80%	23,39%
L-Str. schwach	9,34%	45,24%	14,73%	24,34%

Tab. 6-1: Verwendete Fahrzeugklassenverteilung zur Bestimmung der Achslastverteilungen an der AMS Grodziec

Anhand der Werte in Tab. 6-1 ist deutlich zu erkennen, dass die AMS Grodziec eine für eine Landstraße sehr untypische Fahrzeugklassenverteilung hat, die aber die Fernverkehrsfunktion der Strecke belegen. So ist der Anteil der Sattel-Kfz mit rund 72 % deutlich höher als die erwarteten rund 24 %.

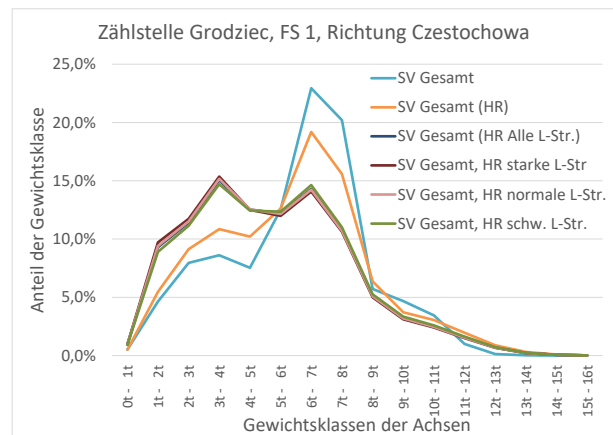


Bild 6-33: Reale und hochgerechnete Achslastverteilungen an der AMS Grodziec, FR Czestochowa

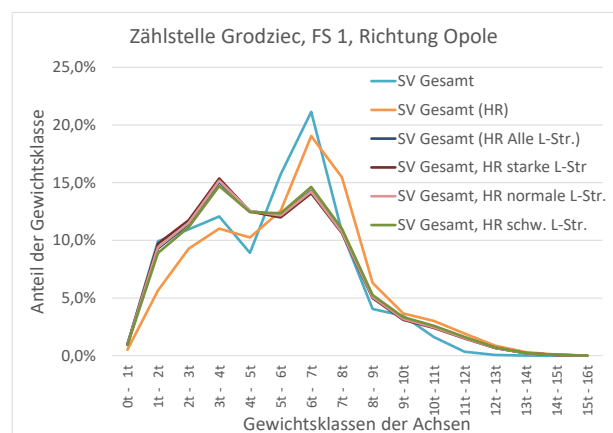


Bild 6-34: Reale und hochgerechnete Achslastverteilungen an der AMS Grodziec, FR Opole

In Bild 6-33 und Bild 6-34 sind für die beiden Fahrrichtungen die auf unterschiedliche Arten ermittelten Achslastverteilungen der realen Achslastverteilung gegenübergestellt.

Die Unterscheidung der Landesstraßen nach der Belastung führt zu kaum erkennbaren Unterschieden in der hochgerechneten Verteilung. In beiden Richtungen wird der Anteil der leichten Achsen bis ca. 5 t überschätzt, besonders in Richtung Czechochowa. Ebenso wird in beiden Richtungen der Bereich 6 t-8 t deutlich zu niedrig geschätzt. Ab der Gewichtsklasse 8 t-9 t stimmen die Werte aber wieder sehr gut mit der realen Achslastverteilung überein. Demgegenüber kann die Schätzung auf Basis der tatsächlichen Fahrzeugklassenverteilung an dieser Zählstelle (orange Kurve) diese Spitzen deutlich besser abbilden, wie bereits geschildert wurde.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass auch hier bei der Auswahl der Eingangsgrößen große Sorgfalt angewendet werden muss. Je präzisere Ergebnisse aus aktuellen Erhebungen vorliegen, desto genauer kann die Achslastverteilung ermittelt werden.

6.2.5 Zusammenfassung für das über- und das nachgeordnete Netz

In Bild 6-35 bis Bild 6-38 sind die Abweichungen zwischen den Messwerten und den Prognosewerten noch einmal differenziert nach Achslastmessstellen auf BAB und Achslastmessstellen im nachgeordneten Netz dargestellt. Bild 6-35 zeigt die Differenzen zwischen den Messwerten und Prognosewerten. Die Ergebnisse beziehen sich hierbei je Boxplot auf eine AMS auf dem schweizerischen Straßennetz. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Mittwerte der Abweichung bei allen Zählstellen unter 0,5 % liegen.

In Bild 6-36 sind je Boxplot nun die Differenzen der 10 schweizerischen AMS auf Autobahnen je Gewichtsklasse zusammengestellt. Jeder Boxplot steht für eine Gewichtsklasse. Es ist zu erkennen, dass bis zur Gewichtsklasse 8 t-9 t größere Streubreiten und auch größere Abweichungen bis 2 % auftreten, in den höheren Gewichtsklasse aber kaum Differenzen und sehr geringe Streubreiten vorhanden sind. Somit werden gerade die wichtigen Klassen sehr gut abgebildet. Bild 6-37 und Bild 6-38 zeigen die entsprechenden Diagramme für das nachgeordnete Straßennetz, wobei hier die beiden AMS aus Deutschland und die 4 Zählstellen aus Polen betrachtet wurden, die alle im nachgeordneten Netz liegen.

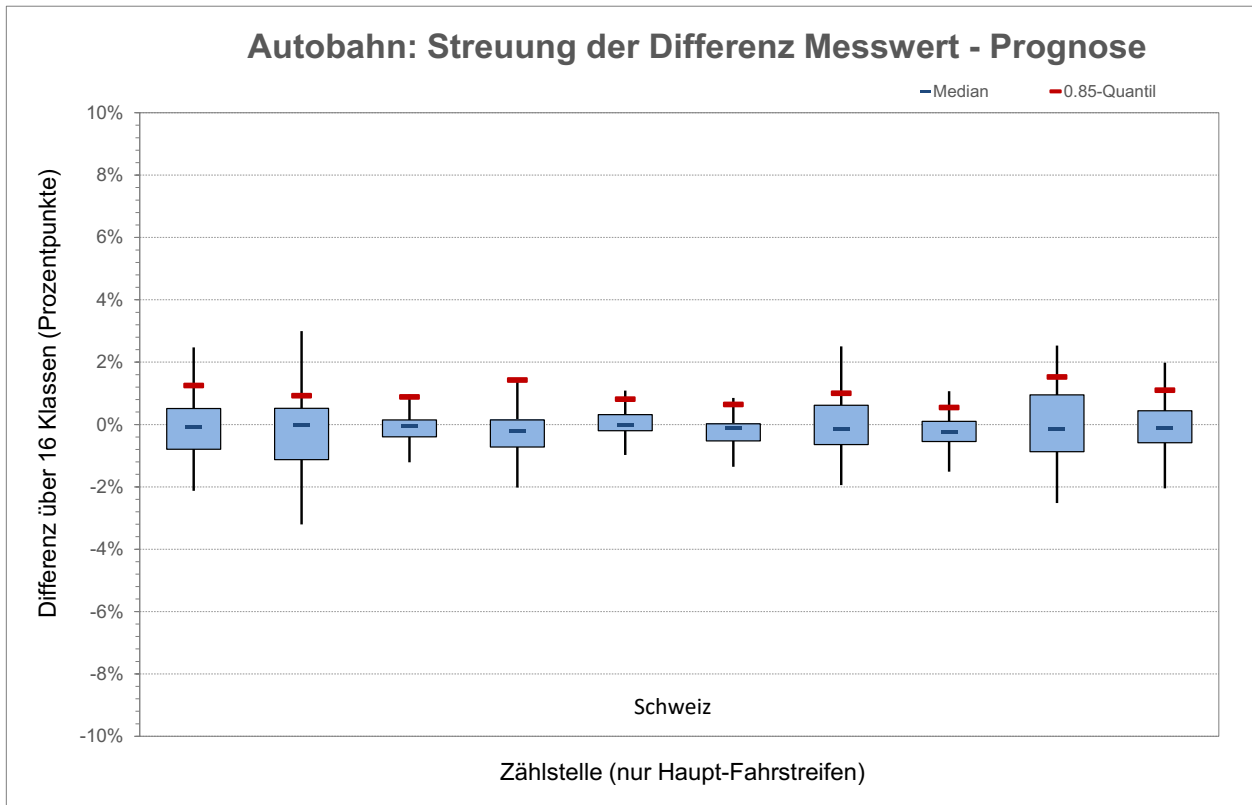


Bild 6-35: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose für die einzelnen AMS auf BAB (alle in der Schweiz)

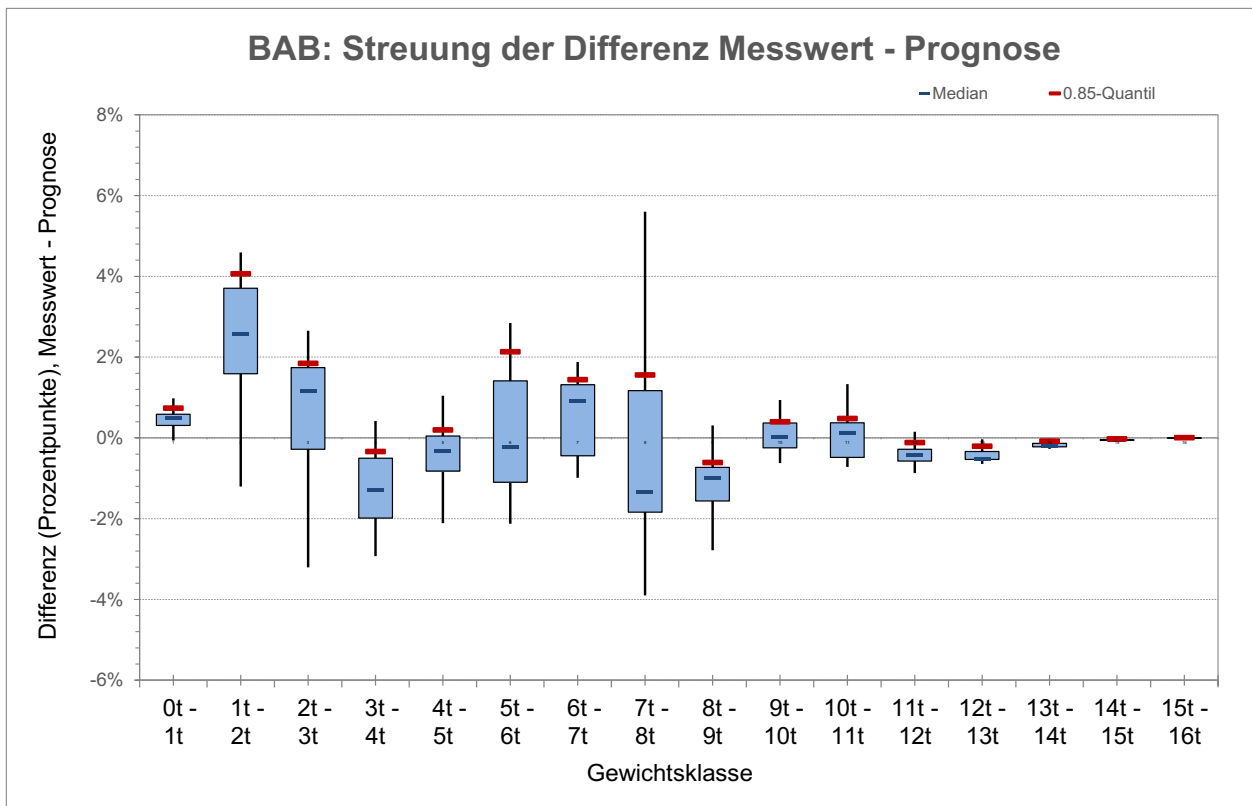


Bild 6-36: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose der einzelnen AMS auf BAB je Gewichtsklasse (Schweiz)

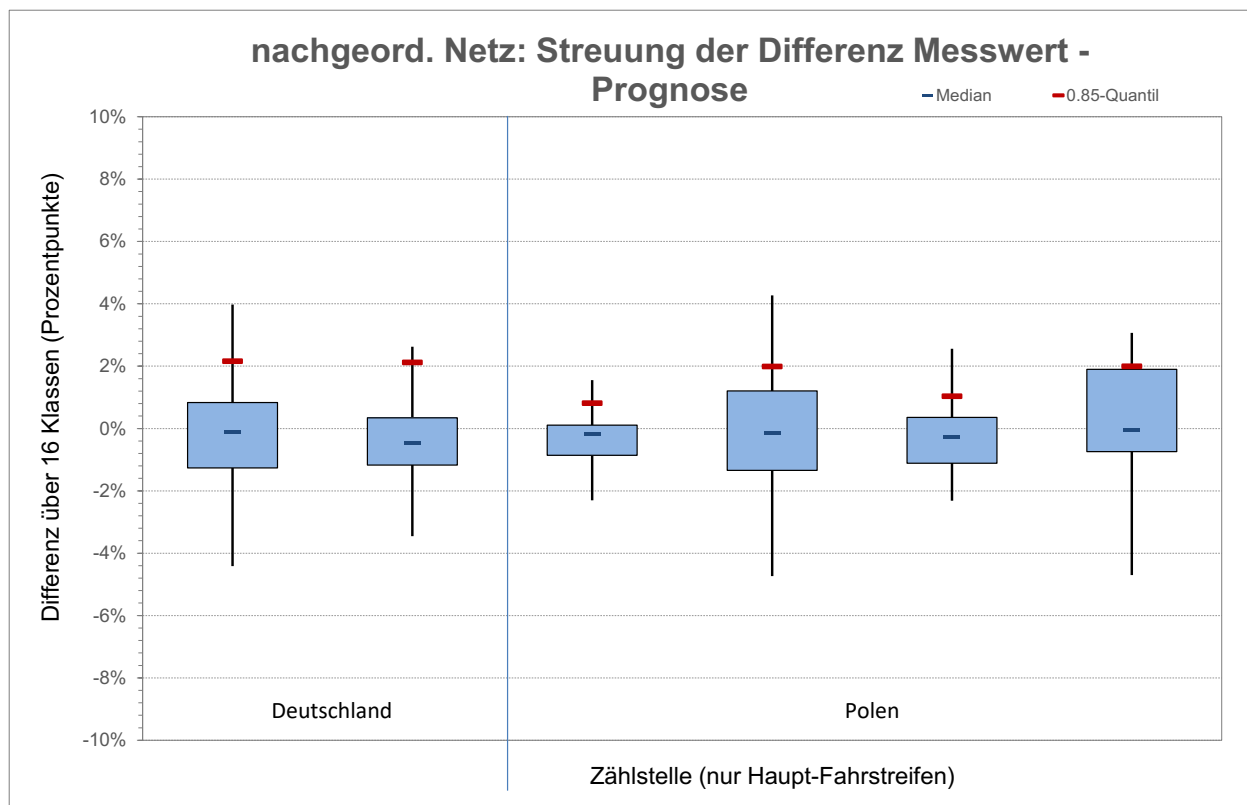


Bild 6-37: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose für die einzelnen AMS im nachgeordneten Netz (in Deutschland und Polen)

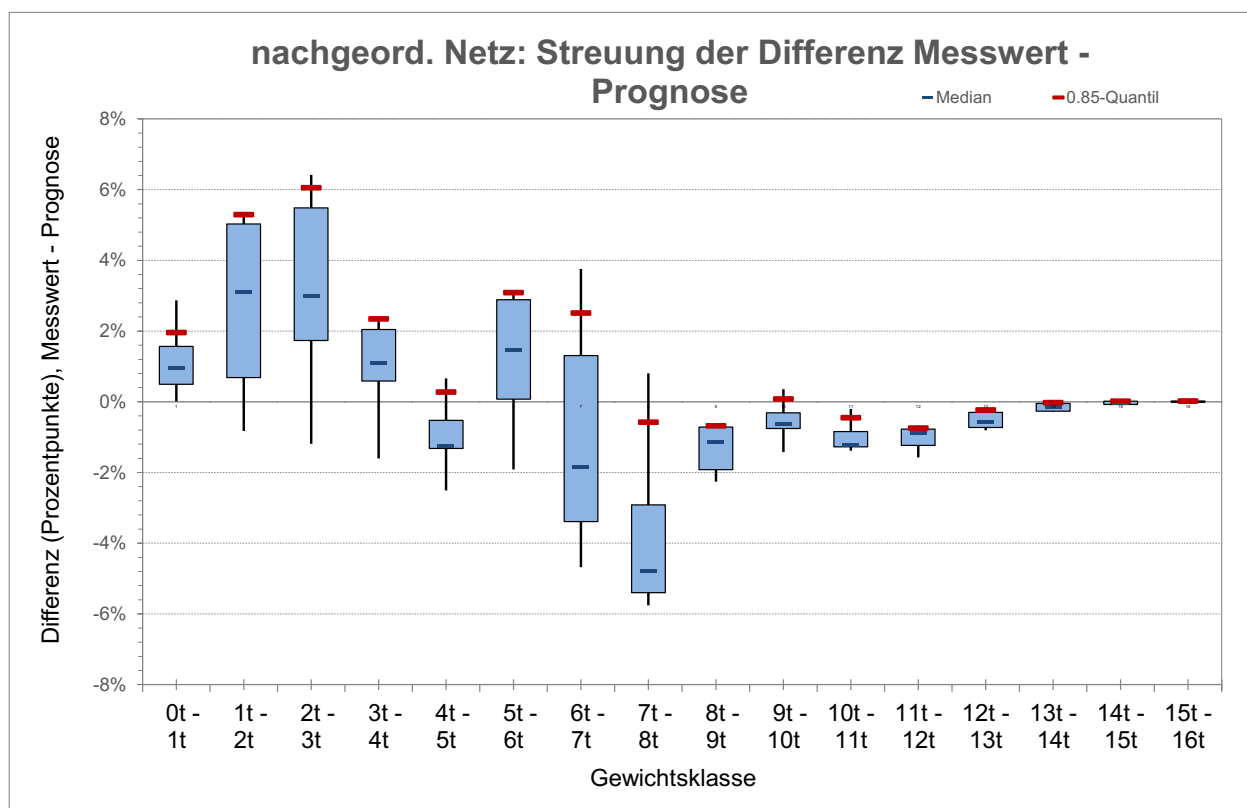


Bild 6-38: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose der einzelnen AMS im nachgeordneten Netz je Gewichtsklasse (Deutschland und Polen)

Die in Bild 6-38 dargestellten Differenzen zeigen, dass in den unteren Gewichtsklassen eine größere Streubreite vorhanden ist und hier im Mittel Abweichungen von -5 % bis +3 % vorkommen. Die höheren Gewichtsklassen werden wiederum sehr gut abgebildet.

6.2.6 Zusammenfassung und Fazit

Dankenswerter Weise wurden aus mehreren Ländern (D, CH, P) zusätzliche Achslastdaten zur Verfügung gestellt. Diese umfassten meist ca. 3 Monate aus dem Zeitraum Mai 2017 bis Januar 2018. Insbesondere standen so auch Daten von Messstellen im untergeordneten Netz zur Verfügung. Die Daten wurden für die Validierung des methodischen Ansatzes herangezogen.

Folgende Ergebnisse können festgehalten werden:

- In vielen Fällen konnten bei der Berechnung der Achslastverteilungen gute bis sehr gute Übereinstimmungen zwischen der tatsächlichen Verwiegung und der Berechnung der Achslastverteilungen auf Basis der Fahrzeugklassenerfassung erzielt werden.
- Besonders gute Ergebnisse werden auf den Autobahnen erzielt. Hier stimmen die Fahrzeugklassenverteilungen, die aus Dauerzählstellen abgeleitet wurden, am besten mit denen überein, die auf Basis von Daten der AMS ermittelt wurden.
- Auch im nachgeordneten Netz hat sich gezeigt, dass bei Kenntnis der realen Fahrzeugklassenverteilung sehr gute Ergebnisse erzielt werden können.
- Es zeigt sich, dass die Verwendung der Standard Fahrzeugklassenverteilungen zu größeren Abweichungen bei den abgeleiteten Achslastverteilungen führen kann, wenn sich die reale Fahrzeugklassenverteilung aber auch die Gesamtgewichtsverteilung deutlich verschieden von den Standardverteilungen darstellen.

7 Ableitung der belastungsabhängigen Eingangsgrößen

7.1 Ableitung der Achszahlfaktoren

7.1.1 Methodik zur Bestimmung der Achszahlfaktoren f_A

Der Achszahlfaktor f_A gibt die durchschnittliche Anzahl der Achsen pro Fahrzeug des Schwerverkehrs an. In den [RStO 12] ist definiert:

$$DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} \cdot f_A \quad (7-1-1)$$

$DTA^{(SV)}$ - Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge des Schwerverkehrs

$DTV^{(SV)}$ - Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs

Damit kann der Achszahlfaktor direkt aus den vorliegenden Daten berechnet werden. Da jedem in der Zählung erfassten Fahrzeug über die Fahrzeugart eine Achsanzahl zugeordnet ist, können $DTV^{(SV)}$ und $DTA^{(SV)}$ aus den Zählenden berechnet werden. Der Achszahlfaktor ergibt sich damit zu:

$$f_A = \frac{DTA^{(SV)}}{DTV^{(SV)}} \quad (7-1-2)$$

Die [RDO Beton 09] und [RDO Asphalt 09] enthalten keine besonderen Regelungen zum Achszahlfaktor, sondern verweisen auf die [RStO].

7.1.2 Achszahlfaktor f_A für die unterschiedlichen Straßenklassen

Zu der Datengrundlage, die für jede AMS (i) für das Jahr (j) vorliegt, gehört die zu jeder der vier Fahrzeugklassen (s) gehörende Fahrzeuganzahl $N_{s,j,i}$. Sie beschreibt die Gesamtzahl aller Schwerverkehrsfahrzeuge der Klasse (s), die im Jahr (j) die AMS (i) passiert haben. Des Weiteren liegt für jede AMS (i) und jedes Jahr (j) die zu jeder Fahrzeugklasse (s) ermittelte mittlere Achsanzahl $A_{s,j,i}$ vor. Aus diesen beiden Informationen lässt sich für jede AMS (i) und jedes Jahr (j) eine mittlere Achsanzahl

$$A_{j,i} = \frac{\sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})}{\sum_{s=1}^4 N_{s,j,i}} \quad (7-1-3)$$

$N_{s,j,i}$:= FzgAnzahl (Klasse s) im Jahr j an der AMS i

$A_{s,j,i}$:= mittl. Achsanzahl (Klasse s), Jahr j, AMS i

ermitteln.

Der Mittelwert über alle Fahrzeugklassen s, Nutzungsjahre j und alle AMS i liefert einen mittleren Achszahlfaktor

$$f_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})}{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{s=1}^4 N_{s,j,i}} \quad (7-1-4)$$

für die betrachtete Straßenklasse.

In den [RStO 12] wurde der Achszahlfaktor allerdings nicht als Mittelwert aller AMS (7-1-4) sondern als 90 %-Quantilwert der Mittelwerte der einzelnen AMS definiert. Mit diesem Sicherheitskonzept wurden die vergleichsweise höher belasteten Strecken in der Dimensionierung berücksichtigt. Eine planmäßige Überdimensionierung geringer beanspruchter Strecken wurde dabei in Kauf genommen.

Um einen vergleichbaren f_A -Wert aus den Daten zu generieren, muss also die empirische Verteilung der mittleren Achszahlfaktoren der verschiedenen Stationen betrachtet werden. Bild 7-1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Achszahlfaktoren, die sich aus den Daten der Achslastmessstellen ergibt.

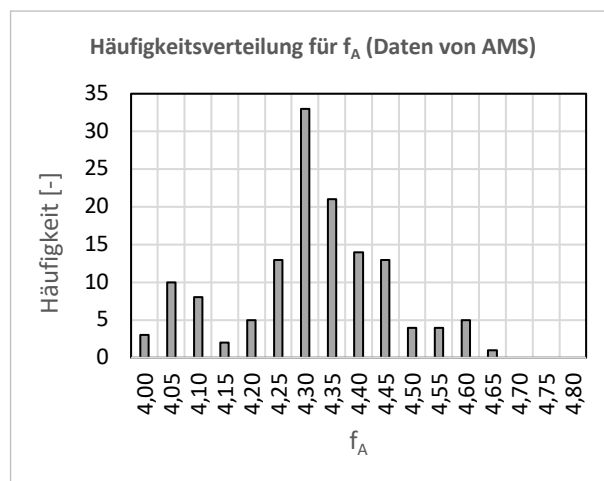


Bild 7-1: Häufigkeitsverteilung der mittleren Achsanzahlen für alle AMS und alle vorliegenden Jahre

Der 90 %-Quantilwert liegt bei 4,45. In den [RStO 12] wird ein Achszahlfaktor von 4,5 angegeben. Es ergibt sich somit kein Änderungsbedarf für f_A in den [RStO 12]. Dies ist ein Indiz für eine geringe Änderung der Schwerverkehrszusammensetzung. Bei dieser Rechnung gehen die AMS mit vielen Betriebsjahren mehr in den Achszahlfaktor ein als beispielsweise eine AMS, deren Daten sich nur auf ein Jahr beziehen. Bei einer Gleichgewichtung aller 33 AMS ergeben sich allerdings nur marginal unterschiedliche Zahlen.

Die Achslastverteilungen der Straßenklassen bzw. für Fern-, Misch- und Nahverkehr auf Autobahnen werden nun differenzierter, auf Basis der Dauerzählstellendaten und der repräsentativen Achslastverteilungen der vier Schwerverkehrsklassen bestimmt. Diesen Achslastverteilungen sind eindeutige mittlere Achszahlfaktoren zugeordnet, die verwendet werden, da die Achszahlfaktoren der Fahrzeugklassen AMS-bezogen kaum variieren.

Wie schon in Kapitel 4.1 ausgeführt, charakterisieren die ausgewerteten Achslastmessstellen Autobahnen mit sehr hohem SV-Anteil und fallen in die Kategorie BAB-„Fernverkehr“.

Der auf der Basis der Daten aus den AMS ermittelte Achszahlfaktor kann daher nur für die Autobahnen dieser Kategorie gelten.

Um Achszahlfaktoren anderer Straßenklassen, wie

- BAB-„Mischverkehr“ (nach Kap. 4.1)
- BAB-„stadtnaher Verkehr“ (nach Kap. 4.1)
- Bundesstraßen (gemäß RStO)
- Landes- u. Kreisstraßen (gemäß RStO)

abzuleiten, muss auf die vorliegenden Daten der Dauerzählstellen (DZ) zurückgegriffen werden. Nach Tab. 4-2 und Tab. 5-1 können für die oben genannten Straßenklassen die in Tab. 7-1 aufgeführten Schwerverkehrszusammensetzungen angesetzt werden (umgerechnet auf jeweils 100 %).

Die Zahlen für die Landes- und Kreisstraßen (L+K-Str.) wurden aus den Zahlenwerten in Tab. 5-1 für Landes- und Staatsstraßen (L+S-Str., Zeile 25) sowie Kreis- und Gemeindestraßen (K+G-Str., Zeile 30) gemittelt.

Klasse	LoA	Bus	LmA	Sat
BAB-„Fern“	14,23	1,69	14,77	69,31
BAB-„Misch“	23,08	2,31	17,74	56,87
BAB-„Nah“	47,56	4,39	14,12	33,93
B.-Str.	40,06	4,94	15,90	39,10
L+K-Str.	59,34	10,83	11,96	17,87

Tab. 7-1: Repräsentative SV-Anteile in [%] verschiedener Straßenklassen aus Dauerzählstellen (DZ)

Für die Berechnung des Achszahlfaktors kommt

$$f_A = \frac{\sum_{s=1}^4 (N_s^* \cdot A_s^*)}{\sum_{s=1}^4 N_s^*} \tag{7-1-5}$$

N_s^* := repräs. SV – Anteil [%] in Fzg. art s
 A_s^* := repräs. Achszahl in Fzg. art s

zur Anwendung.

Achszahlfaktor f_A		BAB	B-Str.	L+K-Str.
RStO	Tab. A 1.1	4,5*	4,0*	3,3*
nach AMS-Daten		4,45*		
nach AMS, DZ	"Fern"	4,4**	3,6**	3,0**
	"Misch"	4,1**		
	"Nah"	3,4**		

*Quantilwert aus vielen Mittelwerten(90%), **Mittelwert

Tab. 7-2: Achszahlfaktoren, berechnet aus AMS- und DZ- Daten im Vergleich mit den [RStO 12]

Tab. 7-2 fasst die Ergebnisse der Berechnungen zum Achszahlfaktor zusammen. Wie bereits oben erwähnt, ist der f_A -Wert aus [RStO 12] als Quantilwert definiert, um auch für höher belastete Strecken eine ausreichende Dimensionierung sicherzustellen. Bei der hier beschriebenen differenzierteren Erfassung des Verkehrslastkollektivs sind genau diese höher belasteten Strecken in der Kategorie „Fernverkehr“ zusammengefasst. Es ist damit folgerichtig für den Achszahlfaktor dieser Kategorie den Mittelwert zu verwenden. Gleiches gilt für die anderen Kategorien (Mischverkehr, Nahverkehr). Eine Quantilbildung innerhalb dieser Kategorien erscheint angesichts der zu erwartenden geringen Varianz wenig sinnvoll. Die gegenwärtig durch die Art der Definition des f_A -Wertes (Quantilwert) in [RStO 12] implementierte planmäßige Überdimensionierung geringer beanspruchter Strecken entfällt bei der neu vorgeschlagenen Definition (Mittelwerte). Insofern findet an dieser Stelle eine Abmilderung des Sicherheitsniveaus der [RStO 12] statt. Dies kann als nachteilig interpretiert werden. Die Autoren dieses Berichts sind aber der Ansicht, dass das Ziel einer Dimensionierung nicht darin besteht maximale Sicherheiten zu produzieren, sondern das Optimum zwischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu ermitteln. Die Aufspaltung des Schwerverkehrs in die Kategorien „Fern-“, „Misch-“, und „Nahverkehr“, verbunden mit der Definition des f_A -Wertes als Mittelwert erscheint deshalb angemessen.

Danach ergibt sich aus den AMS-Daten ein Achszahlfaktor von 4,45 (Quantilwert) für BAB. Dieser

Wert entspricht dem in den RStO 12, der dort mit $f_A = 4,5$ (Quantilwert) angegeben ist, woraus geschlossen werden kann, dass sich der Schwerverkehr in seiner Zusammensetzung über all die Jahre kaum verändert hat. Unterteilt man anhand der AMS-Daten die Autobahnen gemäß ihrer Verbindungsfunktion, ergibt sich für die Kategorie BAB-„Fern“ ein Achszahlfaktor von 4,4 (Mittelwert), für „Mischverkehr“ ein Achszahlfaktor von 4,1 und für die Kategorie BAB-„stadtnaher Verkehr“ ein Achszahlfaktor von 3,4 (Mittelwert). Die gute Übereinstimmung zwischen dem als Quantilwert definierten f_A -Wert für den gesamten Schwerverkehr (4,45) und dem als Mittelwert definierten f_A -Wertes für die Kategorie „Fernverkehr“ (4,4) zeigt, dass die beschriebene Vorgehensweise die Verkehrsbelastung angemessen beschreibt. Für die Straßenklassen „Bundesstraßen“ und „Landes- und Kreisstraßen“ ergeben sich Achszahlfaktoren von 3,6 (Mittelwert) bzw. 3,0 (Mittelwert).

Diese Werte liegen unter den in den [RStO 12] angeführten Werten. Dies ist im Wesentlichen auf die unterschiedliche Definition (Quantilwert/Mittelwert) des Achszahlfaktors in der vorliegenden Untersuchung und [RStO 12] zurückzuführen.

7.2 Ableitung der Lastkollektivquotienten

7.2.1 Methodik zur Bestimmung der Lastkollektivquotienten q_{BM}

Gemäß [RStO 12] ist q_{BM} „Einer bestimmten Straßenklasse zugeordneter Lastkollektivquotient, der die Straßenklassenspezifische mittlere Beanspruchung der jeweiligen tatsächlichen Achsübergänge ausdrückt (Quotient aus der Summe der äquivalenten 10-t-Achsübergänge und der Summe der tatsächlichen Achsübergänge des Schwerverkehrs (SV) für einen festgelegten Zeitraum in einem Fahrstreifen).“

Aus einem Vergleich der Methode 1.1 und 2.1 der [RStO 12] ergibt sich, dass der Lastkollektivkoeffizient

$$q_{BM} = \sum_{k=1}^{n_k} \left(h_k \cdot \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right) \text{ mit } h_k := p^*(k) \quad (7-2-1)$$

k := Achslastklasse

n_k := Anzahl der vorh. Achslastklassen (16)

L_k := repräsentative Achslast der Achslastklasse k

L_0 := Bezugsachslast (10t)

h_k := relative Häufigkeit der Achslastklasse k

$p^*()$:= dimens. relevante Achslastverteilung

die Summe der dimensionierungsrelevanten Achslastverteilung ist, welche mit der 4. Potenz ihrer jeweiligen, auf 10 t bezogenen, Gewichtsklasse multipliziert wurde.

Die dimensionierungsrelevante Achslastverteilung wiederum ist die in einem Fahrstreifen auftretende repräsentative Achslastverteilung, wie sie sich aus der SV-Verteilung ergibt. Sie lässt sich für die verschiedenen Straßenklassen aus den vorliegenden AMS- und DZ- Daten ableiten, wie das auch bereits in Kapitel 4.1 beschrieben wurde. Im Folgenden wird die Berechnung des Lastkollektivquotienten dargestellt.

7.2.2 Lastkollektivquotient q_{BM} für die unterschiedlichen Straßenklassen; Berechnung nach den [RStO 12]

Die Fahrzeuganzahl $N_{s,j,i}$ beschreibt die Gesamtzahl aller Schwerverkehrsfahrzeuge der Klasse (s), die im Jahr (j) die AMS (i) passiert haben.

Für jede AMS (i) und jedes Jahr (j) liegen die zu den Fahrzeugklassen (s) ermittelten mittleren Achslastverteilungen $p_{s,j,i}(L)$ und die mittleren Achsanzahlen $A_{s,j,i}$ vor.

Aus diesen Informationen lässt sich für jede AMS (i) und jedes Jahr (j) eine mittlere Achslastverteilung

$$p_{j,i}(L) = \frac{\sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i} \cdot p_{s,j,i}(L))}{\sum_{s=1}^4 (N_{s,j,i} \cdot A_{s,j,i})} \quad (7-2-2)$$

$N_{s,j,i}$:= Anzahl Fzg. der Klasse s im Jahr j an der AMS i

$A_{s,j,i}$:= mittl. Achsanzahl FzgArt s , Jahr j , AMS i

$p_{j,i}()$:= Achslastverteilg Jahr j , AMS i

$p_{s,j,i}()$:= Achslastverteilg der FzgArt s , Jahr j , AMS i

L := Achslasten, eingeteilt in Achslastklassen k

ermitteln.

Entsprechend Gleichung (7-2-1) lassen sich Lastkollektivquotienten

$$q_{BMj,i} = \sum_{k=1}^{n_k} \left(h_{k,j,i} \cdot \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right) \text{ mit } h_{k,j,i} := p_{j,i}(k) \quad (7-2-3)$$

k := Achslastklasse

n_k := Anzahl der vorh. Achslastklassen (16)

L_k := repräsentative Achslast der Achslastklasse k

L_0 := Bezugsachslast (10t)

h_{kji} := rel. Häufigkeit der Achslastklasse k , Jahr j , AMS i
 $p_{j,i}(\)$:= Achslastverteilg Jahr j , AMS i

berechnen. Nach [RStO 12] und [RDO Beton 09] wird für L_k die mittlere Achslast einer Achslastklasse angesetzt. Für die 7. Lastklasse (6 bis 7 t) wären das beispielsweise 6,5 t.

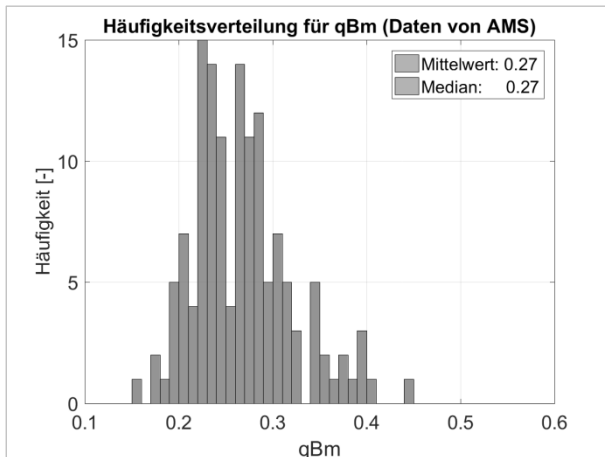


Bild 7-2: Lastkollektivquotienten nach AMS und Jahr mit Klassenbreite 0,01

Bild 7-2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der nach Gl. (7-2-3) berechneten Lastkollektivquotienten, wie sie sich aus den Daten der Achslastmessstellen ergibt. Der Mittelwert sowie der Median ergeben sich zu 0,27.

Bei dieser Rechnung gehen AMS mit vielen Betriebsjahren stärker in den Lastkollektivquotienten ein als AMS, deren Daten sich beispielsweise nur auf 1 Jahr beziehen. Eine Gleichgewichtung aller 33 AMS führt jedoch auf das gleiche Ergebnis.

Wie schon in Kapitel 4.1 ausgeführt, charakterisieren die ausgewerteten Achslastmessstellen Autobahnen mit sehr hohem SV-Anteil und fallen in die Kategorie BAB-„Fernverkehr“.

Der ermittelte mittlere Lastkollektivkoeffizient von 0,27 gilt daher nur für die Autobahnen dieser Kategorie.

Um die Lastkollektivkoeffizienten anderer Straßenklassen und -kategorien, wie

- BAB-„Mischverkehr“ (nach Kap. 4.1)
- BAB-„stadtnaher Verkehr“ (nach Kap. 4.1)
- Bundesstraßen (gemäß [RStO 12])
- Landes- u. Kreisstraßen (gemäß [RStO 12])

abzuleiten, wird auf die Daten der Dauerzählstellen (DZ) zurückgegriffen. Für die Berechnung des Lastkollektivquotienten nach Gleichung (7-2-1) wird die dimensionierungsrelevante Achslastverteilung

$$p^*(L) = \frac{\sum_{s=1}^4 (N_s^* \cdot A_s^* \cdot p_s^*(L))}{\sum_{s=1}^4 (N_s^* \cdot A_s^*)} \quad (7-2-4)$$

N_s^* := repräsentativer SV – Anteil der Fzg. Art s

A_s^* := repräsentative Achszahl der Fzg. Art s

$p_s^*(\)$:= repräs. Achslastverteilung der Fzg. Art s

$p^*(\)$:= dimensionierungsrelev. Achslastverteilung

L := Achslasten, eingeteilt in Achslastklassen k

verwendet. Die repräsentativen SV-Anteile sind in Tab. 7-1 und die repräsentativen Achszahlen in Tab. 4-1 aufgeführt. Die repräsentativen Achslastverteilungen der vier SV-Anteile (LoA, Bus, LmA und Sat) wurden in Kapitel 4.1.2 abgeleitet und in Bild 7-3 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 7-3 fasst die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammen. Danach ergibt sich aus den AMS-Daten ein mittlerer Lastkollektivquotient von 0,27 und auf Basis der DZ für die gleiche Kategorie (BAB-Fernverkehr) ein mittlerer Lastkollektivquotient von 0,26.

Eine direkte Vergleichbarkeit mit den Werten aus den RStO ist wiederum nicht gegeben, weil ähnlich wie beim Achszahlfaktor eine unterschiedliche Definition vorliegt (siehe Abschnitt 7.1.1). Der q_{Bm} -Wert in den [RStO 12] ist das 90 % Quantil von Lastkollektivquotienten, die an den einzelnen AMS ermittelt wurden. Es ist somit ein Quantilwert aus Mittelwerten, die entsprechend Formel (7-2-3) berechnet wurden. Das hier vorgestellte Verfahren hat jedoch i. d. R. nicht mehrere sondern nur eine Achslastverteilung als Grundlage, der ein q_{Bm} -Wert entsprechend Formel (7-2-3) direkt als Mittelwert zugeordnet werden kann. Dies ist aufgrund der in Kapitel 7.1.2 bereits erwähnten differenzierteren Bestimmung der Achslastverteilungen auch sinnvoll. Entsprechend sind die im Vergleich zu den [RStO 12] kleineren q_{Bm} -Werte (siehe Tab. 7-3) noch nicht als Indiz für eine allgemeine Veränderung des Lastkollektivs anzusehen. Der 90 %-Quantilwert der Lastkollektivquotienten aus allen AMS liegt bei 0,344. Die Abweichung zu dem in den [RStO 12] angegebenen Wert 0,33 ist relativ klein (4 %). Hieraus lässt sich aufgrund der Geringfügigkeit der Änderung kein Anpassungsbedarf für die [RStO 12] ableiten, da sich die Beanspruchungssituation nicht oder nur marginal verändert hat.

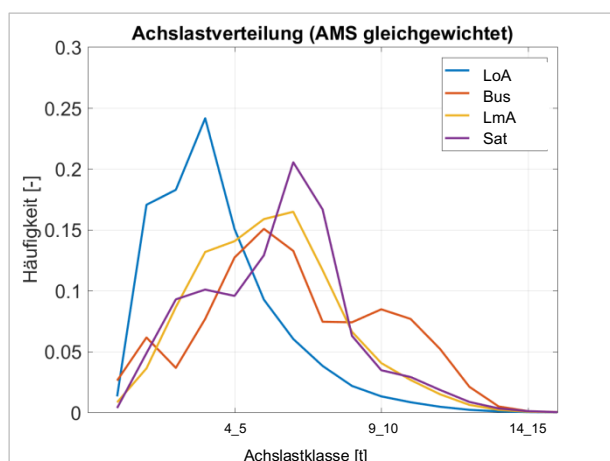


Bild 7-3: Repräsentative Achslastverteilungen der vier SV-Anteile, Klassenbreite 1 t, ermittelt aus AMS-Daten, nach Kapitel 4.1.2.

Lastkollektivquotient q_{Bm}		BAB	B-Str.	L+K-Str.
[RStO 12]	Tab. A 1.2	0,33*	0,25**	0,23**
nach AMS-Daten (alle AMS gleichgewichtet)		0,344* 0,27***		
nach AMS+DZ	"Fern"	0,26***	0,23***	0,21***
	"Misch"	0,25***		
	"Nah"	0,22***		

*Quantilwert (90%), **geschätzter Quantilwert (90%), ***Mittelwert

Tab. 7-3: Lastkollektivquotienten nach [RStO 12] bzw. nach Formel 7-2-3

7.2.3 Vergleich zum Sicherheitsniveau in [RDO Asphalt 09]

Wie bereits erläutert, enthält die Methodik entsprechend [RStO 12] durch die Definition des q_{Bm} -Wertes als Quantilwert von Mittelwerten ein implizites Sicherheitselement. Das innerhalb der aktuell gültigen [RDO Asphalt 09] festgelegte Dimensionierungsverfahren verwendet den Achslastquotienten q_{Bm} nicht. Um trotzdem ein Sicherheitselement zu implementieren, wurden die in [RDO Asphalt 09] angegebenen allgemein gültigen Achslastverteilungen bei den weiteren Berechnungen jeweils auf die obere Grenze der Achslastklassen bezogen.

Es wurden q_{Bm} -Werte berechnet, welche sich auf die jeweilige Klassenobergrenze beziehen, um abzuschätzen, wie sich das damit gewonnene Sicherheitsniveau zum Sicherheitsniveau der [RStO 12] verhält. Entsprechend wurden Gleichung (7-2-1) und Gleichungen (7-2-3) mit den jeweils höchsten

Lasten der jeweiligen Achslastklassen umgesetzt. Damit wird die 7. Achslastklasse (von >6 bis ≤7 t) beispielsweise nicht mit 6,5 t sondern mit 7 t in Ansatz gebracht ($L_7 = 7$ t statt 6,5 t).

Für die Berechnung des Lastkollektivquotienten kam Gleichung (7-2-3) unter Verwendung der Gleichung (7-2-2) für die mittlere Achslastverteilung zum Einsatz. Das führt zu der in Bild 7-4 gezeigten Häufigkeitsverteilung des Lastkollektivquotienten, wie er sich aus den Daten der Achslastmessstellen ergibt.

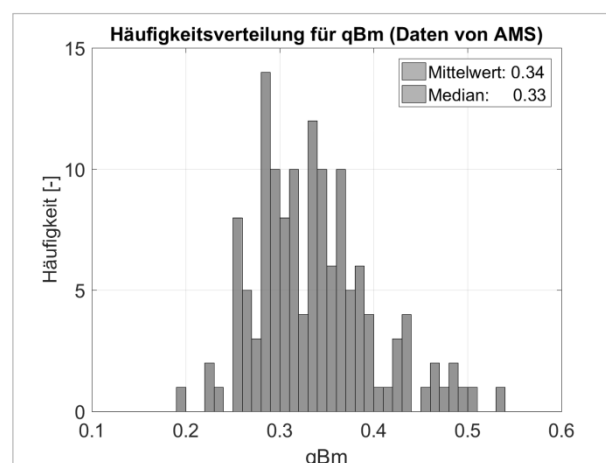


Bild 7-4: Lastkollektivquotienten nach AMS und Jahr nach alternativem Berechnungsvorschlag

Der Mittelwert errechnet sich jetzt zu 0,34 und der Median zu 0,33. Damit befindet sich der Lastkollektivquotient nunmehr auf dem Niveau der [RStO 12] (0,33 für BAB), wie ein Blick auf Tab. 7-3 zeigt.

Wie bereits zuvor erwähnt, gehen bei dieser Rechnung die AMS mit vielen Betriebsjahren mehr in den Lastkollektivquotienten ein als beispielsweise eine AMS, deren Daten sich nur auf ein Jahr beziehen. Bei einer Gleichgewichtung aller 33 AMS ergeben sich jedoch nur marginal andere Zahlen: 0,33 sowohl für den Mittelwert als auch für den Median.

Die ausgewerteten Achslastmessstellen charakterisieren Autobahnen mit sehr hohem SV-Anteil und fallen in die Kategorie BAB-„Fernverkehr“.

Der ermittelte Lastkollektivkoeffizient (Mittelwert) von 0,33 (alle AMS gleich gewichtet) bzw. 0,34 gilt daher nur für die Autobahnen dieser Kategorie.

Um die Lastkollektivkoeffizienten der anderen Straßenklassen, wie

- BAB-„Mischverkehr“ (nach Kap. 4.1)
- BAB-„stadtnaher Verkehr“ (nach Kap. 4.1)
- Bundesstraßen (gemäß [RStO 12])
- Landes- u. Kreisstraßen (gemäß [RStO 12])

abzuleiten, muss wieder auf die Daten der Dauerzählstellen (DZ) zurückgegriffen werden. Für die Berechnung des Lastkollektivquotienten kommen erneut Gleichungen (7-2-1) und (7-2-4) zur Anwendung – nur mit der Maßgabe, dass nicht mit den mittleren, sondern mit den jeweils höchsten Lasten der jeweiligen Achslastklassen gerechnet wird.

Tab. 7-4 fasst das Ergebnis aller Berechnungen mit dem alternativen Berechnungsvorschlag zusammen. Die in den [RDO Asphalt 09] festgeschriebene Methodik liefert bei der Berechnung der dimensionsrelevanten Lastkollektivquotienten auf Basis der neuen differenzierteren Achslastverteilungen ein zur [RStO 12] vergleichbares Sicherheitsniveau.

Lediglich für die Fälle Misch- und Nahverkehr ergeben sich leichte Abschläge. Dies wird allerdings nicht als Defizit angesehen, sondern als Schritt in Richtung einer zielgerichteten Dimensionierung, welche ein gleichmäßiges Sicherheitsniveau und keine Überdimensionierung anstrebt. Die Definition der q_{Bm} -Werte als Quantilwerte innerhalb der Kategorien (Fern-, Misch-, Nahverkehr) wäre denkbar, erscheint aber angesichts der geringen zu erwartenden Abweichung und des allgemein realisierbaren Genauigkeitsniveaus als unangemessen.

Lastkollektivquotient q_{Bm}		BAB	B-Str.	L+K-Str.
[RStO 12]	Tab. A 1.2	0,33*	0,25**	0,23**
nach AMS-Daten (AMS gleichgewichtet)		0,33***		
nach AMS+DZ	"Fern"	0,32***	0,29***	0,26***
	"Misch"	0,31***		
	"Nah"	0,27***		

*Quantilwert (90%), **geschätzter Quantilwert (90%), ***Mittelwert

Tab. 7-4: Lastkollektivquotienten, berechnet nach alternativem Berechnungsvorschlag aus AMS- und DZ- Daten im Vergleich mit den [RStO 12]

7.3 Fazit des Vergleiches der berechneten Achszahlfaktoren f_A und Lastkollektivquotienten q_{Bm} mit den Werten aus den [RStO 12]

Der Achszahlfaktor f_A für Bundesautobahnen wurde auf Grundlage der neuen Achslastdatenbasis bestimmt. Dies erfolgte zunächst als 90 %-Quantil der

Verteilung der Achszahlfaktoren der Achslastmessstellen auf Bundesautobahnen (analog zur Bestimmungsmethode der in den [RStO 12] bestehenden Werte).

Die marginalen Änderungen von $f_{A_{[RStO 12]}} = 0,45$ auf $f_{A_{neu}} = 0,445$ deuten auf eine seit der letzten Bestimmung des Achszahlfaktors f_A geringe Änderung der Schwerverkehrszusammensetzung hin.

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode, zur genaueren Bestimmung des Verkehrslastkollektivs auf der Basis der Fahrzeugklassenanteile des Schwerverkehrs, liefert für die unterschiedlichen Straßenklassen bzw. den Fern-, Misch- und Nahverkehr auf Autobahnen differenziertere Achslastverteilungen. Diesen sind mittleren Achszahlfaktoren f_A eindeutig zugeordnet, die aufgrund der spezifischeren Achslastverteilungen als Erwartungswert und nicht als Quantilwert ihrer eigenen Verteilung definiert sind.

Der Grundgedanke der [RStO 12], f_A als 90 %-Quantil seiner eigenen Verteilung festzulegen, um hochbelastete Strecken nicht unterzudimensionieren war richtig. Die differenzierte Betrachtung von Fern-, Misch- und Nahverkehr auf der Bundesautobahn ermöglicht dies mit den Erwartungswerten von f_A .

Der Vergleich $f_{A_{[RStO 12]}} = 0,45$ mit $f_{A_{Fernverkehr}} = 0,44$ zeigt, dass ein vergleichbares Sicherheitsniveau erreicht wird.

Es ergeben sich bezüglich f_A keine dringenden Änderungen für die [RStO 12], bei einer Überarbeitung des Regelwerks sollten die Werte aus Tab. 7-2 mit eingearbeitet werden.

Der Lastkollektivquotient q_{Bm} für Bundesautobahnen wurde ebenfalls auf Grundlage der neuen Achslastdatenbasis bestimmt. Dies erfolgte zunächst als 90 %-Quantil der Verteilung der Lastkollektivquotienten der Achslastmessstellen auf Bundesautobahnen (analog zur Bestimmungsmethode der in den [RStO 12] bestehenden Werte). Hierbei wurden, entsprechend den [RStO 12], die Lastkollektivquotienten anhand der mittleren Achslast jeder Achslastklasse der zugrundeliegenden Achslastverteilung bestimmt. Auch hier weichen die Werte nur marginal voneinander ab, sodass von einer geringen Änderung der Schwerverkehrszusammensetzung ausgegangen werden kann.

Aus den differenzierteren Achslastverteilungen (für die unterschiedlichen Straßenklassen bzw. den

Fern-, Misch- und Nahverkehr auf Autobahnen) leiten sich eindeutige Achslastkollektivquotienten q_{BM} ab. Diese weichen jedoch stark von den Werten der [RStO 12] ab. Es wird vorgeschlagen, analog zur [RDO Asphalt 09] die Achslastkollektivquotienten künftig anhand der oberen Achslast jeder Achslastklasse der zugrundeliegenden Achslastverteilung zu bestimmen. Dies ermöglicht die Wahrung des Sicherheitsniveaus der [RStO 12] für Bundesautobahnen.

Es ergeben sich bezüglich q_{BM} keine dringenden Änderungen für die [RStO 12], bei einer Überarbeitung des Regelwerks sollten die Werte aus Tab. 7-4 mit eingearbeitet werden.

Es wird generell empfohlen, eine genauere Bestimmung des Achslastkollektivs auf der Basis des im Forschungsthema neu entwickelten beschriebenen Verfahrens vorzunehmen. Dabei sind objektspezifisch berechnete Achslastverteilungen bzw. daraus abgeleitete f_A -Werte und q_{BM} -Werte zu verwenden.

8 Einbettung in die Regelwerke

8.1 Einbindung in die RStO

Aus den Forschungsergebnissen ergibt sich kein unmittelbarer Änderungsbedarf für die [RStO]. Es wird empfohlen, keine umgehende Änderung im Regelwerk vorzunehmen, da sich der f_A -Wert und q_{Bm} -Wert nur marginal ändert, sodass mit keinen Änderungen im Dimensionierungsergebnis zu rechnen ist.

Bei einer Neubearbeitung ist eine Einbindung der neuen Werte angebracht und die Tab. 7-2 sowie Tab. 7-4 einzuarbeiten.

8.2 Einbindung der dimensionierungsrelevanten Größen in die RDO und RSO Asphalt

8.2.1 Kalibrierverfahren

Die Veränderungen der verkehrlichen Eingangsgrößen, die in Form überarbeiteter Achslastkollektive vorliegen (siehe Kapitel 4.1), machen eine Neukalibrierung des Berechnungsverfahrens notwendig, da dieses noch auf die Achslastkollektive in den [RDO Asphalt 09] kalibriert ist. Das Ziel der Kalibrierrechnungen besteht in der Ermittlung neuer Sicherheitsbeiwerte bzw. Anpassungsfaktoren für die rechnerische Dimensionierung.

Für die Durchführung der Kalibrierrechnungen wurde das Programm ADtoPave der IDAV GmbH verwendet. Es basiert auf der Mehrschichtentheorie. Das Materialverhalten wird dabei als linear-elastisch angenommen. Die Kalibrierung wird an den Standardaufbauten der [RStO 12] vorgenommen. Dazu werden die standardisierten Aufbauten der [RStO 12] aus den Tafeln 1 und 4 (Zeile 1: Vollgebundener Oberbau in Asphaltbauweise) in ADtoPave modelliert.

Als Verkehrsbelastung für die sieben Belastungsklassen der [RStO 12] wird die jeweils obere Grenze der jeweiligen Belastungsklasse angenommen. Für die Belastungsklasse Bk100 werden als obere Grenze 100 Millionen gewichtete äquivalente Lastwechsel als Verkehrsbelastung angenommen, ab der eine rechnerische Dimensionierung nach den [RDO Asphalt] empfohlen wird. Sie entspricht einer erwarteten Lebensdauer von 30 Jahren. Über den

Lastkollektivquotienten q_{Bm} kann die nutzungszeitspezifische B-Zahl direkt in nutzungszeitspezifische gewichtete Achsübergänge N_A überführt werden. Der bisherigen Vorgehensweise für die Durchführung der Kalibrierungsrechnungen folgend, wird als Lastkollektivquotient der Wert der Kategorie BAB-„Fern“ aus Kapitel 7.2 angesetzt. Sein genauer Wert beträgt $q_{Bm} = 0,323$. Die Gleichung lautet

$$N_A = \frac{B}{q_{Bm}} \quad (8-2-1)$$

mit B als der „dimensionierungsrelevanten Beanspruchung“ nach Anhang 1 der [RStO 12].

Gleichung (8-2-1) ergibt sich direkt aus der in den [RStO 12], Anhang 1 angegebenen Methode 1.2. Hierbei wurden die dort angegebenen Faktoren f_1 , f_2 und f_3 auf den Wert „1“ gesetzt. Diese Verfahrensweise orientiert sich an der Erstkalibrierung des Programmes ADtoPave im Rahmen der Erarbeitung der [RDO Asphalt 09].

Über die Anwendung von Gleichung (8-2-1) wird jeder Bauweisen-Belastungsklassen-Variante der Tafeln 1 und 4 (Zeile 1) der [RStO 12] eine bestimmte Zahl von gewichteten Achsübergängen N_A zugeordnet, für die die Achslastverteilung $p_G(l)$ der Kategorie BAB-„Fern“ (siehe Tab. 4-4) zugrunde gelegt wird. Die Achslastverteilung liegt für 16 Achslastklassen ($l=1:16$) in 1 t-Schritten vor. Für die Häufigkeitsverteilung gilt:

$$\sum_{l=1}^{16} p_G(l) = 1$$

Für die Kalibrierungsrechnungen bedeutet das, dass pro Variante der Tafeln 1 und 4 (Zeile 1) 16 verschiedene verkehrliche Belastungsfälle berücksichtigt werden müssen. Zudem fließen verschiedene klimatische Belastungsfälle in Form unterschiedlicher Oberflächentemperaturen und Temperaturverläufe (Temperaturprofile) in die Berechnungen ein. Es gibt 13 Temperaturklassen für die Oberflächentemperatur (TOF) von $-12,5$ °C bis $47,5$ °C und 12 verschiedene Temperaturprofile – sogenannte „normierte charakteristische Temperaturprofile“ (nCT), die die Temperaturverläufe innerhalb des Aufbaus charakterisieren.

Theoretisch gibt es also $13 \times 12 = 156$ verschiedene klimatische Beanspruchungskombinationen. Nicht alle Kombinationen kommen jedoch in der Praxis vor. So kommt beispielsweise das charakteristische Temperaturprofil nTC10 nicht bei einer Oberflächentemperatur TOF von $-12,5$ °C zum Tragen. Relevant für die Kalibrierrechnungen sind 113 Kombinationen, die mit der relativen Häufigkeit $p_K(k)$, $k =$

1: 113, innerhalb der Lebensdauer einer Straße vorkommen. Analog zu der verkehrlichen Häufigkeitsverteilung gilt:

$$\sum_{k=1}^{113} p_K(k) = 1$$

Verkehr und Klima zusammengenommen ergeben damit $113 \times 16 = 1.808$ verschiedene Belastungsszenarien pro Variante der Tafeln 1 und 4 (Zeile 1), die in den Berechnungen abgebildet werden müssen. Die Anzahl der Achsübergänge $N_A(k, l)$ für das Belastungsszenario (k, l) beträgt dann

$$N_A(k, l) = N_A \cdot p_K(k) \cdot p_G(l) \quad (8-2-2)$$

$$\text{mit } N_A = \sum_{k=1}^{113} \sum_{l=1}^{16} N_A(k, l)$$

Jedem Belastungsfall (k, l) wird über ein Ermüdungskriterium eine maximal zulässige Anzahl an Achsübergängen $zul N_A(k, l)$ zugeordnet. Die Konstruktion gilt als ausreichend bemessen, wenn nach der Hypothese von Miner

$$\sum_{Miner} = \sum_{k=1}^{113} \sum_{l=1}^{16} \frac{N_A(k, l)}{zul N_A(k, l)} \leq 1 \quad (8-2-3)$$

gilt. Die maximal zulässige Anzahl von Achsübergängen $zul N_A(k, l)$ für jeden Belastungsfall wird aus der elastischen Biegezugdehnung $\varepsilon_{el}(k, l)$ an der Unterseite der Asphalttragschicht bestimmt. Die Vorgehensweise ist dabei wie folgt:

- Aufbau der gewählten Variante aus Tafel 1 bzw. Tafel 4 (Zeile 1) als Mehrschichtmodell
- Festlegung der Materialeigenschaften der einzelnen Schichten. Für die Asphaltsschichten wird dabei der „Kalibrierasphalt“ nach Kapitel 8.2.4 angesetzt, für den eine Belastungsfrequenz von 10 Hz angenommen wird.
- Beaufschlagung des Mehrschichtmodells (statisch) mit dem jeweiligen Belastungsfall (k, l) , d. h. mit der Achslast $G(k, l)$ und den dazugehörigen klimatischen Bedingungen $K(k, l)$ bestehend aus den jeweiligen Oberflächentemperaturen und Temperaturverläufen durch die einzelnen Schichten des Aufbaus.
- Berechnung der Verformungen unter zusätzlicher Berücksichtigung kryogener (thermisch induzierter) Zugspannungen
- Ermittlung der elastischen Biegezugdehnung $\varepsilon_{el}(k, l)$ an der Unterseite der Asphalttragschicht als maßgebendem Nachweispunkt für die Kalibrierung
- Berechnung der maximal zulässigen Anzahl an Achsübergängen $zul N_A(k, l)$, die die betrachtete

Aufbauvariante unter dieser Belastung $G(k, l)$, $K(k, l)$ ertragen kann, bis es zum Versagen durch Ermüdungsbruch kommt. Hierbei kommt folgende Ermüdungsfunktion zur Anwendung:

$$zul N_A(k, l) = 2,8283 \cdot \varepsilon_{el}(k, l)^{-4,194} \quad (8-2-4)$$

Gleichung (8-2-4) ist eine im Labor bestimmte Ermüdungsfunktion, die über einen Anpassungsfaktor AF an die Ermüdungsfunktion der fertigen Konstruktion angepasst werden muss, weil eine Straße unter realem Verkehr viel mehr Lastwechsel erträgt als ein Asphaltprobekörper im Spaltzug-Schwellversuch, der der Ermüdungsfunktion zugrunde liegt. Gleichung (8-2-4) wird also wie folgt erweitert:

$$zul N_A(k, l) = AF \cdot 2,8283 \cdot \varepsilon_{el}(k, l)^{-4,194} \quad (8-2-5)$$

Für die Kalibrierung wird angenommen, dass bei Erreichen der Gesamtzahl N_A der Achsübergänge gerade der Ermüdungsstatus 100 % bzw. „1“ erreicht ist. Damit lautet die Kalibrierbedingung:

$$\sum_{Miner} = \frac{1}{AF} \sum_{k=1}^{113} \sum_{l=1}^{16} \frac{N_A(k, l)}{2,8283 \cdot \varepsilon_{el}(k, l)^{-4,194}} = 1 \quad (8-2-6)$$

Der Anpassungsfaktor AF hängt mit dem in den RDO Asphalt 09 definierten Sicherheitsbeiwert F über den Shiftfaktor SF zusammen, der das allgemeine Verhältnis der Ermüdungsfunktion fertiger Straßenkonstruktionen in Asphaltbauweise zu der im Labor durch den Spaltzug-Schwellversuch ermittelten Ermüdungsfunktion abschätzt. Der Shiftfaktor ist nach den RStO mit $SF=1.500$ anzunehmen. Der Zusammenhang lautet:

$$AF = SF/F \quad (8-2-7)$$

Die Kalibrierbedingung kann damit alternativ auch mittels des Sicherheitsbeiwertes F angegeben werden:

$$\sum_{Miner} = \frac{F}{SF} \sum_{k=1}^{113} \sum_{l=1}^{16} \frac{N_A(k, l)}{2,8283 \cdot \varepsilon_{el}(k, l)^{-4,194}} = 1 \quad (8-2-8)$$

Im Rahmen der Neukalibrierung sollten aktualisierte Sicherheitsbeiwerte F bzw. Anpassungsfaktoren AF ermittelt werden.

Nachfolgend wird noch einmal näher auf die Eingangsgrößen und die Parametrisierung des Mehrschichtenmodells für die Kalibrierung eingegangen.

8.2.2 Klimatische Eingangsgrößen

TOF [°C]	Häufigkeiten [%]											
	ncT1	ncT2	ncT3	ncT4	ncT5	ncT6	ncT7	ncT8	ncT9	ncT10	ncT11	ncT12
-12,5	0,003	0,12	0,053				0,006					
-7,5	0,162	1,499	0,212			0,011	0,053	0,005				
-2,5	1,592	6,178	0,72	0,021	0,006	0,053	0,196	0,039				0,001
2,5	4,621	9,456	1,524	0,087	0,05	0,189	0,473	0,199			0,001	0,016
7,5	5,147	7,86	2,746	0,262	0,178	0,441	0,809	0,588			0,016	0,078
12,5	3,561	5,083	3,76	0,554	0,444	0,742	1,156	1,298	0,003	0,004	0,074	0,231
17,5	1,867	2,32	2,744	0,974	0,83	1,039	1,01	1,758	0,027	0,03	0,235	0,512
22,5	0,729	0,466	0,92	1,411	1,16	0,982	0,328	1,084	0,096	0,128	0,541	0,707
27,5	0,134	0,051	0,25	1,469	1,368	0,483	0,015	0,207	0,255	0,378	0,862	0,433
32,5	0,004		0,033	0,948	0,96	0,103		0,004	0,492	0,8	0,82	0,086
37,5				0,334	0,365	0,004			0,612	1,189	0,427	0,001
42,5				0,055	0,033				0,414	1,01	0,123	
47,5				0,001					0,174	0,613	0,011	

Tab. 8-1: Auftretenshäufigkeiten der Oberflächentemperaturklassen in Abhängigkeit der normierten Charakteristischen Temperaturprofile – gemittelt über alle Temperaturzonen

Die Abbildung der relevanten Temperaturbedingungen in den einzelnen Asphalt-schichten erfolgt mit Hilfe von zwölf normierten charakteristischen Temperaturprofilen (ncT's) entsprechend dem Arbeitspapier „Eingangsgößen für die rechnerische Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz“. Für die Berechnung der Sicherheitsbeiwerte bzw. Anpassungsfaktoren wurde eine Häufigkeitsverteilung verwendet, die den mittleren Häufigkeiten der einzelnen Temperaturzonen entspricht. In Tab. 8-1 sind die Auftretenshäufigkeiten in Abhängigkeit des jeweiligen charakteristischen Temperaturprofils und der Oberflächentemperatur aufgelistet.

8.2.3 Verkehrliche Eingangsgößen

Belastungs-kategorie	Oberer Grenze der B-Zahl der Belastungs-kategorie	Achsübergänge (N_A)	Zugeordneter DTV ^(SV) bei $f_a=4,0$
BK100	100.000.000	309.597.523	7.068
BK32	32.000.000	99.071.207	2.262
BK10	10.000.000	30.959.752	707
BK3,2	3.200.000	9.907.121	226
BK1,8	1.800.000	5.572.755	127
BK1,0	1.000.000	3.095.975	71
BK0,3	300.000	928.793	21

Tab. 8-2: Oberer Grenze der B-Zahl (äquivalente 10-Achsübergänge) je Belastungskategorie sowie daraus resultierende Achsübergänge (N_A) bei einem Lastkollektivquotienten von $q_{BM}=0,323$

Über Gleichung (8-2-1) wurden aus der B-Zahl die in Tab. 8-2 aufgeführten Achsübergänge (N_A) berechnet. Den Berechnungen liegt ein Lastkollektivquotient $q_{BM} = 0,323$ zugrunde. Zusätzlich ist ein zugehöriger DTV^(SV) aufgeführt, der auf einer Nutzungsdauer von 30 Jahren basiert und auf der vereinfachenden Annahme beruht, dass jedes Schwerverkehrs-Fahrzeug über vier Achsen verfügt.

8.2.4 Materialkennwerte

Für die Berechnung der Beanspruchungen in der Oberbaukonstruktion infolge der Belastungen aus Verkehr und Klima werden die charakteristischen bzw. dimensionierungsrelevanten Materialkennwerte benötigt. Das charakteristische Materialverhalten von Asphaltmaterialien wird hierbei über die Hauptkurve des absoluten E-Moduls sowie die dehnungsabhängige Ermüdungsfunktion beschrieben. Für alle weiteren Materialien wird ein E-Modul bzw. Schichtmodul in Ansatz gebracht.

Hauptkurve des Absoluten E-Moduls

Für die Kalibrierrechnungen werden die Materialkennwertfunktionen der Kalibrierasphalte verwendet. Als Ansatzfunktion dient hierbei der funktionale Zusammenhang aus Gleichung (8-2-9) und (8-2-10), welcher auch im Entwurf der TP Asphalt Teil 26 Verwendung findet. Die Parameter der Hauptkurve der Kalibrierasphalte sind dem aktuellen Stand der überarbeiteten Fassung der RDO Asphalt bzw. der RSO Asphalt entnommen.

$$|E|_i = |E|_{\min} + \frac{|E|_{\max} - |E|_{\min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x_i^* + b_0)}} \quad (8-2-9)$$

mit

$$x_i^* = \log_{10} \cdot \left(e^{m \cdot \left(\frac{1}{T_i + 273,15} - \frac{1}{T_R + 273,15} \right)} \cdot f_i \right) \quad (8-2-10)$$

$ E _{\min}, E _{\max}$	Grenzwerte des absoluten E-Moduls
$ E _i$	absoluter E-Modul
T_R	Referenztemperatur
T_i	Temperatur
f_i	Frequenz
m	Parameter für Temperaturshift
b_1, b_0	Regressionsparameter
x_i^*	beliebiger Abszissenwert bestimmt über die Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

	Asphalt-deckschicht	Asphaltbin-derschicht	Asphalttrag-schicht
E_{\min} [N/mm ²]	0	0	0
E_{\max} [N/mm ²]	27.830	31.308	29.053
b_1 [-]	-0,7476	-0,786	-0,6706
b_0 [-]	2,3571	1,8773	2,2713
T_R [°C]	20	20	20
m [-]	25.000	25.000	25.000

Tab. 8-3: Parameter der Hauptkurve der Kalibrierasphalte

In Tab. 8-3 sind die Parameter der Hauptkurve der Kalibrierasphalte sowie in Bild 8-1 die grafische Darstellung aufgeführt.

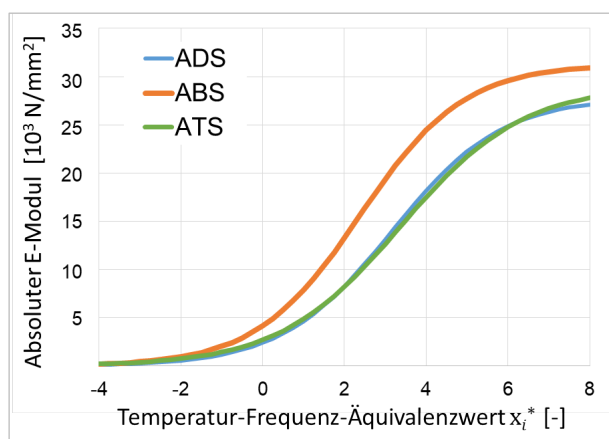


Bild 8-1: Hauptkurve des absoluten E-Moduls der Kalibrierasphalte

Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht

Für die Beschreibung des Ermüdungsverhaltens der Asphaltmaterialien dient der funktionale Zusammenhang aus Gleichung (8-2-11) entsprechend dem Entwurf der TP Asphalt Teil 24.

$$N_{\text{Makro}} = a_1 \cdot \varepsilon_{\text{el,Anf}}^{a_2} \quad (8-2-11)$$

$\varepsilon_{\text{el,Anf}}$	elastische Anfangsdehnung
N_{Makro}	max. ertragbare Lastwechselzahl
a_1, a_2	Regressionsparameter

Da der maßgebende Nachweispunkt für die Asphaltmaterialien bei Anwendung der RDO Asphalt in der Regel die Unterseite der Asphalttragschicht darstellt, wird für die Kalibrierasphalte nur die Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht angegeben. Die Parameter sind in Tab. 8-4 aufgeführt. Die grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht ist in Bild 8-2 enthalten.

a_1	a_2
2,8283	-4,1940

Tab. 8-4: Parameter der Ermüdungsfunktion des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht

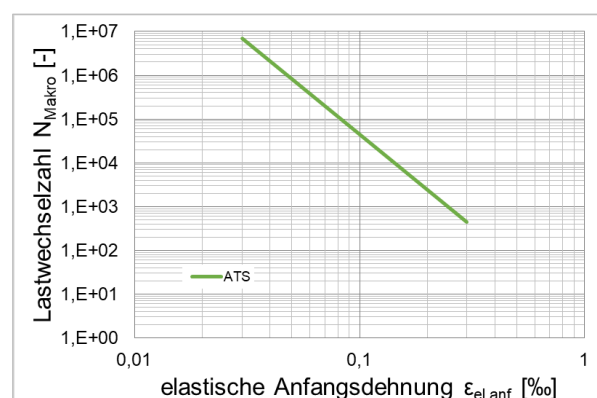


Bild 8-2: Ermüdungsfunktion des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht

Kälteverhalten der Asphalttragschicht

Zur Beschreibung des Kälteverhaltens von Asphaltmaterialien dient die Ansatzfunktion nach Gleichung (8-2-12). Basierend auf diesem funktionalen Zusammenhang können in Abhängigkeit der Temperatur die entstehenden kryogenen (thermisch bedingten) Zugspannungen berechnet werden. Mit Kenntnis des E-Moduls können hieraus kryogene Dehnungen berechnet werden, die im Berechnungsprozess nach den RDO Asphalt für Temperaturen $T \leq 5 \text{ °C}$ bei jedem zweiten Lastwechsel berücksichtigt werden.

$$\sigma_{\text{kryo}} = c_1 \cdot T^4 + c_2 \cdot T^3 + c_3 \cdot T^2 + c_4 \cdot T + c_5 \quad (8-2-12)$$

σ_{kryo}	kryogene (thermisch induzierte) Spannung
T	Temperatur
$c_1 \dots c_5$	Regressionsparameter

C ₁	C ₂	C ₃
-2,52E-06	9,22E-06	0,00346521
C ₄	C ₅	
-0,07283342	0,40030528	

Tab. 8-5: Parameter zum Kälteverhalten des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht

Das Kälteverhalten der Asphaltmaterialien wird im Berechnungsprozess nach den RDO Asphalt nur für den maßgebenden Nachweispunkt berücksichtigt. Da sich dieser in der Regel an der Unterseite der untersten Asphalttragschicht befindet, werden für die Kalibrierasphalte nur die Parameter zum Kälteverhalten für die Asphalttragschicht angegeben. In Tab. 8-5 sind die zugehörigen Parameter nach Gleichung (8-2-12) aufgeführt.

In Bild 8-3 ist basierend auf Gleichung (8-2-12) und unter Verwendung der Parameter aus Tab. 8-5 der

Zusammenhang zwischen Temperatur und kryogener Zugspannung für den Kalibrierasphalt der Asphalttragschicht dargestellt.

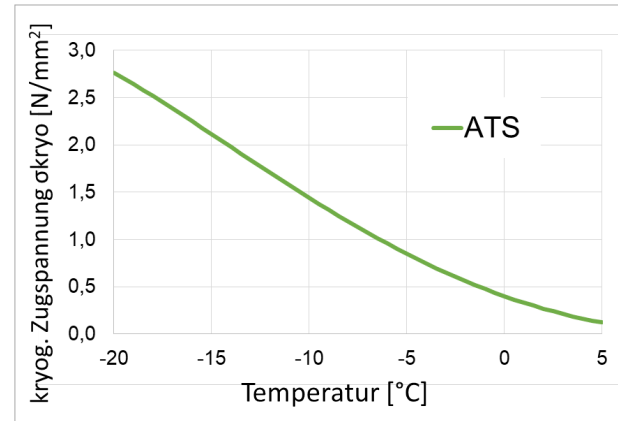


Bild 8-3: kryogene Zugspannungen des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht

	Schichtart	Zeile lt. RStO 12	Gewählter Schichtmodul [N/mm ²]	Querdehnzahl [-]
1	Schicht aus frostunempfindlichem Material (weit- oder intermittierend gestuft)	2.2	100	0,5
2	Schicht aus frostunempfindlichem Material (enggestuft)	2.3	50	0,5
3	Schicht aus frostunempfindlichem Material	5	75	0,5
4	Frostschuttschicht nach ZTV SoB-StB	1, 2.1, 3, 4	150	0,5
5	Kiestragschicht nach ZTV SoB-StB	3, 5	200	0,5
6	Schottertragschicht nach ZTV SoB-StB	4, 5	325	0,5
7	Boden	1 bis 5	45	0,5
8	HGT / Verfestigung	2.1 bis 2.3	2.000	0,25
9	Asphaltmaterialien	1 bis 5	temperatur- und frequenz-abhängig	0,35

Tab. 8-6: Materialeigenschaften für ungebundene Schichten (SoB), Böden und Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln

Weitere Materialeigenschaften

Entsprechend Tafel 1 der [RStO 12] werden unterhalb des Asphaltpaketes weitere Schichten aus ungebundenen Materialien (SoB), Schichten mit hydraulischen Bindemitteln, Verfestigungen und Bodenmaterial angeordnet. Die für diese Schichten in Ansatz gebrachten Materialparameter sind in Tab. 8-6 entsprechend der zugehörigen Zeile der Tafel 1 nach den [RStO 12] aufgeführt.

8.2.5 Konstruktionsaufbauten

Die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus ist auch für die rechnerischen Dimensionierungsverfahren entsprechend den [RStO 12] festzulegen. Für die Kalibrierrechnungen wurden die in Tab. 8-7 aufgeführten Mindestdicken des frostsicheren

Oberbaus entsprechend der jeweiligen Belastungskategorie gewählt. Unter Berücksichtigung der Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus sind in Tab. 8-8 die für die Berechnungen verwendeten Schichtdicken für die jeweiligen Aufbauvarianten der Tafel 1 der [RStO 12] aufgeführt. Die Konstruktionsaufbauten nach Zeile 5 der Tafel 1 der [RStO 12] wurden in zwei Untervarianten unterteilt. Entsprechend Zeile 5 der Tafel 1 der [RStO 12] können Schotter- oder Kiestragschichten mit unterschiedlichen Mindestdicken verwendet werden. Dies wurde in den zwei Untervarianten (5.1 und 5.2) berücksichtigt.

Belastungsklasse	BK100 bis BK10	BK3,2 bis BK1,0	BK0,3
Dicke des frostsiche- ren Oberbaus	85 cm	75 cm	65 cm

Tab. 8-7: Dicke des frostsicheren Oberbaus

Zeile 1	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	220	180	140	120	160	140	100
FSS	510	550	590	530	550	570	510
Σ fsOB	850	850	850	750	750	750	650

Zeile 2.1	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40				
ABS	80	80	80				
ATS	140	100	80				
HGT	150	150	150				
FSS	440	480	500				
Σ fsOB	850	850	850				

Zeile 2.2	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	180	140	100	100	120	100	100
VFG	150	150	150	150	150	150	150
SafuM (wig)	400	440	480	400	440	460	360
Σ fsOB	850	850	850	750	750	750	650

Zeile 2.3	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	180	140	100	100	120	100	100
VFG	200	200	200	200	150	150	150
SafuM (eg)	350	390	430	350	440	460	360
Σ fsOB	850	850	850	750	750	750	650

Zeile 3	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	180	140	100	100	120	100	80
STS	150	150	150	150	150	150	150
FSS	400	440	480	400	440	460	380
Σ fsOB	850	850	850	750	750	750	650

Zeile 4	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	180	140	100	100	120	100	80
STS	200	200	200	200	200	200	200
FSS	350	390	430	350	390	410	330
Σ fsOB	850	850	850	750	750	750	650

Zeile 5.1	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	180	140	100	100	120	100	80
STS	300	300	300	300	300	300	250
SafuM	250	290	330	250	290	310	280
\sum fsOB	850	850	850	750	750	750	650

Zeile 5.2	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60			
ATS	180	140	100	100	120	100	80
KTS	400	400	400	400	300	300	300
SafuM	150	190	230	150	290	310	230
\sum fsOB	850	850	850	750	750	750	650

vgOB	BK100	BK32	BK10	BK3,2	BK1,8	BK1,0	BK0,3
ADS	40	40	40	40	40	40	40
ABS	80	80	80	60	60		
ATS	340	300	260	260	240	260	220
\sum	460	420	380	360	340	300	260

Tab. 8-8: Dicken [mm] der einzelnen Befestigungsschichten aller untersuchten Befestigungsvarianten und Belastungsklassen nach den RStO 12, Tafel 1

ADS – Asphaltdeckschicht
 ABS – Asphaltbinderschicht
 ATS – Asphalttragschicht
 FSS – Frostschuttschicht
 HTG – Hydraulisch gebundene Tragschicht
 VFG – Verfestigung
 SatuM (wig) – Schicht aus frostunempfindlichem Material (weit oder intermittierend gestuft)
 SatuM (eg) – Schicht aus frostunempfindlichem Material (eng gestuft)
 FSG – Schottertragschicht
 vgOB – voll gebundener Oberbau
 fsOB – frostsicherer Oberbau

Des Weiteren wurden die Kalibrierrechnungen auch für den vollgebundenen Oberbau (vgOB) in Asphaltbauweise ([RStO 12], Tabelle 4) durchgeführt. Die

zugehörigen Schichtdicken sind gleichfalls in Tab. 8-8 aufgeführt.

8.2.6 Ergebnisse der Kalibrierrechnungen

In Tab. 8-9 sind die berechneten Anpassungsfaktoren für alle Aufbauvarianten der Tafel 1 der [RStO 12] über alle Belastungsklassen aufgeführt. Eine grafische Darstellung ist in Bild 8-3 enthalten.

In Tab. 8-10 sind die sich aus den Anpassungsfaktoren ergebenden neuen Sicherheitsbeiwerte für alle untersuchten Aufbauvarianten nach den [RStO 12] aufgeführt. Eine grafische Darstellung der neuen Sicherheitsbeiwerte über alle Belastungsklassen findet sich in Bild 8-5 wieder. Das Regelwerk wird derzeit entsprechend der neuen Anpassungswerte bzw. Sicherheitswerte aktualisiert.

Zeile der Tafel 1	BK 100	BK 32	BK 10	BK 3,2	BK 1,8	BK 1,0	BK 0,3
1	1207	878	670	666	711	693	760
2.1	5464	4088	1943				
2.2	2624	1995	1526	861	1245	1023	331
2.3	2304	1704	1244	632	1662	1412	425
3	3068	2444	2031	1302	2447	2401	1445
4	3252	2649	2264	1463	2905	2950	1845
5.1	2925	2358	1966	1123	2004	1888	1243
5.2	2938	2408	2027	1190	3037	3100	1725

vgOB *)	160	99	65	33	28	44	37
---------	-----	----	----	----	----	----	----

*) vollgebundener Oberbau nach den [RStO 12], Tafel 4, Zeile 1

Tab. 8-9: Anpassungsfaktoren AF

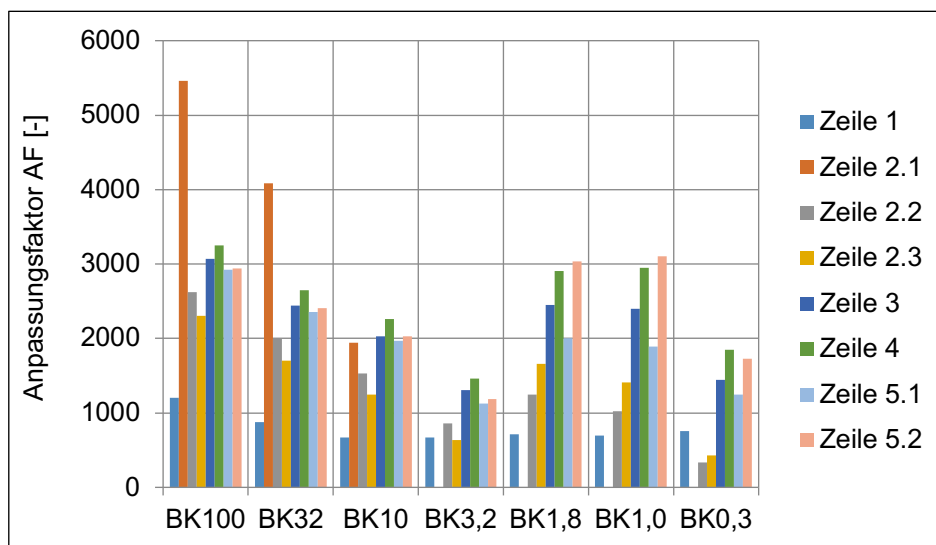


Bild 8-4: Anpassungsfaktor AF

Zeile der Tafel 1	BK 100	BK 32	BK 10	BK 3,2	BK 1,8	BK 1,0	BK 0,3
1	1,24	1,71	2,24	2,25	2,11	2,16	1,97
2.1	0,27	0,37	0,77				
2.2	0,57	0,75	0,98	1,74	1,20	1,47	4,53
2.3	0,65	0,88	1,21	2,37	0,90	1,06	3,53
3	0,49	0,61	0,74	1,15	0,61	0,62	1,04
4	0,46	0,57	0,66	1,03	0,52	0,51	0,81
5.1	0,51	0,64	0,76	1,34	0,75	0,79	1,21
5.2	0,51	0,62	0,74	1,26	0,49	0,48	0,87

vgOB *)	9,38	15,15	23,08	45,45	53,57	34,09	40,54
---------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

*) vollgebundener Oberbau nach den RStO 12, Tafel 4, Zeile 1

Tab. 8-10: Sicherheitsbeiwert F bei Shiftfaktor=1.500

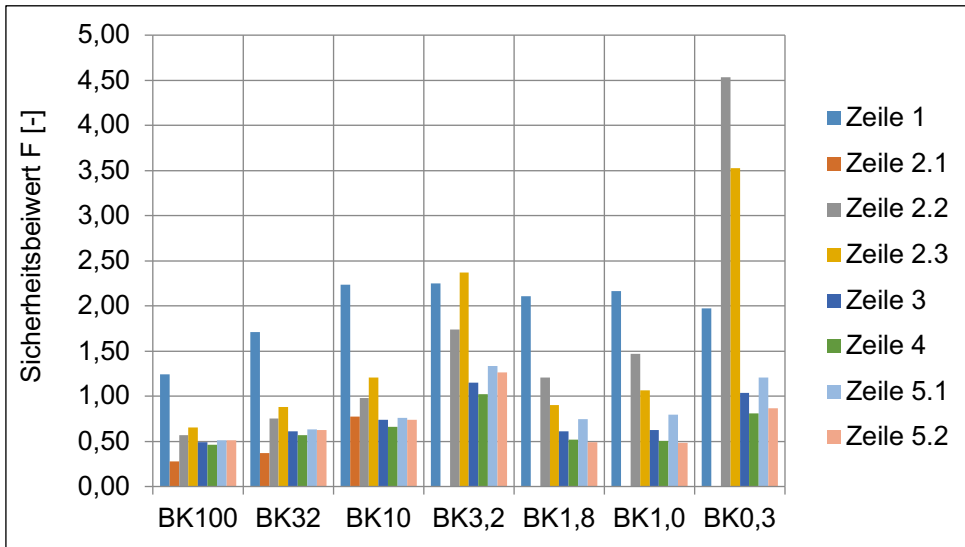


Bild 8-5: Sicherheitsfaktor F bei Schifffaktor=1.500

8.3 Einbindung in die bestehende RDO Beton

Es wird empfohlen, nachfolgende Änderungen in den Regelwerken im Verlauf der nächsten Überarbeitung vorzunehmen. Zur Bewertung der Dringlichkeit siehe Kapitel 8.6.

8.3.1 Ableitung der Lastkollektivquotienten q_{Bb} für die RDO Beton

Lastkollektivquotienten für die rechnerische Dimensionierung von Betonfahrbahnen sind als Mittelwerte definiert.

Die Berechnung des Faktors q_{Bb} unterscheidet sich von der Berechnung des Faktors q_{Bm} ausschließlich durch die Verwendung abweichender Bezugsachslasten. Während für die Berechnung von q_{Bm} generell eine 10 t Bezugsachslast gilt, sind entsprechend [RDO Beton 09] für q_{Bb} 9 t (BAB und Bundesstraßen) bzw. 7 t (Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen) anzusetzen. Entsprechend sind für die Berechnung des Lastkollektivquotienten q_{Bb} nur Werte für die Bezugsachslasten in Gleichung (7-2-1) zu ändern. Es gilt:

$$q_{Bb} = \sum_{k=1}^{n_k} \left(h_k \cdot \left(\frac{L_k}{L_b} \right)^4 \right) \text{ mit } h_k := p^*(k) \tag{8-3-1}$$

- k := Achslastklasse
- n_k := Anzahl der vorh. Achslastklassen (16)
- L_k := repräsentative Achslast der Achslastklasse k
- L_b := Bezugsachslast [RDO Beton 09] (7 oder 9 t)
- h_k := relative Häufigkeit der Achslastklasse k
- $p^*()$:= dimens. relevante Achslastverteilung

Werden anstelle von Achslastklassen stetige Verteilungsfunktionen verwendet, gilt analog:

$$q_{Bb} = \int_0^\infty f(AL) \cdot \left(\frac{AL}{L_b} \right)^4 dAL \tag{8-3-2}$$

AL := Achslast

Die Auswertung von Gleichung (8-3-1) führte zu den in Tab. 8-11 zusammengefassten q_{Bb} -Werten. Dabei wurden für die Bundesautobahnen die Achslastverteilungswerte aus Tab. 4-4 zu Grunde gelegt, für die Bundes- und Landesstraßen die Werte aus Tab. 4-5.

Die in Tab. 8-11 aufgeführten Vergleichswerte beziehen sich auf die RDO Beton in der Fassung aus der letzten redaktionellen Überarbeitung im Jahr 2018. Es ist ersichtlich, dass die q_{Bb} -Werte für Bundesautobahnen gut mit den in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Werten übereinstimmen. Für Bundesstraßen und Landesstraßen gibt es moderate Abweichungen.

Lastkollektivquotient q_{Bb}		BAB	B-Str.	L-Str.
nach RDO	Tab. 7.1	0,50	0,49	0,95
nach AMS+DZ	"Fern"	0,49	0,44	1,07
	"Misch"	0,47		
	"Nah"	0,42		

Tab. 8-11: Lastkollektivquotienten q_{Bb} im Vergleich mit den Werten aus [RDO Beton 09]

8.3.2 Ableitung der Lastfaktoren γ_{E2} , γ_{E3} für die RDO Beton

Die Lastfaktoren γ_{E2} und γ_{E3} dienen im Berechnungssystem der [RDO Beton 09] dazu, die Berechnungsrastlast für den jeweiligen Grenzzustand

zu definieren. Der Faktor γ_{E2} wird dabei für normalen Straßenverkehr angewendet, γ_{E3} bezieht sich auf Sonderlasten.

Die Berechnungsraddlast wird jeweils berechnet, indem die Lastfaktoren mit einer Normraddlast (50 kN) multipliziert werden. Damit können γ_{E2} und γ_{E3} als Teilsicherheitsfaktoren in einem semi-probabilistischen Sicherheitssystem angesehen werden.

Für die Berechnungsraddlast gelten innerhalb der [RDO Beton 09], in Abhängigkeit vom Berechnungsfall folgende Festlegungen ([RDO Beton 09], Anhang A1):

- Quasi-dynamischer Lastfall (GZT): extreme Last, die nur in seltenen Fällen auftritt
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG): Median der Achslast in den oberen 5 % der auftretenden Achsen
- Ermüdungsnachweis: oberes 10 %-Quantil der auftretenden Achslasten

Die Definition für den quasi-dynamischen Lastfall ist unscharf und entzieht sich damit einer exakten numerischen Überprüfung.

Um ein gleichmäßiges Sicherheitsniveau für alle Dimensionierungen zu erreichen, müsste die anzusetzende extreme Achslast so definiert sein, dass sie jeweils mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintritt. Wie in Abschnitt 4.2.1 erläutert, ist die Wahrscheinlichkeit für eine extreme Achslast über die Extremwertverteilung gegeben. Die Lage der Extremwertverteilung ist von der Anzahl der betrachteten Achsübergänge abhängig. Bei einer hohen B-Zahl liegt die extreme Achslast bei gleicher Eintretenswahrscheinlichkeit höher als bei einer niedrigen B-Zahl. Der Lastfaktor γ_{E2} müsste demnach in Abhängigkeit von der B-Zahl definiert werden. Dafür wäre eine Referenz-B-Zahl zu definieren, für die ein festzulegender Normlastfaktor gilt. Für die zugehörige Achslast wäre auf der Basis der Extremwertverteilung die Wahrscheinlichkeit dafür zu bestimmen, dass es sich um die extreme Achslast handelt. Anschließend können die Achslasten ermittelt werden, welche bei abweichenden B-Zahlen mit gleicher Wahrscheinlichkeit als extreme Achslasten auftreten.

Diese grundsätzliche Vorgehensweise wurde im zuständigen FGSV-Arbeitskreis 4.5.7 diskutiert und als zu kompliziert verworfen. Entsprechende Beispielrechnungen haben darüber hinaus ergeben,

dass die Auswirkungen auf das Dimensionierungsergebnis marginal sind. Es bleibt damit bei der vorhandenen Definition für den Lastfaktor γ_{E2} .

Beim Lastfaktor für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis ist eine Vereinfachung möglich. Der Medianwert für das obere 5 %-Quantil der auftretenden Achslasten entspricht dem 2,5 %-Quantil. Der entsprechende Achslastwert lässt sich mit hinreichender Genauigkeit aus den in Tab. 4-4 bzw. Tab. 4-5 angegebenen Lastklassenwerten gewinnen. Dafür ist zwischen den Achslastklassenwerten zu interpolieren, welche sich jeweils über bzw. unter dem oberen 2,5 %-Quantil befinden. Der Lastfaktor ergibt sich als Quotient aus dem durch die Interpolation ermittelten Achslastwert und der Normachslast von 10 t. Die Bestimmung des Lastfaktors für den Ermüdungsfall (10 %-Quantil), kann analog erfolgen.

Der Lastfaktor γ_{E3} dient zur Berechnung der Dimensionierungsraddlast bei Sonderfahrzeugen. Diese können naturgemäß sehr unterschiedlich sein. Oftmals sind diese Lasten bestimmten Sonderverkehrsflächen (z. B. Containerstellplätze, Flugverkehrsflächen u. ä.) zugeordnet. Die betreffenden Achslasten sind deshalb nicht in den hier untersuchten Daten enthalten. Die in Abschnitt 4.3 bestimmte Achslastverteilung bezieht sich ausschließlich auf Sonderfahrzeuge, welche öffentliche Straßen benutzen. Diese sind aber gewöhnlich aufgrund des geringen Anteils am Schwerverkehr nicht dimensionierungsrelevant.

In den RDO Beton wurde der Faktor g_{E3} eingeführt, um die Dimensionierung von Sonderverkehrsflächen zu ermöglichen. Entsprechend gibt es auch keine fest zugeordneten Werte, sondern es wird auf die maximal auftretenden Achslasten verwiesen. Eine Überprüfung an Hand der hier ausgewerteten Achslastdaten ist deshalb nicht möglich.

Die Ermittlung der γ_{E2} -Werte entsprechend der unter Abschnitt 8.3.2 beschriebenen Vorgehensweise liefert die in Tab. 8-12 und Tab. 8-13 dargestellten Werte.

Für den Lastfall GZG (Tab. 8-12), welcher ohnehin eine untergeordnete Rolle spielt, können alle RDO Beton-Werte als bestätigt gelten. Den Ermüdungsfall betreffend (Tab. 8-13), sollte lediglich der γ_{E2} -Wert für die Landstraßen bei einer zukünftigen Überarbeitung präzisiert werden.

Lastfaktor γ_{E2} für den GZG		BAB	B-Str.	L-Str.
nach RDO	Tab. 6.6	1,15	1,1	1,0
nach AMS+DZ	"Fern"	1,12	1,11	1,10
	"Misch"	1,11		
	"Nah"	1,10		

Tab. 8-12: Lastfaktor γ_{E2} für den GZG im Vergleich mit den Werten aus [RDO Beton 09]

Lastfaktor γ_{E2} für den Ermüdungslastfall		BAB	B-Str.	L-Str.
nach RDO	Tab. 6.6	0,9	0,9	0,7
nach AMS+DZ	"Fern"	0,89	0,87	0,86
	"Misch"	0,88		
	"Nah"	0,86		

Tab. 8-13: Lastfaktor γ_{E2} für den Ermüdungslastfall im Vergleich mit den Werten aus [RDO Beton 09]

8.4 Einbindung in die neu zu erarbeitenden RDO und RSO Beton

Zukünftige Regelwerke für die Dimensionierung bzw. Substanzbewertung von Betonstraßen sollen probabilistische Berechnungen [Heft 1072] beinhalten. Hier werden für die Lastannahmen nicht repräsentative Lasten (Berechnungslasten) verwendet, sondern die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Lasten.

Vorteilhaft ist die Benutzung der Verteilungsfunktionen, weil diese allein durch die Parameterwerte vollständig bestimmt sind.

Die Verkehrslasten werden hierbei durch

- die repräsentativen fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen $p_s(t)$ der Schwerverkehrsklassen s
- die repräsentative Achsanzahlen A_s der Schwerverkehrsklassen
- den streckenspezifischen normierten Schwerverkehrsanteile \overline{N}_s entsprechend der DZ oder Silhouettenerhebungen
- und den DTV^(SV) vollständig beschrieben.

Die Berechnung der lastfallspezifischen Berechnungslasten entfällt. Damit sind die hierfür definierten Lastfaktoren γ_{E2} und γ_{E3} obsolet. Sie können im probabilistischen Berechnungssystem ersatzlos entfallen.

Gleiches gilt für den Faktor q_{Bb} . Die B-Zahl wird unter Verwendung der konkret vorhandenen Lastklassen berechnet. Die entsprechende Gleichung ist aber auch schon in den aktuellen [RDO Beton 09] enthalten, um die Verwendung beliebiger Lastkollektive zu ermöglichen. Bei entsprechender Gestaltung des Ermüdungsnachweises kann selbst die Berechnung der B-Zahl entfallen. Eine entsprechende Umgestaltung der Nachweisformate ist erstrebenswert, weil damit die Anwendung der problematischen 4.-Potenz-Regel entfallen würde.

8.4.1 Achslastverteilungsfunktionen für künftige Versionen der RDO und RSO Beton

Die streckenspezifische Achslastverteilungsfunktion

$$p(L) = \sum_{s=1}^4 p_s(L) \cdot \overline{N}_s \cdot A_s \tag{8-4-1}$$

ist aus den repräsentativen schwerverkehrsklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen

$$p_s(L) = \sum_{j=1}^3 \alpha_j \cdot \log N_j(\mu_j, \sigma_j) \tag{8-4-2}$$

- α_j := Wichtungsfaktor
- $\log N_j(\mu_j, \sigma_j)$:= logarithmische Normalverteilung
- L := Achslast

entsprechend der streckenspezifischen Schwerverkehrszusammensetzung, die sich aus den streckenspezifischen normierten Schwerverkehrsanteilen

$$\overline{N}_s = \frac{N_s}{N} \tag{8-4-3}$$

- N_s := Anz. erfasste Fzg. der SV – Klasse s auf dem HFS
- N := Anz. erfasste Fzg. des SV auf dem HFS
- s := SV – Klassen (4 + 1)

zusammensetzt, zu superponieren. Die Parameter der repräsentativen schwerverkehrsklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen sind in Tab. 8-14 aufgeführt.

Dabei muss beachtet werden, dass die einzelnen Schwerverkehrsanteile noch entsprechend Ihrer repräsentativen Achsanzahlen A_s (Tab. 8-15) gewichtet werden müssen.

		σ_i	μ_i	α_i
LoA	Term 1	0,39981	1,17975	0,87238
	Term 2	0,23004	1,92391	0,11617
	Term 3	0,12260	2,36253	0,01145
Bus	Term 1	0,31936	1,67562	0,76883
	Term 2	0,11112	2,28385	0,16344
	Term 3	0,08067	2,43652	0,06772
LmA	Term 1	0,34855	1,34642	0,47824
	Term 2	0,20271	1,90226	0,45897
	Term 3	0,12999	2,33686	0,06279
Sat	Term 1	0,37358	1,48628	0,52267
	Term 2	0,12186	1,94681	0,38426
	Term 3	0,13377	2,33699	0,09308
Sonder	Term 1	0,55011	1,32547	0,65710
	Term 2	0,17102	1,96420	0,28432
	Term 3	0,13500	2,35318	0,05858

Tab. 8-14: Parameter der schwerverkehrsklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen $p_s(t)$

LoA	Bus	LmA	Sat	Sonderfahrzeuge
2,17	2,61	4,57	4,84	5,197

Tab. 8-15: Repräsentative Achsanzahlen A_s für die 4+1 SV-Klassen

8.5 Erweiterung der auswertbaren Achslastverteilungen

Die Auswertung der Achslastdaten erfolgte bis zu einer Achslast von 16 Tonnen, da die Qualität darüber liegender Messwerte nicht garantiert werden kann. Sollten Achslastverteilungen (Histogramme) mit Achslasten über 16 t für die Dimensionierung benötigt werden, können die Achslastverteilungsfunktionen hinsichtlich höherer Achslasten ausgewertet werden,

$$h_{k,L} = p(L - 0.5) - p(L - 1.5) \quad (8-5-1)$$

$h_{k,L}$:= Häufigkeit der Achslastklasse L

$p(\)$:= streckenspez. Achslastverteilungsfunktion
entsprechend Gleichung (8-4-1)

um Häufigkeiten höherer Achslastklassen L abzuleiten. Hierbei ist zu beachten, dass die Achslastverteilungsfunktionen der einzelnen Schwerverkehrsanteile an den Klassenmitten gefittet sind, so dass beispielsweise die Häufigkeit der Achslastklasse L=17 Tonnen wie folgt berechnet werden kann:

$$h_{k,17} = p(16.5) - p(15.5) \quad (8-5-2)$$

$h_{k,17}$:= Häufigkeit der Achslastklasse 17t

$p(\)$:= streckenspez. Achslastverteilungsfunktion
entsprechend Gleichung (8-4-1)

Dieses Vorgehen ist bei Auswertung der Achslastverteilungen mithilfe der 4. Potenzregel nicht notwendig, da die Auftretenswahrscheinlichkeiten in den Achslastklassen über 16 Tonnen zu gering sind, um einen Effekt bei Verwendung der stark vereinfachten Beschreibung des Achslastkollektivs mit der 4. Potenzregel zu erhalten.

8.6 Bewertung der Dringlichkeit der Einarbeitung in RStO und RDO Beton

Die Analyse der aktuellen Daten zur Verkehrsbelastung haben die aktuell verwendeten Belastungsparameter in den Regelwerken im Wesentlichen bestätigt. Insofern ergibt sich aufgrund der im Wesentlichen unveränderten Beanspruchungssituation kein akuter Handlungsbedarf bezüglich der Änderung der bestehenden Regelwerke.

9 Zusammenfassung und Fazit

Innerhalb dieser Forschungsarbeit wurde eine Methode erarbeitet, mit der die punktuell vorhandenen Achslastmessdaten unter Zuhilfenahme der Daten der Dauerzählstellen flächendeckend auf das deutsche Straßennetz projiziert werden können.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Achslastdaten aus dem bundesdeutschen Straßennetz ausgewertet. Dabei standen die Daten aus zwei Quellen zur Verfügung:

- Daten aus Achslastwägungen an den Achslastmessstellen der Bundesanstalt für Straßenwesen (33 Richtungsmessstellen auf BAB)
- Daten aus den Zählungen der Dauerzählstellen (1.750 Zählstellen auf BAB und Bundesstraßen).

Darüber hinaus wurden zu Vergleichszwecken auch Achslastdaten und Daten von Dauerzählstellen aus dem europäischen Ausland sowie von der Köhlbrandbrücke in Hamburg ausgewertet.

Die Daten wurden einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, systematisiert und in geeigneter Form in einer Datenbank abgelegt.

Die Analyse der Daten aus beiden Datenquellen ermöglichte es, eine Methodik zu entwickeln, mit der auf praktikable Art und Weise objektspezifische Achslastverteilungen für Autobahnen und das nachgeordnete Netz gefunden werden können.

Grundlage für das Verfahren ist die aus der Datenanalyse gewonnene Erkenntnis, dass für die vier Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs repräsentative Achslastverteilungen definiert werden können.

Weiter konnte gezeigt werden, dass sich die Zusammensetzung des Schwerverkehrs auf einem beliebigen Streckenabschnitt mit hinreichender Genauigkeit durch die Kombination dieser Fahrzeugklassen abbilden lässt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die Achslastverteilung für einen konkreten Fahrbahnabschnitt durch Kombination der repräsentativen Verteilungsfunktionen für die vier Fahrzeugklassen zu gewinnen. In der Praxis ist damit allein die Zählung der Fahrzeugtypen, verbunden mit der Zuordnung zu den Fahrzeugklassen, notwendig.

Die beschriebene Methodik wurde weiterhin benutzt, um repräsentative Achslastverteilungen für den Fern-, Misch- und Nahverkehr auf deutschen Autobahnen zu definieren.

Darüber hinaus war es möglich, aus dem Datenbestand auch eine repräsentative Verteilung für die Achslasten der Sonderfahrzeuge auf deutschen Autobahnen abzuleiten.

Alle Verteilungen beinhalten Histogrammwerte für 1 t-Achslastklassen mit einem Definitionsbereich von 0 bis 16 t.

Um die mathematische Verarbeitung der in den Verteilungen enthaltenen Informationen zu erleichtern, wurden an die gefundenen repräsentativen Verteilungen Achslastverteilungsfunktionen angepasst. Die Anpassung wurde dabei so gesteuert, dass für die höheren Lastklassen eine höhere Genauigkeit erzielt wurde. Die so bestimmten Verteilungsfunktionen haben alle die gleiche Struktur. Sie ergeben sich als Summe dreier jeweils mit einem Faktor gewichteter logarithmischer Normalverteilungen.

Mit Hilfe dieser Achslastverteilungsfunktionen können die Histogramme bei Bedarf um Achslastklassen oberhalb von 16 t erweitert werden bzw. können die Achslastverteilungsfunktionen auch direkt in zukünftigen Regelwerken verwendet werden.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt wurden für aktuelle bzw. zukünftige Regelwerke zu verwendende Parameter berechnet.

Die Auswertung der in der Datenbank abgelegten Informationen zu den Achskonfigurationen ergab, dass sich die dimensionierungsrelevanten Parameter der Verkehrsbelastung im Vergleich zu vorangegangenen Erhebungen nicht relevant verändert haben. Dies deutet auf eine im Wesentlichen unveränderte Beanspruchungssituation hin.

Literatur

- [AASHO 1962] American Association of State Highway Officials, Highway Research Board Special Report 61E: The AASHO Road Test – Pavement Research, 1962
- [BAST 2016] Automatische Zählstellen 2015, <http://www.bast.de>, Stand:19.12.2016
- [DIN EN 1991-2] Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken (Ausgabe 12/2010)
- [FITSCHEN 2016] FITSCHEN, ANKE: Achslastmessstellen des Bundes, BASt, 07.07.2016
- [FITSCHEN/NORDMANN 2014] FITSCHEN; ARND, NORDMANN H.: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 244, Bergisch Gladbach, Oktober 2014
- [Heft 711] „Hintergrundbericht zum Eurocode 1 – Teil 3.2: Verkehrslasten auf Straßenbrücken“ Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, Heft 711 (1995)
- [Heft 715] „Bestimmung von Kombinationsbeiwerten und -regeln für Einwirkungen auf Brücken“ Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, Heft 715 (1995)
- [Heft 1072] VILLARET, KIEHNE, RIWE FE 04.218/2008/ARB, „Probabilistische Verfahrensweise für die Dimensionierung von Fahrbahnbefestigungen – Teil Betondecken“ Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, Heft 1072 (2012)
- [HRDTV-Pro] Programm zur Hochrechnung manueller Kurzzeitählungen auf DTV, Analyse von Knotenstromzählungen, Anwenderhandbuch Version 1.2.4, Aachen, August 2016
- [KBA, 2015] Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge (VD), Inlandsverkehr Jahr 2014, VD 3, Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, 2015
- [VILLARET et al 2010] Villaret et al: Grundlagen zur Erfassung der Belastung für die analytische Dimensionierung von Straßenbefestigungen - Teil Betonstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1050, Bonn, 2010

Verwendete Regelwerke

- [DWD] Richtlinie automatische Klimastationen für nebenamtliche Stationen und Partnernetze, Deutscher Wetterdienst, Ausgabe Februar 2001, überarbeitete Kurzfassung Mai 2010
- [RDO Asphalt 09] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, FGSV, Ausgabe 2009
- [RDO Beton 09] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Betondecke, FGSV, Ausgabe 2009
- [RStO 12], Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012, FGSV, Köln
- [TLS 12] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012, BMVBS, Berlin
- [TP ASPHALT 07] Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau, FGSV, Ausgabe 2007
- [ZTV Beton-StB 07] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2007, FGSV, Köln

Tabellen

	zugeordneten relativen Häufigkeiten h_k) der vier Schwerverkehrsklassen (alle AMS gleichgewichtet) 55
Tab. 2-1: Umsetzung einer Summentabelle der erfassten Fahrzeuge im Datenbanksystem..... 14	Tab. 4-7: Repräsentative Achsanzahlen für die 4 SV-Klassen (bei Gleichgewichtung der AMS) 55
Tab. 2-2: Darstellung der Zeiträume in denen für die einzelnen Achslastmessstellen Daten über alle erfassten Haupt- und Überholfahrstreifen (HFS = 1,33 und ÜFS=2, 3, 34, 35) aufgeschlüsselt nach Richtungsfahrbahnen (RF1=1,2,3 und RF2=33,34,35) vorliegen 15	Tab. 4-8: Parameter der Fahrzeugklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen, mit gewichteter Fehlerfunktion optimiert.. 61
Tab. 2-3: Darstellung der Zeiträume in denen für die einzelnen Achslastmessstellen Daten über einzelne Fahrstreifen vorliegen 15	Tab. 4-9: Parameter für die Achslastverteilung entsprechend Gleichung (4-2-15) – Fernverkehr 63
Tab. 2-4: Aufstellung der gezählten Fahrstreifen der jeweiligen Achslastmessstation... 16	Tab. 4-10: Parameter für die Achslastverteilung entsprechend Gleichung (4-2-15) – Mischverkehr 63
Tab. 2-5: Aufstellung der verworgenen Fahrstreifen der jeweiligen Achslastmessstation 17	Tab. 4-11: Parameter für die Achslastverteilung entsprechend Gleichung (4-2-15) – Nahverkehr 63
Tab. 2-6: Darstellung der Fahrzeugtypen nach [TLS 2012] die an den Achslastmessstellen im jeweiligen Fahrstreifen erfasst wurden – Teil 1.. 18	Tab. 4-12: Parameter der Achslastverteilungsfunktionen der Sonderfahrzeuge, mit gewichteter Fehlerfunktion optimiert..... 68
Tab. 2-7: Darstellung der Fahrzeugtypen nach [TLS 2012] die an den Achslastmessstellen im jeweiligen Fahrstreifen erfasst wurden – Teil 2.. 19	Tab. 5-1: Darstellung der Fahrzeugklassenanteile (Medianwerte) am SV entsprechend der thematischen Schwerpunkte 96
Tab. 2-8: Darstellung der Fahrzeugtypen nach [TLS 2012] die an den Achslastmessstellen im jeweiligen Fahrstreifen erfasst wurden – Teil 3.. 20	Tab. 6-1: Verwendete Fahrzeugklassenverteilung zur Bestimmung der Achslastverteilungen an der AMS Grodziec 106
Tab. 3-1: Verfügbare direkt auswertbare Zeiträume der Achslastmessstationen 25	Tab. 7-1: Repräsentative SV-Anteile in [%] verschiedener Straßenklassen aus Dauerzählstellen (DZ) 112
Tab. 4-1: Repräsentative Achsanzahlen für die 4 SV-Klassen. (*: = bei Gleichgewichtung der AMS)..... 48	Tab. 7-2: Achszahlfaktoren, berechnet aus AMS- und DZ- Daten im Vergleich mit den [RStO 12]..... 112
Tab. 4-2: Repräsentative prozentuale SV-Anteile bestimmt aus Daten von BAB- Dauerzählstellen (2015)..... 52	Tab. 7-3: Lastkollektivquotienten nach [RStO 12] bzw. nach Formel 7-2-3 115
Tab. 4-3: Fahrzeugklassenanteile BAB- Fernverkehr; Vergleich von AMS-Daten und Daten aus Dauerzählstellen 52	Tab. 7-4: Lastkollektivquotienten, berechnet nach alternativem Berechnungsvorschlag aus AMS- und DZ- Daten im Vergleich mit den [RStO 12] 116
Tab. 4-4: Achslastklassen k und zugeordnete relative Häufigkeiten h_k für Bundautobahnen 54	Tab. 8-1: Auftretenshäufigkeiten der Oberflächentemperaturklassen in Abhängigkeit der normierten Charakteristischen Temperaturprofile – gemittelt über alle Temperaturzonen 120
Tab. 4-5: Achslastklassen und zugeordnete Häufigkeiten für Bundesstraßen sowie Landes- und Kreisstraßen..... 55	Tab. 8-2: Obere Grenze der B-Zahl (äquivalente 10-Achsübergänge) je Belastungsklasse sowie daraus resultierende Achsübergänge (NA) bei einem Lastkollektivquotienten von $q_{BM}=0,323$ 120
Tab. 4-6: Repräsentative Achslastverteilungen (Achslastklassen k mit den	

Tab. 8-3:	Parameter der Hauptkurve der Kalibrierasphalte.....	121
Tab. 8-4:	Parameter der Ermüdungsfunktion des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht	121
Tab. 8-5:	Parameter zum Kälteverhalten des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht	122
Tab. 8-6:	Materialeigenschaften für ungebundene Schichten (SoB), Böden und Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln	122
Tab. 8-7:	Dicke des frostsicheren Oberbaus ..	123
Tab. 8-8:	Dicken [mm] der einzelnen Befestigungsschichten aller untersuchten Befestigungsvarianten und Belastungsklassen nach den RStO 12, Tafel 1	124
Tab. 8-9:	Anpassungsfaktoren AF	125
Tab. 8-10:	Sicherheitsbeiwert F bei Shiffaktor=1.500	125
Tab. 8-11:	Lastkollektivquotienten q_{Bb} im Vergleich mit den Werten aus [RDO Beton 09]126	
Tab. 8-12:	Lastfaktor γ_{E2} für den GZG im Vergleich mit den Werten aus [RDO Beton 09]128	
Tab. 8-13:	Lastfaktor γ_{E2} für den Ermüdungslastfall im Vergleich mit den Werten aus [RDO Beton 09].....	128
Tab. 8-14:	Parameter der schwerverkehrsklassenspezifischen Achslastverteilungsfunktionen $p_s(t)$.	129
Tab. 8-15:	Repräsentative Achsanzahlen A_s für die 4+1 SV-Klassen	129

Bilder

	alle Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs).....	26
Bild 2-1:	Form der Datensätze der Achslastmessstellen	10
Bild 2-2:	Systematik zur Organisationsstruktur der Achslastdaten.....	11
Bild 2-3:	Einleseprozess der Achslastdaten in das Datenbanksystem	11
Bild 2-4:	Abgelegte Informationen von Datensätzen mit einem erfassten Gesamtgewicht von Null	12
Bild 2-5:	Abgelegte Informationen von Datensätzen mit einer erfassten Achsanzahl von Null	12
Bild 2-6:	Abgelegte Informationen von Datensätzen mit unplausibler Fahrzeugtyp – Achsanzahl-Kombination	12
Bild 2-7:	Abgelegte Informationen von Datensätzen, die in der Vorplausibilisierung als unplausibel gekennzeichnet und nicht den Kategorien in Bild 2-4 / Bild 2-5 / Bild 2-6 zugeordnet wurden	12
Bild 2-8:	Abgelegte Informationen von plausiblen Datensätzen	12
Bild 2-9:	Unterschiedlicher Informationsgehalt der sortierten Daten.....	13
Bild 2-10:	Programmtechnischer Ablauf der Datenanalyse	14
Bild 3-1:	Achslastmessstellen [Fitschen, 2016] und Dauerzählstellennetz [FITSCHEN & NORDMANN, 2014] in Deutschland mit zugehörigen Datencharakteristika	22
Bild 3-2:	Fahrzeugklassenanteile des von Dauerzählstellen erfassten Verkehrskollektivs (Aufgrund des geringen und streckenspezifischen Anteils ohne Sonderfahrzeuge).....	23
Bild 3-3:	Achslastverteilungen der 4 relevanten Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs auf Basis von Achslastmessdaten.....	24
Bild 3-4:	Bestimmung lokalisierter Achslastverteilungen	24
Bild 3-5:	Übersicht der zu untersuchenden Aspekte der zeitlichen Abhängigkeit von Achslastverteilungen.....	26
Bild 3-6:	Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen, alle Jahre und	
Bild 3-7:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen, alle Monate und alle Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs).....	27
Bild 3-8:	Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstellen, summiert über alle Monate, alle Jahre und alle Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs).	28
Bild 3-9:	Fahrzeugklassenabhängigkeit der Achslastverteilungen (Unterscheidung nach Fahrzeugklassen des Schwerverkehrs, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen, alle Monate und alle Jahre).....	29
Bild 3-10:	Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre).....	30
Bild 3-11:	Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre).....	31
Bild 3-12:	Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre).....	31
Bild 3-13:	Saisonale Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Monaten, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Jahre).....	32
Bild 3-14:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	33
Bild 3-15:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen	

	aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	33		
Bild 3-16:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	34	Bild 3-24:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....
Bild 3-17:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	34	Bild 3-25:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....
Bild 3-18:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	36	Bild 3-26:	Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate).....
Bild 3-19:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse LoA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	36	Bild 3-27:	Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate).....
Bild 3-20:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	37	Bild 3-28:	Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate).....
Bild 3-21:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse Bus (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	37	Bild 3-29:	Ortsabhängigkeit der Achslastverteilungen – Fahrzeugklasse Sat (Unterscheidung nach Hauptfahrstreifen der Achslastmessstationen, summiert über alle Jahre und alle Monate).....
Bild 3-22:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen bis 2010 – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	38	Bild 3-30:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmessstation 9666 – Fahrzeugklasse LoA, (Unterscheidung nach Jahren).....
Bild 3-23:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilungen ab 2011 – Fahrzeugklasse LmA (Unterscheidung nach Jahren, summiert über die Hauptfahrstreifen aller Achslastmessstationen und alle Monate).....	38	Bild 3-31:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmessstation 9666 – Fahrzeugklasse Bus, (Unterscheidung nach Jahren).....
			Bild 3-32:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmessstation 9666 – Fahrzeugklasse LmA, (Unterscheidung nach Jahren).....
			Bild 3-33:	Langfristige Zeitabhängigkeit der Achslastverteilung an Achslastmessstation 9666 –

	Fahrzeugklasse Sat, (Unterscheidung nach Jahren).....	44		ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse LoA	61
Bild 4-1:	Repräsentative Achslastverteilung auf BAB - LoA	47	Bild 4-22:	Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse Bus	62
Bild 4-2:	Repräsentative Achslastverteilung auf BAB - Bus	47	Bild 4-23:	Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse LmA	62
Bild 4-3:	Repräsentative Achslastverteilung auf BAB - LmA	47	Bild 4-24:	Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und ungewichteter Verteilungsfunktion - Fahrzeugklasse Sat	63
Bild 4-4:	Repräsentative Achslastverteilung auf BAB – Sat	48	Bild 4-25:	Mittlere Achslastverteilung – Fernverkehr	64
Bild 4-5:	Mittlere Achsanzahlen A_s für die 4 SV-Klassen auf BAB	48	Bild 4-26:	Mittlere Achslastverteilung – Mischverkehr	65
Bild 4-6:	Reale Achslastverteilungen der 33 AMS auf BAB.....	49	Bild 4-27:	Mittlere Achslastverteilung – Nahverkehr	65
Bild 4-7:	Reale Achslastverteilungen der AMS auf BAB; Streubereiche aller AMS und Betriebsjahre (137 Datensätze)	49	Bild 4-28:	Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – mittlere Achslastverteilung.....	66
Bild 4-8:	Lastzugfaktoren der 33 AMS auf BAB... ..	50	Bild 4-29:	Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – langfristige Zeitabhängigkeit	67
Bild 4-9:	Berechnete Achslastverteilungen der AMS auf BAB	50	Bild 4-30:	Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – saisonale Zeitabhängigkeit	67
Bild 4-10:	Vergleich von realen und berechneten Achslastverteilungen der AMS auf BAB; Streubereiche.....	51	Bild 4-31:	Achslastverteilung aller Sonderfahrzeuge – Ortsabhängigkeit	68
Bild 4-11:	Repräsentative Achslastverteilung für BAB (Fernverkehr) mit Streubereich ..	51	Bild 4-32:	Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – langfristige Zeitabhängigkeit	69
Bild 4-12:	Achslastverteilung „Fern“-Verkehr: rot: nach AMS; blau: nach Tab. 4-2 (alle AMS gleichgewichtet)	52	Bild 4-33:	Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – saisonale Zeitabhängigkeit	69
Bild 4-13:	Abgeleitete Achslastverteilung für den Mischverkehr.....	53	Bild 4-34:	Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der Achslastmessstation 5705 – Ortsabhängigkeit.....	70
Bild 4-14:	Abgeleitete Achslastverteilung für den stadtnahen Verkehr	53	Bild 4-35:	Achslastverteilung selektierter Sonderfahrzeuge ohne Achslastmessstationen 1291, 9627, 9629 und ohne Monat April 2016 der	
Bild 4-15:	Achslastverteilung Fernverkehr - Vergleich mit den [RDO Asphalt 09]; Daten der AMS bis 16t.....	53			
Bild 4-16:	Achslastverteilung Mischverkehr - Vergleich mit den [RDO Asphalt 09]..	53			
Bild 4-17:	Achslastverteilung Nahverkehr- Vergleich mit den [RDO Asphalt 09]..	53			
Bild 4-18:	Repräsentative Achslastverteilungen der vier Schwerverkehrsklassen (alle AMS gleichgewichtet)	55			
Bild 4-19:	Zusammensetzen von Verteilungsfunktionen	58			
Bild 4-20:	Vergleich Gumbel-Verteilung für 100Mio. Lastwechsel mit Monte-Carlo-Simulation	59			
Bild 4-21:	Mittlere Achslastverteilung mit identifizierter gewichteter und				

	Achslastmessstation 5705 – mittlere Achslastverteilung	70	Bild 5-24: BAB mit Gütermischverkehr	83
Bild 5-1:	Karte der automatischen Dauerzählstellen auf Bundesfernstraßen in Deutschland [FITSCHEN & NORDMANN, 2014]...	71	Bild 5-25: BAB mit Güternahverkehr	84
Bild 5-2:	Leitpfostenzählgerät	72	Bild 5-26: BAB mit einstelliger Nummer.....	84
Bild 5-3:	Abdeckung Zählstellen BW (Landesstraßen grün, Bundesstraßen blau).....	73	Bild 5-27: BAB mit zweistelliger Nummer	85
Bild 5-4:	Mittlerer DTV-Wert nach Zählstellengruppen	74	Bild 5-28: BAB mit dreistelliger Nummer	85
Bild 5-5:	Mittlerer SV-Wert nach Zählstellengruppen	74	Bild 5-29: BAB ballungsraumfern	86
Bild 5-6:	Mittlerer SV-Anteil nach Zählstellengruppen	74	Bild 5-30: BAB ballungsraumnah	86
Bild 5-7:	Mittlerer Lastzugfaktor nach Zählstellengruppen	74	Bild 5-31: BAB mit 2 FS, hoch belastet	87
Bild 5-8:	Verteilung SV-Anteil der Teilkollektive... ..	75	Bild 5-32: BAB mit 2 FS, normal belastet	87
Bild 5-9:	Verteilung SV-Anteil, Monitoring BW.	75	Bild 5-33: BAB mit 2 FS, schwach belastet	88
Bild 5-10:	Verteilung Lastzugfaktor der Teilkollektive.....	76	Bild 5-34: BAB mit 3+ FS, hoch belastet	88
Bild 5-11:	Verteilung Lastzugfaktor, Monitoring.	76	Bild 5-35: BAB mit 3+ FS, normal belastet	89
Bild 5-12:	Verteilung Schwerverkehr, erweitertes DZ-Achslastkollektiv (doppelter Richtungs-SV)	77	Bild 5-36: BAB mit 3+ FS, schwach belastet	89
Bild 5-13:	Verteilung Lastzugfaktor, erweitertes DZ-Achslastkollektiv	77	Bild 5-37: B-Str. mit einem FS, hoch belastet....	90
Bild 5-14:	Analyse des Schwerverkehrsanteils in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke	78	Bild 5-38: B-Str. mit einem FS, normal belastet.	90
Bild 5-15:	Analyse des Lastzugfaktors in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke	78	Bild 5-39: B-Str. mit einem FS, schwach belastet.. ..	91
Bild 5-16:	Fahrzeugklassenanteile an DZ auf BAB	79	Bild 5-40: B-Str. mit 2+ FS, hoch belastet.....	91
Bild 5-17:	Fahrzeugklassenanteile an DZ auf B-Str.	80	Bild 5-41: B-Str. mit 2+ FS, normal belastet	92
Bild 5-18:	Fahrzeugklassenanteile an DZ auf L+S-Str.	80	Bild 5-42: B-Str. mit 2+ FS, schwach belastet....	92
Bild 5-19:	Fahrzeugklassenanteile an DZ auf K+G-Str.....	81	Bild 5-43: L+S-Str., hoch belastet	93
Bild 5-20:	Fahrzeugklassenanteile auf B-Str. (Monitoring)	81	Bild 5-44: L+S-Str., normal belastet	93
Bild 5-21:	Fahrzeugklassenanteile auf L-Str. (Monitoring)	82	Bild 5-45: L+S-Str., schwach belastet	94
Bild 5-22:	Fahrzeugklassenanteile auf K+G-Str. (Monitoring)	82	Bild 5-46: K+G-Str., hoch belastet.....	94
Bild 5-23:	BAB mit Güterfernverkehr.....	83	Bild 5-47: K+G-Str., normal belastet.....	95
			Bild 5-48: K+G-Str., schwach belastet.....	95
			Bild 6-1: Anteil der jeweiligen Fahrzeugklasse am Schwerverkehr auf BAB und B in den Jahren 2008 bis 2016 (1.688 Zählstellen).....	98
			Bild 6-2: Anteil der jeweiligen Fahrzeugklasse am Schwerverkehr auf BAB in den Jahren 2008 bis 2016 (893 Zählstellen) 98	98
			Bild 6-3: Anteil der jeweiligen Fahrzeugklasse am Schwerverkehr auf B in den Jahren 2008 bis 2016 (795 Zählstellen)	98
			Bild 6-4: Differenz des Bus-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)	98
			Bild 6-5: Differenz des LoA-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)	98
			Bild 6-6: Differenz des LmA-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)	99

Bild 6-7: Differenz des Sat-Anteils am SV zum Anteil 2016 nach Jahr und Streuung über die Zählstellen (BAB und B)..... 99	Bild 6-28: Foto der AMS Grodziec, FR Opole.. 105
Bild 6-8: Karte der schweizerischen AMS 101	Bild 6-29: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Grodziec, FR Czestochowa 105
Bild 6-9: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Gotthard (A2), FR Gotthard (CH).. 101	Bild 6-30: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Grodziec, FR Opole..... 106
Bild 6-10: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Ceneri (A2), FR Gotthard (CH)101	Bild 6-31: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Zmigrodzka, FR Zentrum, FS1106
Bild 6-11: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Ceneri (A2), FR Chiasso 102	Bild 6-32: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Pozglogowska, FR Zentrum, FS1 106
Bild 6-12: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Oberbüren (A1), FR St. Gallen102	Bild 6-33: Reale und hochgerechnete Achslastverteilungen an der AMS Grodziec, FR Czestochowa..... 106
Bild 6-13: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Oberbüren (A1), FR Zürich..... 102	Bild 6-34: Reale und hochgerechnete Achslastverteilungen an der AMS Grodziec, FR Opole 106
Bild 6-14: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS St. Maurice (A9), FR Sion 102	Bild 6-35: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose für die einzelnen AMS auf BAB (alle in der Schweiz)..... 108
Bild 6-15: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS St. Maurice (A9), FR Lausanne 102	Bild 6-36: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose der einzelnen AMS auf BAB je Gewichtsklasse (Schweiz)..... 108
Bild 6-16: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS Oberbuchsitzen (A1), FR Zürich..... 102	Bild 6-37: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose für die einzelnen AMS im nachgeordneten Netz (in Deutschland und Polen)..... 109
Bild 6-17: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS San Bernardino (A13) FR Chur (CH) 103	Bild 6-38: Darstellung der Differenzen zwischen Messwert und Prognose der einzelnen AMS im nachgeordneten Netz je Gewichtsklasse (Deutschland und Polen)..... 109
Bild 6-18: Vergleich Achslastverteilung real/HR AMS San Bernardino (A13) FR Fürstentum (CH)..... 103	Bild 7-1: Häufigkeitsverteilung der mittleren Achsanzahlen für alle AMS und alle vorliegenden Jahre 111
Bild 6-19: Lage der Achslastmessstelle Köhlbrandbrücke in Hamburg, Karte: Open Street Map 103	Bild 7-2: Lastkollektivquotienten nach AMS und Jahr mit Klassenbreite 0,01 114
Bild 6-20: Vergleich Achslastverteilung real/HR Zst. Köhlbrandbrücke, FR Waltershof, FS1 104	Bild 7-3: Repräsentative Achslastverteilungen der 4 SV-Anteile, Klassenbreite 1 t, ermittelt aus AMS-Daten, nach Kapitel 4.1.2. 115
Bild 6-21: Vergleich Achslastverteilung real/HR Zst. Köhlbrandbrücke, FR Reiherrstieg, FS1 104	Bild 7-4: Lastkollektivquotienten nach AMS und Jahr nach alternativem Berechnungsvorschlag 115
Bild 6-22: Lage der AMS Zmigrodzka, FR Zentrum (Karte: OSM) 104	Bild 8-1: Hauptkurve des absoluten E-Moduls der Kalibrierasphalte 121
Bild 6-23: Lage der AMS Pozglogowska, FR Zentrum (Karte: OSM) 104	Bild 8-2: Ermüdungsfunktion des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht 121
Bild 6-24: Lage der AMS Grodziec, FR Opole und AMS Grodziec, FR Czestochowa (Karte: OSM) 104	Bild 8-3: kryogene Zugspannungen des Kalibrierasphaltes der Asphalttragschicht 122
Bild 6-25: Foto der AMS Zmigrodzka, FR Zentrum 105	
Bild 6-26: Foto der AMS Pozglogowska, FR Zentrum..... 105	
Bild 6-27: Foto der AMS Grodziec, FR Czestochowa..... 105	

Bild 8-4:	Anpassungsfaktor AF	125
Bild 8-5:	Sicherheitsfaktor F bei Shiffaktor=1.500	126

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2019

S 129: Verfahren zur Prognose des Alterungsverhaltens von Asphalt

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

S 130: Entwicklung einer Prüfsystematik für Porous Mastic Asphalt (PMA)

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

S 131: Einfluss viskositäts- verändernder Zusätze auf den Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe

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

S 132: Temperierte Straße Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem duraBAST

Oeser, Carreño, Renken, Kemper, Kneer, Höfler, Al-Sibai, Hess, Gouya, zu Dohna, Steins € 15,50

S 133: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung

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

S 134: Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)

Skakuj, Balck, Beckedahl, Schrödter, Koppers, Ramadan
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 135: Eignung von Boden-Bindemittel-Gemischen als Baustoff für den Hinterfüllbereich von Bauwerken

Botor, Tost € 15,50

S 136: KiST-Zonen-Karte RDO und RSO Asphalt

Augter, Kayser € 16,50

S 137: Ressourcenschonung Bedingungen für die Verwendung organogener und weicher Böden sowie von Sekundärbaustoffen als Massenbaustoffe im Erdbau

Cudmani, Heyer, Engel, Schoenherr € 22,50

S 138: Entwicklung eines scannenden Prüfgeräts zur Detektion von Delaminationen in Betonfahrbahndecken

Groschup, Große, Eger, Freudenstein
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 139: Unterhaltung und Sanierung des Straßennetzes – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 17. und 18. September 2018 in Bonn

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

S 140: Erfahrungssammlung Bitumendaten – Frischbitumen

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

S 141: Ermittlung des Bindemittelgehaltes von Asphalt mit gummimodifiziertem Bindemittel

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

2020

S 142: Untersuchungen zur Verbesserung der Methode zum fachgerechten Schließen von Bohrkernentnahmestellen

Beckedahl, Koppers, Schrödter € 15,50

S 143: s/v-Wert beim dynamischen Plattendruckversuch

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

S 144: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Beurteilung des Kälteverhaltens von Bitumen

Radenberg, Staschkiewicz € 17,50

S 145: Schadenskategorie-spezifische Bewertung von AKR-Prüfverfahren

Weise, Werner, Maier, Wilsch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 146: Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 °Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze

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

2021

S 147: Numerische Modellierung der Lysimeteruntersuchungen der BAST

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

S 148: Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken

Freudenstein, Eger, Pichottka, Riwe, K. Villaret, S. Villaret, Frohböse
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 149: Untersuchungen zur Durchsickerung von RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten bei Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen

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

S 150: Abschätzung des Restwerts im PMS am Ende des Bewertungszeitraums

Stöckner, Sagnol, Brzuska, Wellner, Blasl, Sommer, Krause, Komma € 19,50

S 151: Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Waschbetonfahrbahndecken mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze

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

S 152: Wiederverwendung von RC-Baustoffen aus AKR-geschädigten Betonfahrbahndecken

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

S 153: Optimierung von Fugensystemen in Betonfahrbahndecken – Messtechnische Grundlage zur Ermittlung realer Beanspruchungen in situ

Recknagel, Spitzer, Hoppe, Wenzel, Pirskawetz € 23,00

S 154: Prozessoptimierung der Asphaltextraktion mit Oktansäuremethylester (OME)

Büchler, Wistuba

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

S 155: KiST-Zonen-Karte RDO und RSO Beton – Verteilungsfunktion und Extremwerte

Villaret, Augter, Kayser, Riwe

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

S 156: Asphaltoberbau und extreme Temperaturen

Beckedahl, Schrödter, Koppers, Mansura, Reutter, Thelen

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

S 157: Erfassung von Bäumen mittels Laserscan-Daten zur Expositionsanalyse entlang des Bundesfernstraßennetzes in NRW

Schipek, Steffen

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

S 158: Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette

Cudmani, Henzinger, Birle, Barka

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

S 159: Dauerhafte Betondecken – Optimierung der Fahrbahnoberfläche durch Texturierung mittels Grinding-Verfahren

Villaret, Alte-Teigeler, Altreuther, Beckenbauer, Frohböse, Gehlen, Oeser, Skarabis, Tulke, Wang

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

S 160: Untersuchungen zur Ursache von Treiberscheinungen in Tragschichten ohne Bindemittel unter Verwendung von RC-Baustoffen aus Beton

Rigo, Unterderweide

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

S 161: Ermittlung der realistischen Verkehrsverteilung auf mehrstreifigen Bundesfernstraßen als Eingangsgröße für die rechnerische Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz

Kathmann, Schroeder

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

S 162: Beurteilung von Betonfahrbahndecken hinsichtlich deren in-situ AKR-Potenzial bei Gesteinskörnungen nach dem ARS Nr. 04/2013

Böhm, Eickschen, Hermerschmidt, Müller, Pierkes

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

S 163: NANOASPHALT – Optimierung der Gebrauchseigenschaften und der Beständigkeit von Asphaltstraßen unter Nutzung der Nanotechnologie

Beginn

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

S 164: Untersuchung der Quellempfindlichkeit veränderlich fester Gesteine bei der Verwendung als Erdbaustoff

Cudmani, Heyer, Birle, Möller

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

S 165: Analyse des gefügeabhängigen Löslichkeitsverhaltens potenziell AKR-empfindlicher Gesteinskörnungen

Weise, Oesch, Wilsch, Sigmund, Hüniger, Kositz

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

S 166: Vibrationshammerverfahren zur Bestimmung der Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel

Demond, Reiche, Haas, Schmidt

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

S 167: Aktualisierung und Anpassung der Straßenbelastungsdaten für die Dimensionierung

K. Villaret, S. Villaret, Kathmann, Oeser, Ückermann, Schröder, Riwe

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

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

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

www.schuenemann-verlag.de

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