

# **Grundlagen für Lastannahmen zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen**

**Definition of loading conditions within the pavement design process**

## **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden

eingereicht von

**Dipl.-Ing. Wolf Uhlig**

geboren am 05. Januar 1965 in Mittweida

Tag der Einreichung: 06.09.2018

Tag der Verteidigung: 15.02.2019

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner (TU Dresden)  
Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold (TU Dresden)  
Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser (RWTH Aachen)

## Kurzfassung

Die Transportleistung auf der Straße wird sich in Deutschland bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 2010 um 39 % erhöhen. Dem Zustand des Straßennetzes kommt damit eine existentielle Bedeutung für die ökonomische Prosperität des Landes zu. Wichtiger Bestandteil eines qualitätsgerechten Straßenzustandes ist die konstruktive Ausbildung des Straßenkörpers. Für die Dimensionierung des Oberbaus stellt die prognostizierte Verkehrsbelastung durch Schwerverkehr innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer eine wesentliche Eingangsgröße dar. Insbesondere im nachgeordneten Netz zu Bundesautobahnen stehen in aller Regel jedoch keine Messdaten zur Anzahl der Achsübergänge und zur Höhe der Achslasten zur Verfügung. Infolge dessen weist lediglich der DTV<sup>(SV)</sup>-Wert einen lokalen Bezug zum betreffenden Planungsbereich auf. Achszahlfaktor  $f_A$  und mittlerer Lastkollektivquotient  $q_{Bm}$  werden auf der Grundlage von lediglich 3 straßenklassenspezifischen, deutschlandweit einheitlich geltenden Faktoren festgelegt. Insofern ist davon auszugehen, dass die dimensionierungsrelevante Beanspruchung  $B$  nach den RStO häufig mit signifikanten Abweichungen zum tatsächlich auftretenden Belastungsniveau ermittelt wird.

Die vorliegende Untersuchung beruht auf einer Datenbasis von 385.775 Fahrzeugen des Schwerverkehrs an 6 Messquerschnitten von Bundesautobahnen. Grundsätzlich wird empfohlen, Daten von Achslastmessungen einer gründlichen Plausibilitätskontrolle zu unterziehen. Im Rahmen dieser Arbeit ist hierzu ein detaillierter Prüf- und Selektionsprozess entwickelt worden. Die Analyse der Achslastverteilungen zeigt 3 typische Verteilungsverläufe, die sich in Abhängigkeit der Lage der Messstellen im Netz und damit der spezifischen Anteile von Güternahverkehr und Güterfernverkehr einstellen. Zur Unterscheidung der 3 standardisierten Achslastverteilungen wurden die Bezeichnungen BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr eingeführt.

Die Ergebnisse von Vergleichsberechnungen zur Dimensionierung des Oberbaus in Asphaltbauweise nach den RStO ergaben an allen 6 Messquerschnitten signifikante Abweichungen sowohl zum Achszahlfaktor  $f_A$  als auch zum mittleren Lastkollektivquotienten  $q_{Bm}$  der Richtlinien. Daraus resultieren deutliche Differenzen der  $B$ -Zahlen nach Methode 1 und nach Methode 2 der RStO mit der Folge unterschiedlicher Schichtdicken. Es wird vorgeschlagen, den Achszahlfaktor  $f_A$  und den mittleren Lastkollektivquotienten  $q_{Bm}$  zukünftig entsprechend der Zuordnung in BAB Fernverkehr, BAB Mischverkehr und BAB Stadtnaher Verkehr zu differenzieren und mit spezifischen Werten zu untersetzen.

Mittels rechnerischer Dimensionierung nach den RDO Asphalt wurden vergleichende Betrachtungen zur Intervallbreite der Achslastklassen sowie zu verschiedenen Verfahren der Ermittlung von Achslastverteilungen angestellt. Hinsichtlich der Anwendung standardisierter Achslastverteilungen zeigen die Berechnungen, dass entsprechende Ersatzverfahren zur Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs grundsätzlich anwendbar sind. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse an den 6 Messquerschnitten von Bundesautobahnen wurden 4 Verfahren zur Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs ohne Verfügbarkeit von Achslastdaten entwickelt. Das Prinzip der Verfahren beruht auf dem postulierten Zusammenhang zwischen der Verteilung der Fahrzeugtypen und der Achslastverteilung des Schwerverkehrskollektivs. Unter der Voraussetzung einer statistisch relevanten Erhebung der Fahrzeugsilhouetten des Schwerverkehrs in situ werden die Verfahren gegenübergestellt,

die sich vorrangig im Umfang der Verkehrserhebung sowie im damit verbundenen, rechnerischen Aufwand unterscheiden. Im Ergebnis der praktischen Anwendung aller 4 Verfahren an 11 Messstellen an Bundes- und Staatsstraßen in Sachsen wird festgestellt, dass nur die beiden Verfahren mit Erhebung der einzelnen Fahrzeugtypen zu verlässlichen Achslastkollektiven führen. Eine Vereinfachung der örtlichen Verkehrserhebung impliziert deutlich divergentere Ergebnisse mit entsprechenden Auswirkungen auf die Dimensionierung des Oberbaus. Das favorisierte, empfohlene Verfahren berücksichtigt die spezifische Zusammensetzung des Schwerverkehrs im betreffenden Planungsbereich. Die angewandten standardisierten Achslastverteilungen beruhen auf Achslastmessungen auf Bundesautobahnen. Aufgrund des hierbei zu erwartenden, vergleichsweise höheren Beladungsgrades liegt das Ergebnis der Verkehrsbelastung nach dem entwickelten Verfahren im nachgeordneten Netz somit in der Regel auf der „sicheren Seite“. Die Dimensionierung des Oberbaus nach den RStO kann nach der realitätsnäheren Methode 2 anstelle nach Methode 1 erfolgen.

An 11 verschiedenen Streckenabschnitten auf Bundes- und Staatsstraßen in Sachsen werden die praktische Anwendungsmöglichkeit des entwickelten Verfahrens sowie die Auswirkungen auf die Größe der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B nach den RStO nachgewiesen. Bei Dimensionierung nach Methode 1 der RStO wird der Oberbau demnach in 36 % der Fälle unterdimensioniert und in 9 % der Fälle überdimensioniert. Unter Anwendung der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt ergeben sich bei Einsatz von Kalibrierasphalten an allen 11 Messstellen niedrigere Asphaltgesamtdicken als nach Methode 2 der RStO. Die Spannweite der Differenzen reicht dabei von -3 cm bis -6 cm. Unter Ansatz eines Asphalttragschichtgemisches aus der Praxis mit weniger guten Ermüdungseigenschaften werden an 4 Messstellen höhere und an 6 Messstellen niedrigere Asphaltgesamtdicken ermittelt. Die Spannweite der Differenzen beträgt -3 cm bis +5 cm. Der Asphaltüberbau wird bei Dimensionierung nach Methode 1 der RStO im Vergleich zu den Ergebnissen nach den RDO Asphalt mit einem Asphaltgemisch aus der Praxis in 46 % der Fälle unterdimensioniert und in 36 % der Fälle überdimensioniert.

Durch Anwendung des entwickelten Verfahrens zur Ermittlung des dimensionierungsrelevanten Achslastkollektivs ist eine deutlich realitätsnähere, den örtlichen Bedingungen besser angepasste Definition der Verkehrsbelastung und damit der Dimensionierung des Schichtenaufbaus zu erwarten. Daraus abzuleiten ist ein enorm hohes, volkswirtschaftliches Potenzial durch Vermeidung von zu großen, aber auch zu geringen Schichtdicken des Oberbaus von Straßen. Das Verfahren liefert zudem einen Beitrag zur Weiterentwicklung und praktischen Anwendung der rechnerischen Dimensionierung sowie zu probabilistischen Dimensionierungsverfahren und Dimensionierungsverfahren mittels Finite-Elemente-Modellen.

Durch zielgerichtete Analyse aktueller, deutlich umfangreicherer Datenbestände aus Achslastmessungen auf Bundesautobahnen sollten die entwickelten Arbeitsgrundlagen zukünftig angepasst und erweitert werden. Auf der Basis mobiler Achslastmessungen im nachgeordneten Netz könnte die Erstellung eines umfassenden Kataloges aller Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs mit mittleren, beladungsgradabhängigen Achslastverteilungen eine wichtige Grundlage zur Ermittlung dimensionierungsrelevanter Achslastkollektive liefern. Weitere Untersuchungen zu möglichen Korrelationen zwischen Beladungsgrad und Lage der Messstelle im Netz würden zudem die Klassifizierung und Zuordnung spezifischer Standardparameter für das nachgeordnete Netz ermöglichen.

## Abstract

Road transport capacity in Germany will increase by 39% in 2030 compared to 2010. The condition of the road network thus has an existential significance for the economic prosperity of the country. An important component of a quality-compliant pavement condition is the structure of the pavement. For the design of the pavement structure, the predicted traffic load due to heavy traffic load within the intended pavement service life is an important input parameter. In the subordinate network to federal motorways in Germany, however, no measured data are generally available on the number of axle load passings and the value of the axle loads. As a result, only the average daily traffic frequency for heavy traffic  $DTV_{(SV)}$  value has a local relationship to the relevant design area. The axis number factor  $f_A$  and mean load spectrum quotient  $q_{Bm}$  are determined on the basis of only three road class specific factors, which are used uniformly throughout Germany. In this respect, it can be assumed that the relevant design traffic value B is often determined according to the RStO with significant deviations from the actually occurring load level.

The present study is based on a database of 385,775 vehicles of heavy traffic on 6 measuring sections of federal highways in Germany. Basically, it is recommended to subject data from axle load measurements to a thorough plausibility check. As part of this work, a detailed testing and selection process has been developed for this purpose. The analysis of the axle load distributions shows 3 typical distribution curves, which depend on the position of the measuring points in the network and thus, on the specific proportions of freight traffic and long-distance freight traffic. To distinguish between the 3 standardized axle load distributions, the terms highway long-distance traffic, highway mixed traffic and highway urban traffic were introduced. The results of comparative calculations for thickness design of asphalt pavement structures according to the RStO showed significant deviations for all 6 measurement cross sections both for the axle number factor  $f_A$  and for the load spectrum quotient  $q_{Bm}$  of the guidelines. This results in significant differences of the B value according to method 1 and according to method 2 of the RStO with the consequence of different layer thicknesses. It is proposed to differentiate the axle number factor  $f_A$  and the load spectrum quotient  $q_{Bm}$  in the future according to the assignment highway long-distance traffic, highway mixed traffic and highway urban traffic specific values for each axle load distribution class. By means of the analytical pavement design according to the RDO Asphalt, comparative considerations were made on the interval width of the axle load classes as well as on various methods for the determination of axle load distributions.

With regard to the application of standardized axle load distributions, the calculations show that corresponding replacement procedures for determining the design-relevant axle load collective are fundamentally applicable. Taking into account the results of the 6 measurement cross sections of motorways, 4 procedures were developed for the determination of the design relevant axle load collective without the availability of axle load data. The principle of the methods is based on the postulated relationship between the distribution of vehicle types and the axle load distribution of the heavy traffic collective.

Subject to a statistically relevant survey of the vehicle silhouettes of heavy traffic in situ, the procedures are compared, which differ primarily in the scope of the traffic survey as well as in the associated computational effort. As a result of the practical application of all four methods at 11 measuring points on federal and state roads in Saxony, it is established that only the two

methods with the survey of the individual types of vehicles lead to reliable axle load analysis. A simplification of the local traffic survey implies significantly more divergent results with corresponding effects on the design of the pavement structure. The favored recommended procedure takes into account the specific composition of heavy traffic in the relevant design area. The standardized axle load distributions applied are based on axle load measurements on federal motorways. As a result of the comparatively higher degree of loading expected in this case, the result of the traffic load according to the developed method in the downstream network is thus generally on the "safe side". The design of the pavement structure according to the RStO can be carried out according to the more realistic method 2 instead of method 1.

The practical application possibilities of the method developed as well as the effects on the size of the relevant design traffic value B according to the RStO are proven on 11 different sections on federal and state roads in Saxony. When the pavement is designed according to method 1 of the RStO, the pavement structure is therefore under-designed in 36% of the cases and oversized in 9% of the cases. Applying the calculation procedure according to RDO Asphalt and using the calibration asphalt from the RDO Asphalt, all 11 measuring points result in lower total asphalt thickness compared to method 2 of the RStO. The range of differences ranges from -3 cm to 6 cm. Under the practical point of view, an asphalt base course mixture with poor fatigue properties, higher total asphalt thicknesses are determined at 4 measuring points and lower total asphalt thicknesses at 6 measuring points. The variations of the differences is 3 cm to +5 cm. The asphalt pavement structure is designed according to method 1 of the RStO in comparison to the results according to the RDO asphalt with another asphalt mixture in 46% of the cases undersized and oversized in 36% of cases.

By applying the method developed for the determination of the design relevant axle load collective a much more realistic definition of the traffic load and thus the design of the layer structure is better adapted to the local conditions. From this it is possible to derive enormous economic potential by avoiding excessive layer thicknesses of the pavement structure of roads. The method also contributes to the further development and practical application of analytical pavement design, analytical pavement design using probabilistic approaches and design methods using FE-Models.

The analysis of actual, significantly more comprehensive data from axle load measurements on federal motorways should be used to adapt and expand the developed procedure in future. Based on mobile axle load measurements in the downstream network, the compilation of a comprehensive catalog of all types of heavy vehicles with average load-bearing-dependent axle load distributions could provide an important basis for determining design-relevant axle load collectives. Further investigations into possible correlations between the degree of loading and the location of the measuring point in the network would also allow the classification and assignment of specific standard parameters for the downstream network.