



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Bauingenieurwesen

Bewertung von Messergebnissen aus Großversuchen an Straßenbefestigungen zur Validierung von Simulationsrechnungen

Von der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte

DISSERTATION

von Dipl.-Ing. Rolf Rabe
geboren am 11. Januar 1970 in Dortmund

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner
Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser
Prof. Dr.-Ing. Sascha Kayser

Einreichung: 18. Juli 2024

Verteidigung: 28. Januar 2025

Kurzfassung

Bewertung von Messergebnissen aus Großversuchen an Straßenbefestigungen zur Validierung von Simulationsrechnungen

Straßenaufbauten sind stetig sich ändernden Randbedingungen wie Verkehrsstärke, Achslasten, Achs- und Bereifungskombinationen sowie Klimarandbedingungen ausgesetzt. Um einen Straßenaufbau belastungs- und materialgerecht zu dimensionieren, reichen empirische Verfahren oftmals nicht aus und rechnerische Verfahren werden erforderlich. Hierbei entsteht eine Vielzahl von straßenbautechnischen Fragestellungen, insbesondere die Frage nach der Validierung der Rechenverfahren. Für die im Rahmen der Dimensionierung erforderliche Berechnung der mechanischen Beanspruchungen eines Asphaltstraßenaufbaus stehen die Mehrschichtentheorie, die Finite Elemente Methode (FEM) sowie Hybridverfahren unter Anwendung der FEM und der Fourier Transformation zur Verfügung (SAFEM). Zudem ist nach den Richtlinien zur Dimensionierung eine Vielzahl von Berechnungsschritten durchzuführen, wobei es gilt, die Gesamtberechnungszeit in praxisgerechten Maßen zu halten. Dies kann mit einfachen Modellen und Annahmen wie z.B. statische Belastung und linear-elastisches Materialverhalten erreicht werden. Mit der sensorinstrumentierten Modellstraße in Asphaltbauweise im Maßstab 1:1 bei der Bundesanstalt für Straßenwesen steht eine Versuchsinfrastruktur zur Verfügung, mit der eine Reihe von straßenbautechnischen Fragestellungen beantwortet werden kann und die Lücke zwischen Laborversuch und Beobachtung von Straßen in situ geschlossen werden kann. In einem umfangreichen Versuchsprogramm mit Überfahrten verschiedener Lkw-Konfigurationen bei Variation der Achslasten, der Achs- und Bereifungskombination sowie der Geschwindigkeit als auch Belastung mit dem Falling Weight Deflectometer wurden die Biegedehnungen im Asphalt, die Druckspannungen auf den Schichten ohne Bindemittel, die Oberflächendeflektionen sowie die Asphalttemperaturen gemessen und ausgewertet. Hierbei wurde z.B. das linear-elastische Verhalten zwischen Vertikallast und erzeugter mechanischer Beanspruchung und somit auch impliziert das linear-elastische Materialverhalten im Rahmen der vorherrschenden Randbedingungen bestätigt. Eine wichtige Komponente ist die Bestimmung der E-Moduli der Asphalte basierend auf den aus den Messsignalen abgeleiteten Belastungsimpulsfrequenzen. Unter Berücksichtigung der adäquaten E-Moduli wurden verschiedene Varianten berechnet und den gemessenen Dehnungen im Asphalt und den Spannungen auf den Schichten ohne Bindemittel gegenübergestellt. Der Vergleich weist eine gute adäquate Annäherung der berechneten an die gemessenen Asphaltdehnungen auf. Somit kann für die Biegedehnungen im Asphalt eine Validierung des „einfachen“, linear-elastischen und statischen Berechnungsmodells mithilfe der SAFEM-Software bestätigt werden.

Schlagwörter: Asphalt, Rechnerische Dimensionierung von Straßenaufbauten, Mechanische Beanspruchung, Großversuch, Berechnung, Finite Elemente Methode, FEM, SAFEM

Abstract

Evaluation of measuring results from a full-scale pavement test to validate simulation computations

Road pavement structures are exposed to constantly changing boundary conditions such as traffic volume, axle loads, axle and tire combinations as well as climatic boundary conditions. Empirical design methods are often not sufficient to design a road pavement structure in accordance with load, structure and material, so computational methods are required. This gives rise to a large number of pavement engineering issues and in particular the validation of the computation methods. The linear-elastic-multi-layer theory, the Finite Element Method (FEM) and hybrid methods using a combination of FEM and Fourier Transformation (SAFEM-software) are available for the computation of the internal stresses and strains of an asphalt pavement structure within the scope of design. In addition, according to the regulations such as the RDO Asphalt 09 for design calculations, a large number of computation steps must be carried out so it is important to keep the total computation time within practical limits. This can usually be achieved with simplified models and assumptions such as static loading and linear-elastic material behavior. With the sensor-instrumented full-scale asphalt pavement test track at the Federal Highway Research Institute BAST, a test infrastructure is available with which a number of asphalt road pavement questions can be answered and the gap between laboratory tests and monitoring of road pavements in situ can be bridged. In an extensive test program with loading of different truck configurations with variations of axle loads, axle and tire configurations as well as vehicle speed and loading with the Falling Weight Deflectometer, the horizontal flexural strains in the asphalt, the vertical compressive stresses on the granular layers, the surface deflections and the asphalt temperatures are measured and evaluated. Here, for example, the linear-elastic behavior between vertical load and generated mechanical strains, stresses and surface deflections which implies linear-elastic material behavior was confirmed for the prevailing boundary conditions. An important component of the work was the determination of the adequate stiffness moduli for the viscous asphalt based on the load pulse frequencies derived from the measurement signals. Taking into account the appropriate E-Moduli, different variations were calculated and compared to the measured peak values of the asphalt strains and the stresses on the granular layer. The comparison shows a good adequate approximation of the measured asphalt strains to the calculated strains. Thus, for the flexural asphalt strains, a validation of the "simple", linear-elastic and static calculation model can be confirmed using the SAFEM-software.

Keywords: Asphalt, Analytical Pavement Design, Mechanical Stresses and Strains, Full Scale Pavement Test, Computation, Finite Element Method, FEM, SAFEM
