



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN,
INSTITUT FÜR STADTBAUWESEN UND STRASSENBAU, PROFESSUR FÜR STRASSENBAU

**EIN BEITRAG ZUR DIMENSIONIERUNG VON
STRASSENKONSTRUKTIONEN MIT DÜNNEN ASPHALTDECKEN
AUF TRAGSCHICHTEN OHNE BINDEMITTEL UNTER
BERÜCKSICHTIGUNG NICHTLINEAR ELASTISCHER
MATERIALEIGENSCHAFTEN**

DIPL.-ING. ANITA BLASL

geboren am 9. Januar 1981 in Annaberg-Buchholz

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

EINGEREICHT AM: 3. September 2021
VERTEIDIGT AM: 9. Dezember 2021

GUTACHTER:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. habil. Ronald Blab

EIN BEITRAG ZUR DIMENSIONIERUNG VON
STRASSENKONSTRUKTIONEN MIT DÜNNEN
ASPHALTDECKEN AUF TRAGSCHICHTEN OHNE
BINDEMITTEL UNTER BERÜCKSICHTIGUNG
NICHTLINEAR ELASTISCHER
MATERIALEIGENSCHAFTEN

A CONTRIBUTION TO THE DESIGN OF
PAVEMENT CONSTRUCTIONS WITH THIN
ASPHALT LAYERS ON UNBOUND BASE
COURSES UNDER CONSIDERATION OF
NON-LINEAR ELASTIC MATERIAL PROPERTIES

UNE CONTRIBUTION AU DIMENSIONNEMENT
DES CONSTRUCTIONS ROUTIÈRES, AVEC DES
REVÊTEMENTS BITUMINEUX MINCES SUR DES
COUCHES DE BASE GRANULÉE, EN TENANT
COMPTE DES PROPRIÉTÉS ÉLASTIQUES NON
LINÉAIRES DES MATÉRIAUX.

ANITA BLASL

Dimensionierung von flexiblen Strassenkonstruktionen

Dezember 2021 – V01

KURZFASSUNG

Um die Verwendung der Bauweise „dünne Asphalt­schicht auf Tragschicht ohne Bindemittel“ in Bereichen geringer Verkehrsbelastung in Deutschland zu forcieren, wird die Anwendbarkeit des derzeit gültigen Regelwerkes auf die genannte Bauweise überprüft und erarbeitete Hinweise zu notwendigen Anpassungen bzw. Erweiterungen bereitgestellt. Im Speziellen wird das Regelwerk RDO Asphalt unter Berücksichtigung der Anforderungen in dem Regelwerk RStO in Anwendung gebracht und weiterer Forschungsbedarf abgeleitet.

Auf Grundlage von umfassenden Berechnungen zu Beanspruchungszuständen und durchgeführten Dimensionierungsberechnungen, die durch eine große Varianz der hierfür erforderlichen Eingangsdaten geprägt sind, werden Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von flexiblen Straßenkonstruktionen mit nur dünnen Asphalt­schichten (von ca. 4 cm) aufgezeigt.

Das nichtlineare Materialverhalten der granularen Gesteinskorn­gemische wird dabei durch Anwendung eines nichtlinearen Stoffmodells, des DRESDNER Modells, berücksichtigt. Das DRESDNER Modell besteht aus zwei Ansatzfunktionen, die sowohl eine spannungsabhängige Formulierung des Elastizitätsmoduls als auch der Quer­dehnzahl bereitstellen.

Um eine sinnvolle bzw. praktikable Anwendung des DRESDNER Modells zu ermöglichen, werden zwei Varianten der Parameterbestimmung ausführlich anhand eines umfänglichen Beispiels vorgestellt und diskutiert. Auch werden der Einfluss der Korn­geometrie (d. h. anisotropen Materialverhaltens) und des Verdichtungs­zustandes auf prüf­technisch bestimmtes Materialverhalten und die darauf aufbauende Parameterbestimmung untersucht und somit die Einsatz­grenzen des verwendeten Stoffmodells aufgezeigt.

Anhand des DRESDNER Modells wird erläutert, wie Stoffmodelle, die ursprünglich unter Voraussetzung homogener Spannungszustände entwickelt wurden, für inhomogene Spannungszustände angepasst werden können.

Da Gesteinskorn­gemische nur über eine sehr begrenzte Fähigkeit verfügen, Zugspannungen aufnehmen zu können und das DRESDNER Modell nur für Beanspruchungen im Druck- und nicht im Zugbereich definiert ist, werden zwei von der Autorin erarbeitete Möglichkeiten vorgestellt, um auftretende Zugbeanspruchungen zu reduzieren. Die verschiedenen Modellvarianten werden ausführlich beschrieben und anhand von dimensionierungsrelevanten Kenngrößen und weiteren ausgewählten Beanspruchungszuständen sowie berechneten Nutzungsdauern bzw. Ausfallzeitpunkten bewertet. Zudem wird erklärt, was jeweils bei der Einbindung in Finite Elemente Berechnungsprogramme zu berücksichtigen ist. Die korrekte Einbindung des DRESDNER Modells wird anhand der Simulation von Ergebnissen aus Triaxialversuchen nachgewiesen.

Aus den verschiedenen Modellvarianten wird eine zu bevorzugende Variante ausgewählt. Für diese Variante werden anschließend die Ergebnisse einer umfassenden Parameterstudie vorgestellt. Variiert werden sowohl Modellbedingungen, wie Geometrie- und Randbedingungen, als auch belastungsspezifische Annahmen und Materialeigenschaften. Das DRESDNER Modell (d. h. ein nichtlineares Stoffmodell) wird hierbei erstmalig für eine rechnerische Dimensionierung nach den RDO Asphalt eingesetzt. Anhand umfänglicher Dimensionierungsberechnungen werden die Grenzen der derzeit geforderten Nachweise hinsichtlich deren Anwendbarkeit für Straßenbefestigungen mit dünnen Asphaltsschichten auf Tragschichten ohne Bindemittel aufgezeigt und die Notwendigkeit der Berücksichtigung des i. d. R. nichtlinearen Verhaltens von Gesteinskornmischen analysiert. Als Voraussetzung hierfür wird eine Möglichkeit vorgestellt, nichtlinear elastisches Materialverhalten durch lineares Materialverhalten zu repräsentieren.

Die Berechnung von Beanspruchungszuständen erfolgt mit den eigens hierfür in COMSOL erarbeiteten Finite Elemente Modellen. Anschließende Dimensionierungsberechnungen wurden mittels von der Autorin bereitgestellten EXCEL-Makros realisiert.

Ein Vergleich berechneter Beanspruchungszustände in verschiedenen Befestigungsvarianten mit im Triaxialversuch aufgebrauchten Belastungen (zur Bereitstellung von Prüfdaten zur Bestimmung von Modellparametern) bietet Richtwerte zur Ableitung notwendiger Prüfbedingungen.

ABSTRACT

To demonstrate the capabilities of the construction method „thin asphalt layer on unbound granular base course“ in areas of low traffic load in Germany, the applicability of the current national regulations to the construction method mentioned is examined and information is provided on necessary adaptations and extensions. In particular, the RDO asphalt regulations are applied, taking into account the requirements of the RStO regulations, and the need for further research is derived.

Based on comprehensive calculations on stress and strain conditions and design life calculations, which are characterised by a large variance in the input data required for this, the possibilities and limits of the use of flexible road constructions with only thin asphalt layers (of approx. 4 cm) are shown.

The non-linear material behaviour of the granular aggregate mixtures is taken into account by applying a non-linear material model, the Dresden model. The Dresden model consists of two initial functions, which provide both a stress-dependent formulation of the elastic modulus and the Poisson's ratio.

In order to enable a reasonable and practicable application of the Dresden model, two variants of parameter determination are presented and discussed in detail on the basis of a comprehensive example. The influence of the grain geometry (i.e. anisotropic material behaviour) and the state of compaction on the material behaviour - determined by testing - and the parameter determination based on it are also examined. Based on this the limits of the applied material model are presented.

Using the Dresden model, it is explained how material models, which were originally developed under the assumption of homogeneous stress conditions, can be adapted for inhomogeneous stress conditions.

Since aggregate mixtures have only a very limited ability to absorb tensile stresses, and the Dresden model is only defined for stresses in compression and not in tension, two possibilities, developed by the author, are presented to reduce occurring tensile stresses.

The different model variants are described in detail and evaluated on the basis of dimensioning-relevant parameters and other selected stress conditions as well as calculated service lives or failure times. In addition, it is explained what has to be taken into account when integrating the model variants into finite element calculation programs. The correct integration of the Dresden model is demonstrated and verified by simulating results from triaxial tests.

From the different model variants a preferred variant is selected. The results of a comprehensive parameter study are then presented for this variant. Model conditions, such as geometry and boundary conditions, as well as load-specific

assumptions and material properties are varied. The Dresden model (i.e. a non-linear material model) is used for the first time for a computational design of flexible pavements following the RDO Asphalt standards. On the basis of extensive design life calculations, the limits of the currently required verifications are shown with regard to their applicability for road pavements with thin asphalt layers on unbound granular base courses and the necessity of taking into account the generally non-linear behaviour of aggregate mixtures is analysed. As a prerequisite for this, an approach is presented to represent non-linear elastic material behaviour by linear material behaviour.

The calculation of stress conditions is carried out with the finite element models specially developed for this purpose in Comsol. Subsequent design life calculations were realised using Excel macros created by the author.

A comparison of calculated stress conditions in different pavement variants, with measured stresses obtained from triaxial tests provides orientation values for deriving necessary test conditions for future investigations.

RÉSUMÉ

Afin de pousser l'utilisation de la méthode de construction „couche d'asphalte mince sur la couche de base sans liant“ dans les zones à faible trafic en Allemagne, l'applicabilité de l'ensemble des règlements actuellement en vigueur à la méthode de construction mentionnée est examinée et des informations sur les adaptations ou extensions nécessaires sont fournies. En particulier, le règlement « RDO Asphalt » est appliqué, en tenant compte des exigences de règlement RStO, et le besoin de recherches supplémentaires en est déduit.

Les possibilités et les limites de l'utilisation de constructions routières flexibles avec des couches d'asphalte minces (d'environ 4 cm) sont présentées sur la base de calculs complets des états de contrainte, de déformation et de calculs de dimensionnement (qui sont caractérisés par une grande variance des données d'entrée nécessaires).

Le comportement non linéaire des mélanges de granulats est pris en compte en appliquant un modèle de matériau non linéaire : le modèle de Dresde. Le modèle de Dresde se compose de deux fonctions initiales, qui fournissent à la fois une formulation du module d'élasticité et de coefficient de Poisson en fonction de la contrainte.

Afin de permettre une application judicieuse et pratique du modèle de Dresde, deux variantes de détermination des paramètres sont présentées et discutées en détail sur la base d'un exemple complet. L'influence de la géométrie des grains (c'est-à-dire le comportement anisotrope du matériau) et de l'état de compactage sur le comportement du matériau déterminé par les essais et la détermination des paramètres qui en découle est également examinée, ce qui permet de montrer les limites d'application du modèle de matériau utilisé.

À l'aide du modèle de Dresde, on explique comment les modèles de matériaux, qui ont été développés à l'origine dans l'hypothèse de conditions de contraintes homogènes, peuvent être adaptés à des conditions de contraintes inhomogènes.

Comme les mélanges de granulats n'ont qu'une capacité très limitée à absorber les contraintes de traction et que le modèle de Dresde n'est défini que pour les contraintes en compression et non en traction, deux possibilités développées par l'auteur sont présentées pour réduire les contraintes de traction qui se produisent.

Les différentes variantes du modèle sont décrites en détail et évaluées sur la base des paramètres de dimensionnement et d'autres conditions de contrainte sélectionnées, ainsi que des durées de vie et des temps de défaillance calculés. En outre, il est expliqué ce qui doit être pris en compte lors de l'intégration du modèle dans les programmes de calcul par éléments finis. L'intégration correcte du modèle de Dresde est vérifiée en simulant les résultats d'essais triaxiaux.

Parmi les différentes variantes du modèle, une variante préférée est sélectionnée. Les résultats d'une étude exhaustive des paramètres sont ensuite présentés pour cette variante. Les conditions du modèle, telles que la géométrie et les conditions aux limites, ainsi que les hypothèses spécifiques à la charge et les propriétés des matériaux, sont variées. Le modèle de Dresde (c'est-à-dire un modèle de matériau non linéaire) est utilisé pour la première fois pour des calculs de dimensionnement selon le règlement « RDO Asphalt ». Sur la base de calculs de dimensionnement approfondis, les limites des vérifications actuellement requises sont montrées en ce qui concerne leur applicabilité pour les constructions routières avec des couches minces d'asphalte sur des couches de base sans liant et la nécessité de prendre en compte le comportement généralement non linéaire des mélanges de granulats est analysée. Comme condition préalable à cela, une possibilité est présentée de représenter le comportement élastique non linéaire des matériaux par un comportement linéaire des matériaux.

Le calcul des conditions de contrainte est effectué avec les modèles d'éléments finis spécialement développés à cet effet dans Comsol. Les calculs de dimensionnement ultérieurs ont été réalisés à l'aide de macros Excel fournies par l'auteur.

Une comparaison des conditions de contrainte calculées dans différentes variantes de fixation avec les charges appliquées dans l'essai triaxial (pour fournir des données d'essai permettant de déterminer les paramètres du modèle) fournit des valeurs guides pour dériver les conditions d'essai nécessaires.