

Erweiterte Analyse der thermischen Zustände in Straßenbefestigungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Einflüsse und stoffspezifischer Materialparameter

*Extended analysis of the thermal conditions in road pavements with particular
consideration of climatic conditions and material-specific properties*

Markus Clauß

Dissertation
Technische Universität Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau

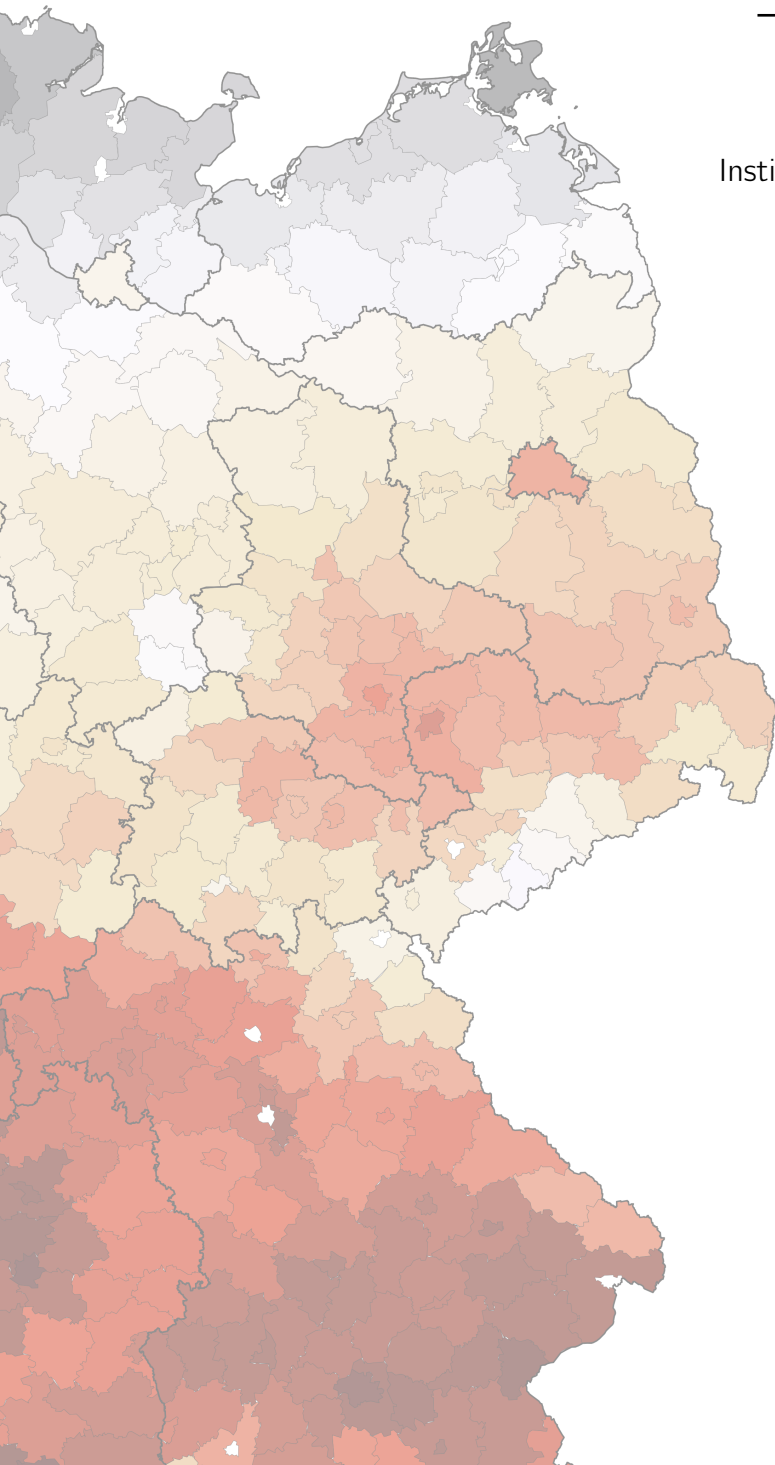
Tag der Einreichung: 08.10.2020
Tag der Verteidigung: 16.03.2021

Gutachter:

Prof. habil. Dr.-Ing. Frohmuth Wellner
Technische Universität Dresden
Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel
Universität Stuttgart
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Lehrstuhl für Straßenplanung und Straßenbau

Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg
Ruhr-Universität Bochum
Institut für Infrastruktur und Umwelt
Lehrstuhl für Verkehrswegebau



Kurzfassung

Das Nachweisverfahren für die Berechnung der Dauerhaftigkeit von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise beruht auf der Bewertung der mechanischen Beanspruchungen, hervorgerufen durch die Verkehrslasten und der Temperatur. Die Materialkennwerte der Asphalte sind stark von der Temperatur abhängig und somit ist eine möglichst exakte Beschreibung der thermischen Zustände von Straßenbefestigungen während der Nutzungszeit von hoher Bedeutung. Die in Deutschland gültigen Prognose- und Dimensionierungsverfahren berücksichtigen standardisierte Temperaturprofile, welche die Temperaturzustände in der Straßenbefestigung in Abhängigkeit der Oberflächentemperaturen charakterisieren. Randparameter wie die Stoffeigenschaften der Baustoffe oder die Geometrie der Straßenkonstruktionen haben danach keinen Einfluss auf die Wärmetransportvorgänge und die daraus ermittelten charakteristischen Temperaturzustände.

In den vergangenen Jahren war der Einfluss des Klimawandels auf die lokalen klimatischen Bedingungen messbar. Besonders Dürren und Hitzewellen im Sommer führen zu deutlichen Schäden an der Natur. Dies lässt vermuten, dass die Änderung in Folge des Klimawandels einen erheblichen Einfluss auf die Temperaturzustände von Straßenbefestigungen haben.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit lag auf der Bestimmung eines Verfahrens, mit dessen Hilfe die klimatischen Einflüsse, die Geometrie der Straßenkonstruktion und die stoffspezifischen Materialparameter berücksichtigt werden können. Dazu wurden Simulationsergebnisse der thermischen Zustände von Straßenkonstruktion ausgewertet und ein erweitertes Analyseverfahren zur Bestimmung von repräsentativen Temperaturzuständen entwickelt. Mithilfe eines Clusterverfahrens konnten anhand der stündlichen Temperaturzustände maßgebende Profile (Mittelwertfunktionen) abgeleitet werden, welche die Charakteristiken der Straßenkonstruktion berücksichtigen. Die Mittelwertfunktionen weisen gegenüber den bisherigen Ansätzen eine deutlich verminderte Abweichung zwischen den realen Temperaturzuständen und den zugehörigen synthetisch generierten Temperaturverläufen auf.

Mit dem Verfahren der Mittelwertfunktionen wurden detaillierte Analysen der Vulnerabilität der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland auf Basis der prognostizierten Einflüsse infolge des Klimawandels durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde für jeden Landkreis in Deutschland eine Simulation der thermischen und mechanischen Beanspruchungen durchgeführt und für die Ergebnisse der Nachweis auf Ermüdungsrisssbildung an der Unterseite der Asphalttragschicht sowie der Entwicklung der Spurrinnentiefe in Anlehnung an das Dimensionierungsverfahren nach den RDO Asphalt (2009) geführt.

Abschließend wurde an mehreren Fallbeispielen die Anwendbarkeit des Verfahrens der Mittelwertfunktionen gezeigt.

Als Schlussfolgerung dieser Arbeit kann abgeleitet werden, dass die thermischen Zustände in Straßenbefestigungen durch Verwendung der Mittelwertfunktionen mit deutlich geringeren Abweichungen und somit einer höheren Güte im Dimensionierungsverfahren verwendet werden können. Weiterhin wurde festgestellt, dass der Klimawandel einen essenziellen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Straßenbefestigungen in Asphaltbauweise in ganz Deutschland haben. Es ist zwingend notwendig, Maßnahmen aus den Erkenntnissen dieser Arbeit abzuleiten, um die Resilienz der Infrastruktur gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen.

Abstract

The procedure for dimensioning of asphalt pavements is based on the evaluation of the mechanical stresses caused by traffic loads and temperature effects. The material characteristics of asphalt are strongly dependent on temperature and hence, it is of utmost importance that we acquire the most accurate description of the thermal conditions of asphalt pavements during the life span. The prediction and dimensioning methods take standardised temperature profiles into account, which determine the temperature conditions in the asphalt layers depending on the characteristic surface temperature. Boundary parameters such as the material properties of building materials or the geometry of the pavements, therefore, have no influence on the heat transfer processes and the characteristic temperature conditions derived from them.

In recent years, the influence of climate change on local climatic conditions has been quantifiable. Especially, droughts and heat waves in summer have caused significant damage to nature. This is indicative that the changes resulting due to climate change will indeed have a significant impact on the temperature conditions of asphalt pavements in the future.

The main focus of this dissertation was the determination of a method that takes into account the climatic influences, the geometry of the road construction and the specific properties of the materials. For this purpose, the thermal conditions of pavements were evaluated by simulating results and an extended analysis method for the determination of relevant temperature conditions was developed. With the help of a cluster method, significant profiles (i.e. mean temperature functions) could be derived from the hourly temperature states, which take the characteristics of the road construction into account. Compared to the previous approaches, the mean temperature functions show a significantly reduced deviation between the real temperature states and the corresponding simulation-generated temperature curves.

Using the method of mean temperature functions, detailed analysis of the vulnerability of the transport infrastructure in Germany were carried out on the basis of the predicted future impacts of climate change. For this purpose, a simulation of the thermal and mechanical stresses was carried out for each district in Germany. The results acquired were used to prove the existence of fatigue cracking on the underside of the asphalt base layer and the development of the rut depth based on the dimensioning method according to the RDO Asphalt (2009).

As a conclusion of this dissertation, it can be deduced that the thermal conditions in road pavements can be utilised in the dimensioning process by using the mean temperature functions with significantly lower deviations, which would result in superior quality pavements. Furthermore, it was found that climate change has an essential influence on the durability of asphalt pavements throughout Germany. It is imperative to adopt measures from the findings of this work in order to increase the resilience of the German infrastructure to climate change.