

Asphaltbeanspruchung aus Beschleunigungsvorgängen

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs

Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Florian Schäfer

geboren am 30.06.1976 in Schweinfurt

2009

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	x
1 Einleitung	1
2 System der Fahrbahnbefestigung	3
2.1 Bemessung nach RStO.....	3
2.2 Bestimmung des Fahrbahnaufbaus	6
2.3 Modellierung der Fahrbahnkonstruktion.....	7
2.4 Theorie der Schädigung	10
3 Temperaturbeanspruchung	22
3.1 Grundprinzipien der Wärmeübertragung.....	22
3.2 Thermische Stoffparameter.....	28
3.3 Thermische Einflussgrößen.....	35
3.3.1 Lufttemperatur	35
3.3.2 Sonneneinstrahlung	37
3.3.3 Langwellige Strahlung	39
3.4 Temperaturverteilung mit FEM.....	40
3.4.1 Aufbau des Modells.....	40
3.4.2 Ergebnisse der Simulationen.....	42

3.5	Temperaturverteilung mit Differenzenverfahren	46
3.5.1	Theorie und Simulationsergebnisse.....	47
3.5.2	Sensitivitätsanalyse.....	50
3.5.3	Abschätzung der Temperaturverteilung	51
3.6	Temperaturbedingte mechanische Eigenschaften des Asphalts	58
4	Verkehrsbeanspruchung.....	64
4.1	Abschätzung der Beanspruchungsgröße.....	64
4.2	Ermittlung der Beanspruchungsform	75
4.2.1	Ergebnisse aus empirischen Untersuchungen.....	75
4.2.2	Kontaktdruckverteilung.....	82
4.2.3	Kontaktschubverteilung.....	90
5	Spannungsverteilung in der Fahrbahnbefestigung.....	97
5.1	Lastfälle.....	97
5.2	Ergebnisse der Spannungsberechnung.....	101
5.2.1	Vergleich 1: Reifentypen	103
5.2.2	Vergleich 2: Lastmodell.....	106
5.2.3	Vergleich 3: Fahrbahnaufbau und –zustand	109
5.2.4	Vergleich 4: Art der Beschleunigung.....	112
5.2.5	Vergleich 5: Höhe der Beschleunigung.....	116
5.2.6	Vergleich 6: Achskombinationen.....	120
6	Schädigungsverhalten	125
6.1	Ergebnisse der Schädigungsuntersuchung	125
6.1.1	Vergleich 1: Reifentypen.....	126
6.1.2	Vergleich 3: Fahrbahnaufbau und –zustand	128

6.1.3	Vergleich 4: Art der Beschleunigung	130
6.1.4	Vergleich 5: Höhe der Beschleunigung	132
6.1.5	Vergleich 6: Achskombinationen	133
6.2	Vergleich zu Tyre Configuration Factor	136
6.3	Anwendungsbeispiele	140
6.3.1	Steigungs- und Gefällestrecken	140
6.3.2	Spurrinnenentwicklung von Antriebsachsaggregaten	143
6.3.3	Vergleich zwischen 40 t- und 60 t-Fahrzeug	145
7	Schlussfolgerungen.....	148
7.1	Kernaussagen	148
7.2	Handlungsempfehlungen	151
7.3	Ausblick	153
8	Zusammenfassung	156
	Literaturverzeichnis	158
	Anlagen.....	166

Kurzfassung:

Spurrinnen sind ein häufiges Schadensbild bei Asphaltstraßen. Besonders oft treten diese an Langsamfahrstellen, Steigungsstrecken und Beschleunigungsbereichen auf. Folglich sind an deren Entstehung die von den Fahrzeugen in die Fahrbahn übertragenen Horizontalkräfte beteiligt. Deren genauer Einfluss auf die Fahrbahnkonstruktion hinsichtlich Wirkungsweise und Höhe ist noch nicht bekannt. Ebenso fehlen meist zur Beanspruchungsermittlung differenzierte Angaben über die Temperaturen in der Fahrbahnbefestigung. Aus diesem Grund wird hier vertieft auf die Temperaturverteilung über die Fahrbahntiefe und auf die zusätzliche Beanspruchung durch Kontaktschubspannungen eines Reifens aus Antriebs- und Bremskräften eingegangen.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Verkehrsbelastung durch Nutzfahrzeuge bei freiem Rollen, Antrieb und Bremsen. Daraus wird der Einfluss der durch Beschleunigungsvorgänge eingeleiteten Horizontalkräfte hinsichtlich Spannungsverteilung und Schädigungsverhalten bestimmt. Hierbei werden Beanspruchungen durch das Klima in die Berechnungen mit einbezogen, indem Temperaturverteilungen in der Fahrbahnbefestigung aus Wetterdaten ermittelt werden. Zudem werden die vertikalen und horizontalen Kräfte am Rad in Größe und Form bestimmt. Das Schädigungspotential wird im MOHR'schen Spannungsdiagramm aus der Differenz zwischen Hauptspannungskreis und Schädigungsfunktion ermittelt. Zur Abgrenzung gegenüber anderen Einflussgrößen werden die Auswirkungen aus dem Beschleunigungsvorgang mit Auswirkungen unterschiedlicher Reifentypen, Lastverteilungen in der Bodenaufstandsfläche, Bauklassen, Temperaturverteilungen und Achskonfigurationen miteinander verglichen. Abschließend werden eine Gegenüberstellung der hier entwickelten Berechnungsmethode mit dem Tyre Configuration Factor sowie als praktische Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse eine Überprüfung des Steigungsfaktors aus den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues, eine schematische Spurrinnenentwicklung über die Zeit und eine Schädigungsprognose für ein 60 t-Fahrzeug vorgenommen.

Durch die Vielzahl der in der Arbeit berücksichtigten Parameter ergeben sich umfassende Aussagen zum Schädigungsort und zum Schädigungspotential, nicht nur bei Antriebs- und Bremsvorgängen. Das neue Verfahren, mit dem aus den stündlichen Lufttemperatur- und Sonneneinstrahlungsdaten innerhalb eines Tages die Temperaturverteilung in der Fahrbahn bestimmt werden kann, und die hier entwickelte Methode zur Abschätzung des Schädigungspotentials helfen, auf den Einzelfall bezogene Fahrbahnbemessungen durchführen zu können.

Schlagwörter: Asphalt, Beschleunigungskräfte, Temperaturverteilung

Abstract:

Stresses in asphalt pavements due to acceleration forces

Rutting is a common kind of damage on asphalt roads. It develops most often in speed restriction sections as well as in incline and decline sections. Apparently horizontal forces transferred by vehicles to the road are involved. But the exact influence on the pavement in regard to mode and extent has not been identified so far. Moreover, there is a lack of detailed data of the temperature in the pavement, which are needed for calculating the inner stresses. The aim of the following study is both to determine the temperature distribution in the asphalt pavement using climate data and the additional pavement wear due to acceleration forces.

This study deals with the traffic load generated by commercial vehicles while rolling without traction, during propulsion and during deceleration. The influence of the horizontal forces produced by acceleration on the distribution of stresses and on the extent of deterioration is deduced. In order to include stresses created by climatic influences temperature gradients are calculated out of meteorological data. Furthermore, the vertical and horizontal forces at the tyre are determined in detail. The pavement wear is computed out of the distance between MOHR's circle and the curve of failure. In order to distinguish the effects of acceleration from other influences they are compared with the effects of different tyre models, load distributions in the contact patch, road classifications, temperature gradients and axial configurations. Finally the calculation method developed in this study will be compared with the tyre configuration factor. Practical applications of the findings are a verification of the slope factor of the German guideline for pavement dimensioning, a schematic development of ruts over time and a prediction of the deterioration caused by a 60 tons-vehicle.

Thanks to the considerable number of parameters included in the calculations reliable predictions of the location of and the potential for failure - not only during propulsion or deceleration - can be made. The new procedure for calculating the actual temperature gradient in the pavement out of the air temperature and the solar radiation data throughout one day and the new method for estimating the pavement wear help to get an exact and individual dimensioning of the pavement.

keywords: asphalt, acceleration forces, temperature gradients

1 Einleitung

Die Asphaltbauweise ist gegenüber den anderen Bauweisen für Fahrbahndecken weit verbreitet. Im Bundesfernstraßennetz sind ca. 72 % Bundesautobahnen und ca. 97 % Bundesstraßen asphaltiert [15]. Im untergeordneten Straßennetz dominieren ebenfalls Asphaltdecken gegenüber den Beton- oder Pflasterdecken. Obwohl die Asphaltbauweise so häufig eingesetzt wird, gibt es noch viele Unklarheiten über die Spannungsreaktionen und Schädigungsentwicklungen in der Fahrbahnbefestigung. Dies liegt im komplexen Verhalten des Baustoffgemisches Asphalt, da dieses aus drei Phasen - Gesteinskörnungen, Bitumen und Luft - aufgebaut ist. Die Gesteinskörnungen verhalten sich elastisch, das Bindemittel thermo-elastoviskos und viskoelastisch. Da die rheologischen Eigenschaften aller Komponenten in das Verhalten des Asphalts einfließen, reagiert dieser teilweise reversibel und teilweise irreversibel. Bei bituminösen Bindemitteln ist neben der Viskosität auch der Elastizitätsmodul temperaturabhängig, so dass zu einer genauen Ermittlung der Spannungsverteilung in der Fahrbahnbefestigung infolge einer Reifenüberrollung, zusätzlich zu den aufgebrachten Kräften, die Temperaturverteilung bekannt sein muss. Hinsichtlich des Schädigungsverhaltens zeigen die Asphaltbefestigungen, die standardmäßig auf Ermüdungsrisssbildung bemessen werden, heutzutage sehr oft Probleme durch Spurrinnenbildung. Die Spurrinnen, deren Entstehung durch schwere Fahrzeuge und hochsommerliche Bedingungen begünstigt wird, treten gehäuft an Langsamfahrstellen, an Steigungsstrecken und in Beschleunigungsbereichen auf. Ebenso kommt es an Lichtsignalanlagen bedingt durch Anfahr- und Bremsvorgänge vermehrt zu Wellenbildungen. Demzufolge sind an der Spurrinnen- und Wellenbildung häufig durch Beschleunigungsvorgänge eingeleitete Horizontalkräfte beteiligt, deren genauer Einfluss hinsichtlich Höhe der inneren Spannungen und Auswirkung im Schädigungsverhalten noch nicht bekannt ist. Beide Effekte wiederum sind für die Verkehrssicherheit relevant, da allgemein durch Längs- und Querunebenheiten Verkehrsteilnehmer, vor allem Motorradfahrer, gefährdet werden und bei Regen das in den Spurrinnen vorhandene Wasser zu Aquaplaning führt.

So gehen viele Faktoren in die Beanspruchungsberechnung und Bemessung ein, die bislang noch nicht ausreichend erforscht sind. Neben der exakten Kenntnis über das Verformungsverhalten des Asphalts muss ebenso die Belastung durch Klima und Verkehr in detaillierter Form vorliegen. Dementsprechend muss neben der Temperaturverteilung über die Fahrbahntiefe auch die zusätzliche Beanspruchung durch Kontaktschubspan-

nungen aus Antrieb und Bremsen in der Bodenaufstandsfläche von Reifen hinreichend bekannt sein.

In dieser Arbeit wird daher ein vertiefter Blick auf die Verkehrsbelastung durch Nutzfahrzeuge bei freiem Rollen, Antrieb und Bremsen gerichtet. Um die Auswirkungen in den Asphaltsschichten analysieren zu können, wird zuerst die Beanspruchung durch das Klima einbezogen, indem repräsentative Temperaturverteilungen in der Fahrbahnbefestigung aus Wetterdaten ermittelt und im Anschluss in den Berechnungen verwendet werden. Auch werden die aus der Überfahrt eines Rades auftretenden Kräfte in der Reifenaufstandsfläche in ihrer Größe und Form bestimmt. Der Einfluss der Beschleunigungsvorgänge hinsichtlich Spannungsverteilung und Schädigungsverhalten ergibt sich durch Vergleich mit dem freien Rollen und wird gegenüber anderen Einflussgrößen wie Reifentyp, vertikaler Lastverteilung in der Reifenaufstandsfläche, Bauklasse, Temperaturverteilung und Achskonfiguration abgegrenzt. Eine Gegenüberstellung der hier entwickelten Berechnungsmethodik zum Tyre Configuration Factor, die Überprüfung des Steigungsfaktors aus den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues, eine schematische Spurrinnenentwicklung über die Zeit und eine Schädigungsprognose für ein 60 t-Fahrzeug schließen die Arbeit ab.