

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

Eingereicht am
Disputation am

24. Januar 2014
14. Juli 2014

Berichterstatter

Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael P. Wistuba
Prof. Dr.-Ing. Ulf Zander



Axel Walther

Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen unter Berücksichtigung stündlicher Beanspruchungszustände

2014

Vorwort des Herausgebers

Dr.-Ing. Axel Walther, geb. 1975 in Braunschweig, ist seit 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Straßenwesen der TU Braunschweig tätig. Seine Arbeiten auf dem Gebiet der Dimensionierung von Straßenkonstruktionen auf der Grundlage von Modellen zu den Beanspruchungen und zum Materialverhalten sind wertvolle Beiträge für die Straßenforschung.

Mit der rechnerischen Dimensionierung, die auch das Thema dieser Arbeit ist, wird das Ziel verfolgt, die Zusammensetzung und die Dicke der Schichten eines Straßenaufbaus so festzulegen, dass die Anforderungen hinsichtlich Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt sind und eine ausreichend lange Lebensdauer resultiert. Zur Dimensionierung von Fahrbahnbefestigungen in Asphaltbauweise ist im deutschen Technischen Regelwerk ein Berechnungsverfahren dokumentiert. Nach diesem Berechnungsverfahren erfolgt die Abschätzung der Witterungsbeanspruchungen durch Festlegung der Häufigkeit des Auftretens von charakteristischen Temperaturverteilungen. Es sind 13 Temperaturverteilungen definiert, deren Häufigkeit des Auftretens nach Zuordnung zu einer von 4 Klimazonen in Deutschland geschätzt wird. Die Häufigkeiten aller 13 Temperaturverteilungen dienen als Eingangsgrößen in die rechnerische Dimensionierung. Die jeweilige Temperaturverteilung bestimmt die entsprechende temperaturabhängige Steifigkeitsverteilung in der Asphaltbefestigung und beeinflusst dadurch die resultierenden Primärwirkungen (Spannungen und Dehnungen) bei Beanspruchung. Ein Nachteil dieses Berechnungsverfahrens ist, dass die jährliche Temperaturverteilung aus Zeitreihen gemittelt wird und nicht mit der Jahresganglinie des Verkehrs korreliert. Somit bleiben extreme Beanspruchungssituationen – beispielweise Schwerverkehr bei sommerlichem Sonnenhöchststand – unberücksichtigt.

Axel Walther stellt in der Arbeit die Forschungsfrage, ob die bisher praktizierte Näherung zur Berücksichtigung der Witterungsbeanspruchungen bei der Dimensionierung zielführend ist und ob diese vorteilhaft durch einen neuen Berechnungsansatz ersetzt werden kann. Er konzentriert sich auf die Untersuchung der zeitlichen Erfassung von Witterungseinflüssen auf die Beanspruchung der Straße und löst das Problem der stundengenauen Abbildung der Temperaturverteilungen im Straßenaufbau während der Gebrauchsdauer. Die programmtechnische Lösung zur Bewältigung einer Vielzahl von Einzelberechnungen ist ein wesentlicher Teil der Arbeit.

Der von Axel Walther vorgeschlagene Ansatz zur detaillierten Ableitung von Temperaturverteilungen und zur zeitgenauen Überlagerung von resultierenden Beanspruchungszuständen aus verkehrs- und temperaturinduzierten Spannungen bietet gegenüber herkömmlichen Dimensionierungsverfahren den enormen Vorteil, dass infolge der zeitlichen Kopplung von Verkehrs- und Temperaturlast die resultierende Beanspruchung wesentlich realitätsnäher abgebildet wird. Damit hat er die Voraussetzung für viele weitere vorteilhafte Anwendungsmöglichkeiten geschaffen.

Die vorliegende Arbeit wurde von Axel Walther im Frühjahr 2014 an der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der TU Braunschweig zur Promotion eingereicht und erfolgreich als Promotionschrift angenommen.

Braunschweig, im Juni 2015

Michael P. Wistuba

Kurzfassung

Die „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht“ (RDO Asphalt 09) stellen ein alternatives Verfahren für die Dimensionierung von Straßenoberbauten in Asphaltbauweise gegenüber den Bauweisen gemäß den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO 12) im deutschen Regelwerk dar. Hier werden Beanspruchungszustände im Straßenoberbau berücksichtigt, die aus der Überlagerung von Häufigkeiten aus Verkehr und Temperatur für den geplanten Nutzungszeitraum resultieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein erweitertes Berechnungsverfahren umgesetzt, das die Erfassung von Beanspruchungen zu jeder Stunde innerhalb des geplanten Nutzungszeitraumes ermöglicht. Dieses erlaubt neben der verbesserten Erfassung einer Vielzahl von realistischen Lastfällen zusätzlich zu dem im deutschen Regelwerk definierten Ermüdungsnachweis von Asphalt („Bottom-Up-Cracking“) den Ermüdungsnachweis gegenüber der kälteinduzierten Rissbildung von oben („Top-Down-Cracking“, Ermüdung der Asphaltdeckschicht).

Durch Parameterstudien konnte gezeigt werden, dass die Berücksichtigung lokaler Temperaturdaten auf stündlicher Basis im Rahmen der rechnerischen Dimensionierung von entscheidender Bedeutung ist. Des Weiteren wurde gezeigt, dass bei den im Regelwerk dokumentierten standardisierten Bauweisen mit Asphaltdecke die prognostizierten Temperatureffekte aus der Klimaerwärmung, für den im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Nutzungszeitraum, nicht gesondert berücksichtigt werden müssen und dass eine ermüdungsbasierte Rissbildung bei Kälte parallel zur Lasteinleitung aufgrund von Überlagerungseffekten aus mechanogenen und kryogenen Zugspannungen, wenn überhaupt, nur in wenigen Ausnahmefällen nachgewiesen werden kann.

Abstract

The German pavement design guideline (RDO Asphalt 09) provides an alternative method to design pavement structures compared to the standardized superstructures according to RStO 12. Here stresses and strains within the pavement are taken into account, resulting from the superposition of frequencies of traffic and temperature for the design period.

In this thesis an advanced method for the mechanistic pavement design procedure has been introduced that allows the detection of stresses and strains at any hour within the design period. This allows an improved detection of realistic load cases. In addition to the defined procedure of asphalt fatigue resistance („Bottom-Up-Cracking“) within the German regulations a new approach, namely “Top-Down-Cracking” at cold temperatures, is taken into account.

Through parametric studies it was shown that the consideration of local temperature data on an hourly basis is crucial within the mechanistic pavement design procedure. Furthermore, it was shown that effects on the documented standardized asphalt pavement constructions due to global warming do not need to be considered for the time period taken into account in this work and that a fatigue-based cracking at cold temperatures, parallel to the load application by superposition from mechanical and cryogenic tensile stresses, if anything can be detected only in a few exceptional cases.

Inhalt

Kurzfassung	V
Abstract	VI
Inhalt	VII
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Ziel	2
1.3 Untersuchungsmethodik.....	2
2 Dimensionierung von Asphaltstraßen	3
2.1 Dimensionierungsmethoden.....	3
2.1.1 Empirische Dimensionierungsmethode	3
2.1.2 Analytische Dimensionierungsmethode	4
2.2 Schadensmodell	7
2.2.1 Rissbildung von unten „Bottom-Up-Cracking“	8
2.2.2 Rissbildung von oben	8
2.2.3 Kälteinduzierte Rissbildung von oben „Top-Down-Cracking“	9
3 Dimensionierungsrelevante Verkehrsbeanspruchung.....	21
3.1 Fahrzeugarten und Fahrzeugklassifizierung	21
3.2 Achslastverteilung des Schwerverkehrs.....	23
3.3 Verkehrsganglinien	24
3.3.1 Allgemeines Vorgehen zur Überführung typisierter Ganglinien in Stundenwerte.....	28
3.3.2 Anwendungsbeispiel zur Überführung typisierter Ganglinien in Stundenwerte	28
4 Dimensionierungsrelevante Beanspruchung durch Witterungsereignisse	30
4.1 Klima.....	30
4.1.1 Globale Erwärmung.....	30
4.1.2 In der Arbeit berücksichtigte Klimaszenarien	32
4.1.3 Das regionale Klimamodell REMO.....	33
4.2 Meteorologische Standardmessgrößen	35
4.2.1 Lufttemperatur	35
4.2.2 Windgeschwindigkeit	36
4.2.3 Luftfeuchtigkeit	36
4.2.4 Solarstrahlung.....	39
4.3 Wärmehaushalt des Straßenoberbaus.....	42
4.3.1 Strahlungsbilanz	42
4.3.2 Wärmeleitung	45
4.3.3 Untergrundtemperatur	47
4.3.4 Explizites Differenzenverfahren	47
4.3.5 Charakteristische Temperaturganglinien im Asphaltoberbau.....	50
4.3.6 Ermittlung des Temperaturganges auf stündlicher Basis	52
4.4 Wasserhaushalt und Frost	55
4.4.1 Frostsicherer Oberbau.....	55
4.4.2 Tragfähigkeit des Untergrundes und der Schichten ohne Bindemittel	58
5 Dimensionierungsrelevante Material- und Strukturgrößen	60
5.1 Materialparameter	60

5.1.1	Steifigkeit.....	60
5.1.2	Materialermüdung	66
5.1.3	Kälteverhalten.....	72
5.1.4	Querdehnzahl.....	74
5.2	Schichtenverbund.....	76
6	Zeitliche Überlagerung von Beanspruchungszuständen	80
6.1	Umsetzung in eine Programmumgebung	82
6.2	Entwicklung und Validierung eines Mehrschichtenprogramms	86
6.3	Auswirkungen mechanogener und kryogener Zugspannungen auf den Nachweis „Top-Down-Cracking“	91
6.3.1	Ermittlung mechanogener Biegezugspannungen am Beispiel Innsbruck.....	91
6.3.2	Ermittlung kryogener Biegezugspannungen am Beispiel Innsbruck.....	92
6.3.3	Überlagerung von mechanogenen und kryogenen Spannungen.....	93
6.4	Dimensionierungsberechnungen.....	96
6.4.1	Einganggröße Verkehr	96
6.4.2	Einganggröße Temperatur.....	97
6.4.3	Eingangsrößen, Schichtaufbau und Materialkennwerte	99
6.5	Berechnungsergebnisse „Bottom-Up-Cracking“	103
6.5.1	Berechnungsergebnisse unter Verwendung charakteristischer Temperaturganglinien .	103
6.5.2	Berechnungsergebnisse unter Verwendung stündlicher Temperaturganglinien.....	103
6.6	Berechnungsergebnisse „Top-Down-Cracking“	107
7	Zusammenfassung.....	110
7.1	Ausgangssituation	110
7.2	Ergebnis der Arbeit	111
7.3	Ausblick	112
8	Literatur	114
9	Anhang	123