



Jens Grönniger

Ansprache der inneren Struktur von Asphalt und Einfluss auf ausgewählte Asphalteigenschaften

2018

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

Eingereicht am
Disputation am

05. Mai 2017
31. Juli 2017

Berichterstatter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael P. Wistuba
apl. Prof. (a. D.) Dr.-Ing. habil. Peter Renken

Danksagung

Zu allererst möchte ich Professor Michael P. Wistuba für sein Vertrauen und die unermüdliche Unterstützung bei meiner Arbeit am Institut danken. So war er für mich durch seinen fachlichen Rat und durch seine freundschaftliche und unkomplizierte Art ein Doktorvater wie man ihn sich wünscht. Nicht zuletzt hat er es mir durch den notwendigen Freiraum erst ermöglicht, die Arbeit zu vollenden.

Professor Peter Renken danke ich für seine Bereitschaft, als Zweitprüfer meine Arbeit unter die Lupe zu nehmen und durch seine Erfahrung wichtige Impulse zum Gelingen der Dissertation beizutragen. Für die Mitwirkung bei der Verteidigung meiner Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Gerke als Prüfer, sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Meon als Vorsitzenden der Prüfungskommission danken.

Ein herzliches Dankschön gilt auch meinen Kolleginnen und Kollegen am ISBS. Durch ihren aufmunternden Zuspruch haben sie mir stets die notwendige Motivation und Ausdauer in der Bearbeitungsphase gegeben.

An dieser Stelle sei auch der Gerhard und Karin Matthäi Stiftung aufrichtig gedankt, die meine Promotion gefördert hat.

Zu guter Letzt bin ich meiner Familie für Ihre Geduld und das bedingungslose Vertrauen in mich überaus dankbar.

Vorwort des Herausgebers

Beim Einbau von Walzasphalt wird das Asphaltmischgut durch Walzen mittels Walzenzügen verdichtet. Das Walzen hat zum einen den Zweck, die Schichtdicke gleichmäßig auf ein Sollmaß einzustellen, und zum anderen spätere Verformungen vorwegzunehmen um eventuelle Schäden zu vermeiden. Denn es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Verdichtungsleistung und der Lebensdauer der Asphaltstraße. Daher wird der Verdichtungsleistung beim Einbau eine hohe Bedeutung zugemessen, und Art, Gewicht und Anzahl der Walzen werden auf die Einbauleistung, die resultierende Schichtdicke, die Asphaltmischgutart mit oder ohne viskositätsverändernde oder sonstige Zusatzmittel sowie auf die Witterung abgestimmt. Im Anlieferungszustand ist das Asphaltmischgut noch heiß, bei einer Mischguttemperatur von mindestens 130 bis 195°C abhängig vom enthaltenen Bindemittel. Während Einbau und Walzvorgang kühlt das Mischgut aus und es ergibt sich in Abhängigkeit der Mischgutviskosität und der Witterung ein enges Zeitfenster für die Verdichtung. Die Überprüfung der Verdichtungsleistung erfolgt anhand von Bohrkernen aus der fertigen, ausgekühlten Asphaltenschicht. Am Bohrkern werden der Hohlraumgehalt und der Verdichtungsgrad bestimmt. Beide Kenngrößen dürfen bei jeder aus der Verkehrsflächenbefestigung aus Asphalt zu entnehmenden Probe im Regelwerk definierte Grenzwerte nicht unterschreiten. Im Labor kann der Verdichtungsprozess durch die Walze mit einem Walz-Sektor-Verdichtungsgerät simuliert werden, wie es hier in Braunschweig vor Jahrzehnten entwickelt wurde und heute international weit verbreitet ist. Im Walz-Sektor-Verdichtungsgerät wird das Asphaltmischgut in einem Formkasten zu Platten verdichtet, indem ein der Walzenbandage nachempfundenes Stahlsegment auf dem Mischgut drückend und ausreichend lang hin und her bewegt wird. Während der Laborverdichtung kann die Verdichtungsleistung durch Messung von Kraft und Weg aufgezeichnet werden. So können im Labor aus einem Asphaltmischgut unter kontrollierten Verdichtungsbedingungen mehrere Platten mit gleichem Hohlraumgehalt und gleichem Verdichtungsgrad hergestellt und aus diesen Probekörper für weitere Prüfungen geschnitten bzw. gebohrt werden. In nachfolgenden Ermüdungs- und Verformungsprüfungen wurde allerdings festgestellt, dass hinsichtlich Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad gleiche Probekörper nicht zwingend dasselbe Gebrauchsverhalten aufweisen müssen. Denn was durch die Kenngrößen Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad nicht beschrieben wird, ist die innere Struktur des Gesteinsskeletts, das sich für jedes Asphaltmischgut in Abhängigkeit von den Verdichtungsbedingungen individuell ausbildet. Asphalt, im Wesentlichen bestehend aus Gesteinskörnung und dem Bindemittel Bitumen, ist noch während der Verdichtung eine zähflüssige Masse, dessen Gesteinskörner sich unter dem Gewichtsdruck der Walze und gegebenenfalls durch eine vibratorische Erregung der Walzenbandage in einem Fließvorgang ungeordnet bewegen. Nach dem Auskühlen entsteht eine zufällige innere Struktur, deren Auswirkung auf das Gebrauchsverhalten bisher unzureichend untersucht wurde. Dabei liegt der Verdacht nahe, dass die innere Asphaltstruktur, also beispielsweise die Verteilung der Hohlräume, die Anzahl an Kontaktpunkten des Gesteinskörnungsgerüsts sowie die Orientierung der Einzelkörner, das Gebrauchsverhalten der Asphaltbefestigung unter Belastung beeinflusst. Und vermutlich reichen Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad nicht aus, um die Verdichtungsleistung ausreichend zu beschreiben.

Der Autor Dr.-Ing. Jens Grönniger, geb. 1980 in Mainz, ist seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter und seit 2017 als Akademischer Rat und stellvertretender Prüfstellenleiter am Institut für Straßenwesen der TU Braunschweig tätig. Seine breite wissenschaftliche Publikationstätigkeit umfasste u. a. die Themen Haftverhalten zwischen Bitumen und Gestein, Einfluss der Asphaltmörtelphase auf die wesentlichen Asphalteeigenschaften und Wiederverwendung von Ausbauasphalt. Mit der in diesem Heft publizierten Arbeit, die 2017 als Dissertation an der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der TU Braunschweig zur Promotion eingereicht und erfolgreich als Promotionschrift angenommen wurde, stellt Jens Grönniger die Forschungsfrage: Beeinflusst die innere Asphaltstruktur das Gebrauchsverhalten, und anhand welcher einfach zu bestimmender Parameter kann die innere Asphaltstruktur beschrieben werden? Dazu untersuchte er im Labor insgesamt fast 30 verschiedene Asphaltgemische, unter Variation der Gesteinsart, der Asphaltgranulatzugabe, der Bindemittel und der Additivzugabe. An Probekörperquerschnitten wurden mittels Flachbettscanner Digitalbilder angefertigt und die Digitalbilder mittels digitaler Bildanalyse untersucht. Es wurden verschiedene Indizes zur Beschreibung der inneren Struktur ausgewertet. Dann wurde das Gebrauchsverhalten der Asphaltgemische geprüft anhand von Zug-Schwellversuchen zur Ansprache des Ermüdungswiderstandes und anhand von Triaxialprüfungen zur Ansprache des Verformungswiderstands. Die Prüfergebnisse wurden im Hinblick auf Zusammenhänge mit ausgewählten Strukturindizes untersucht. Als Ergebnis der Dissertation kann festgehalten werden, dass die zweidimensionale Bilderfassung und anschließende Bildanalyse erfolgreich zur Bestimmung von Parametern für die Charakterisierung der Asphaltstruktur eingesetzt wurden und die grundsätzliche Eignung der Bildanalyse zur Charakterisierung der Asphaltstruktur nachgewiesen ist. Es wurden ferner statistisch signifikante Zusammenhänge gefunden zwischen dem Gebrauchsverhalten von Asphalt und der inneren Struktur. Am deutlichsten zeigt sich dieser Zusammenhang zum Ermüdungswiderstand. Mit zunehmenden Kontaktlängen zwischen den Gesteinen werden höhere Bruchlastwechselzahlen erreicht und umso einheitlicher die Kontaktorientierung desto widerstandsfähiger ist die Asphaltstruktur gegenüber der Dauerbeanspruchung. Für die Praxis bedeuten die Ergebnisse der Dissertation, dass es aus materialtechnologischer Sicht einen Bedarf gibt, die Kontrolle der Verdichtungsleistung auf der Asphaltbaustelle zu verbessern, weil Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad keine ausreichenden Merkmale dafür sind. Im Hinblick auf die Prüfpraxis im Labor sind im Rahmen von zyklischen Laborprüfungen die Schwankungen in den Probekörpereigenschaften auf die Prüfergebnisse näher zu untersuchen und gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Jens Grönniger hat mit dieser Dissertation erfolgreich wichtige Bausteine zur Weiterentwicklung von Methoden zur Beschreibung der Asphalteeigenschaften geschaffen. In der Wissenschaft wie privat wünsche ich meinem lieben Kollegen weiterhin viel Freude und Erfolg,

Braunschweig, im Mai 2018

Michael P. Wistuba

Kurzfassung

Zu den grundlegenden Einflussfaktoren auf das Gebrauchsverhalten von Asphalt zählt die Mischgutzusammensetzung, also die Wahl der Gesteinsart, einer Korngrößenverteilung und die Festlegung der Bindemittelart/-sorte und -menge. Nach der Verdichtung bildet sich eine innere Asphaltstruktur aus, die durch die konventionellen volumetrischen Kenngrößen Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad kaum abgebildet wird. Da gleiche Asphalte mit vergleichbarem Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad jedoch ein sehr unterschiedliches Gebrauchsverhalten aufweisen können, ergibt sich die Notwendigkeit, die innere Asphaltstruktur mittels geeigneter Strukturindizes zu beschreiben, um den Einfluss auf das Gebrauchsverhalten prognostizieren zu können.

Ziel der Arbeit war es, den Einfluss der inneren Asphaltstruktur und der Mörtelviskosität auf den Ermüdungs- und Verformungswiderstand zu untersuchen. Dazu wurden Asphalte unter Variation der Gesteinsart, der Asphaltgranulatzugabe und der Additivzugabe gemischt und Asphalt-Probekörper für Zug-Schwellversuche zur Ansprache des Ermüdungswiderstandes und für Triaxialprüfungen zur Ansprache des Verformungswiderstands hergestellt. An Probekörperquerschnitten wurden mittels Flachbettscanner Digitalbilder erfasst und daraus mittels digitaler Bildanalyse Strukturindizes gewonnen, die die innere Asphaltstruktur hinreichend genau abbilden. Dabei wurden kontaktbasierte (bspw. Anzahl Gesteinskontakte) sowie orientierungsbasierte Indizes (Kontaktorientierung) berücksichtigt. Die Strukturindizes wurden mit den Ergebnissen der unterschiedlichen Versagensmechanismen Ermüdung und Verformung auf Zusammenhänge untersucht. Zusätzlich wurde mittels dynamischem Scherreometer die Asphaltmörtelviskosität bestimmt und deren Einfluss auf die resultierende innere Asphaltstruktur untersucht.

Auf Basis der Ergebnisse kann die aufgestellte These, dass das Gebrauchsverhalten von Asphalt durch die „innere Struktur“ maßgeblich mitbestimmt wird für den Ermüdungswiderstand und mit Einschränkungen für den Verformungswiderstand bestätigt werden. Dagegen konnte kein systematischer Einfluss der Asphaltmörtelviskosität auf die resultierende innere Asphaltstruktur identifiziert werden.

Abstract

Among the major influencing factors on the asphalt performance is the mix composition, i. e. the aggregate type, the gradation and the choice of the binder type and binder content. After compaction, an inner asphalt structure is formed which is not represented by the conventional volumetric parameters void content and degree of compaction. However, as similar asphalts with comparable void content and degree of compaction can show very different performance characteristics, there is a need to describe the inner asphalt structure by means of suitable structural indices in order to be able to predict the influence on the asphalt performance.

The aim of the study was to investigate the influence of the inner asphalt structure and the asphalt mortar viscosity on the fatigue and deformation resistance. For this purpose asphalt mixtures were produced under variation of the aggregate type, the addition of reclaimed asphalt and the addition of additives. Subsequently asphalt specimens for tensile swelling tests to address the fatigue resistance and for triaxial tests to address the deformation resistance were prepared. By means of a flat bed scanner, digital images of specimen cross-sections were acquired and, using digital image analysis, structural indices were obtained which represented the inner asphalt structure accurately and reliably. Contact-based structural indices (e.g. number of stone contacts) and orientation-based indices (contact orientation) were taken into account. The structural indices were compared to the results of the different failure mechanisms fatigue and deformation to identify potential correlations. In addition, the asphalt mortar viscosity was determined by means of dynamic shear rheometer and the influence on the resulting inner asphalt structure was investigated.

On the basis of the results, the proposed thesis that the performance characteristics of asphalt are significantly influenced by its "inner structure" can be confirmed for the fatigue resistance and with restrictions for the deformation resistance. On the other hand, no systematic influence of the asphalt mortar viscosity on the resulting inner asphalt structure could be identified.

Inhalt

Kurzfassung	V
Abstract	VI
Inhalt	VII
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Problemstellung	1
1.2 Ziel.....	3
1.3 Untersuchungsmethodik	4
2 Grundlagen und Stand der Technik zur Strukturanalyse	6
2.1 Digitale Bildanalyse	6
2.1.1 Bildgewinnung	8
2.1.2 Bildverarbeitung.....	12
2.1.3 Bildanalyse und -auswertung	19
2.2 Anwendung auf Asphalt	24
2.2.1 Charakterisierung der Gesteinskörnung	25
2.2.2 Charakterisierung der inneren Asphaltstruktur	28
2.3 Zusammenfassung der für die Auswahl eines Bildanalyseverfahrens notwendigen Erkenntnisse.....	37
3 Grundlagen zur Asphaltmörtelcharakterisierung	40
3.1 Definition Asphaltmörtel	40
3.2 Funktion des Asphaltmörtels	40
3.3 Einflussfaktoren auf die Asphaltmörtelviskosität und Auswirkung im Asphalt	41
3.4 Rheologische Charakterisierung.....	45
3.4.1 Grundlagen der Rheologie	45
3.4.2 Rheologie des Asphaltmörtels.....	49
4 Untersuchungsprogramm.....	51
4.1 Eingesetzte Baustoffe	52
4.1.1 Gesteine.....	52
4.1.2 Bitumen	52
4.1.3 Wachsadditive	52
4.1.4 Asphaltgranulate.....	54
4.1.5 Asphaltherstellung.....	54
4.2 Prüfungen der Baustoffe.....	59
4.2.1 Asphaltmörtelprüfungen.....	59
4.2.2 Asphaltprüfungen	62
4.3 Strukturindizes mittels Bilderfassung und -analyse	68
4.3.1 Bilderfassung.....	68
4.3.2 Bildanalyse	70
5 Untersuchungsergebnisse und Interpretation	77
5.1 Zusammenhang zwischen innerer Asphaltstruktur und volumetrischen Kenngrößen	77

5.2	Zusammenhang zwischen innerer Asphaltstruktur und Ermüdungswiderstand.....	80
5.2.1	Korrelationen in Abhängigkeit von der Prüftemperatur	82
5.2.2	Korrelationen in Abhängigkeit von der Art der Wachsmodifikation.....	92
5.2.3	Korrelationen in Abhängigkeit von der Zugabemenge des Asphaltgranulats... 94	
5.3	Zusammenhang zwischen innerer Asphaltstruktur und Verformungswiderstand....	96
5.3.1	Korrelationen in Abhängigkeit von der Art des Asphaltgranulats.....	97
5.3.2	Korrelationen in Abhängigkeit von der Zugabemenge des Asphaltgranulats.	100
5.3.3	Korrelationen unbelastete innere Asphaltstruktur.....	102
5.4	Einfluss der Asphaltmörtelviskosität auf innere Asphaltstruktur.....	105
5.4.1	Korrelationen komplexer Schermodul und Phasenwinkel	105
5.4.2	Korrelationen Äqui-Schermodul-Temperatur und Phasenwinkel.....	111
5.5	Schlussfolgerungen.....	116
6	Zusammenfassung.....	119
6.1	Problemstellung	119
6.2	Vorgehen	120
6.3	Ergebnis und Ausblick.....	121
7	Literatur.....	123
8	Anhang	132