



Alexander Alisov

Typisierung von Bitumen mittels instationärer Oszillationsrheometrie

2017

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: 09.06.2017

Disputation am: 17.10.2017

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael P. Wistuba
Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg

Danksagung

Die Veröffentlichung der Dissertation ist der letzte Schritt eines Promotionsverfahrens. Ein solches Vorhaben erfolgreich abzuschließen ist von vielen Randbedingungen abhängig, vor allem jedoch von dem umgebenden Personenkreis. Ich schätze mich glücklich, in dieser Lebensphase von außergewöhnlich motivierenden, inspirierenden, kritischen und unterstützenden Wegbegleitern umgeben gewesen zu sein.

Insbesondere sind dabei zu nennen:

Prof. Michael Wistuba für die inhaltliche Betreuung, die vielen Freiheiten bei der Ausübung von Forschungstätigkeiten, das große Vertrauen in meine Person sowie das freundschaftliche Miteinander.

Prof. Martin Radenberg für die bereitwillige Übernahme des Zweitgutachtens und des fachlichen Austauschs, insbesondere durch tangierende Forschungsarbeiten und Gremientätigkeiten.

Tobias Hagner für die intensive Diskussion technischer Sachverhalte, Aufklärung über die Funktionsweise des deutschen und europäischen Regelwerks sowie der Bereitstellung von Materialproben zur Validierung von Prüfergebnissen.

Die wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter des ISBS für intensiven fachlichen Diskurs und viel Geduld bei Auseinandersetzungen mit technischen Details und ausdauernder Ausführung von Sondertätigkeiten im Labor.

Meiner Frau Alina für die vielen motivierenden Worte, dem Verständnis für den nötigen Zeitaufwand (insbesondere in der Schlussphase) sowie für die Freistellung von der Hausarbeit. In der Vorbereitungszeit auf die Disputation erblickte unser Sohn Amarin das Licht der Welt. Speziell in dieser Zeit war ihr Einsatz beachtlich.

Meiner Familie für das immerwährende Interesse, die vielen mutmachenden Worte und der Unterstützung bei der Korrektur der Endfassung.

Gern denke ich an die schönen Jahre am Institut für Straßenwesen der TU Braunschweig zurück.

Euch / Ihnen allen gilt mein besonderer Dank!

Vorwort des Herausgebers

Zur Prüfung der Bitumeneigenschaften stehen vielfältige Prüfverfahren zur Verfügung. Es gibt einige traditionelle, etwa 100 Jahre alte, einfache Laborprüfverfahren, die darauf abzielen, empirische Indizes oder Kennwerte zu ermitteln, die erfahrungsgemäß mit dem Gebrauchsverhalten der Asphaltdecke korrelieren. Dazu zählen beispielsweise die Bestimmung der Nadelpenetration, des Erweichungspunktes Ring und Kugel oder der elastischen Rückstellung, die nach europäischer Norm und Regelwerk die maßgebenden Prüfgrößen zur Charakterisierung von Bitumeneigenschaften liefern und zur Klassifikation von Bitumen herangezogen werden. Allerdings verlieren diese einfachen Prüfverfahren wegen der heute zunehmenden Komplexität der Bitumen an Aussagekraft und Zuverlässigkeit, insbesondere bei Polymermodifikation und/oder Mitverwendung von Recyclinganteilen. Dann sind die Prüfergebnisse oft irreführend oder zu ungenau. Alternative Bitumen-Prüfverfahren sind jene, die darauf abzielen, physikalisch eindeutige, rheologische Kennwerte für die Performance zu ermitteln. Dazu zählt beispielweise das Prüfen mit dem Dynamischen Scherrheometer (DSR). Solche Performance-Prüfverfahren werden in Forschungseinrichtungen seit vielen Jahren eingesetzt und stets weiterentwickelt. Diese werden aber routinemäßig, d. h. bei der Abwicklung von Bauprojekten kaum angewandt, weil sie im Allgemeinen als zu aufwändig bzw. zu komplex angesehen werden und keine einfachen Aussagen liefern. Weil aussagekräftige, einfache Prüfverfahren fehlen, steht die asphaltverarbeitende Straßenbauindustrie zunehmend vor dem Problem, dass ein regelwerkskonformes modifiziertes Bitumen oft nicht taugt und die Asphaltdecke, für die die Baufirma haftet, frühzeitig versagt. Alexander Alisov findet eine Lösung für dieses Dilemma, indem er unter Verwendung des rheologischen Prüfgeräts DSR eine neue Prüfmethodik als Ersatz für die Verfahren Erweichungspunkt Ring und Kugel sowie Nadelpenetration entwickelt, mit deren Hilfe die Bitumeneigenschaften im hohen Temperaturbereich eindeutig bestimmt werden können – und dies für jedes Bitumen bei praxistauglicher Versuchsdurchführung. Weil das Verfahren sehr einfach innerhalb von nur einer Stunde durchzuführen und somit auch in der Prüfroutine umsetzbar ist, gibt er ihm den Namen "Bitumen-Typisierungs-Schnell-Verfahren", kurz BTSV.

Mit dieser Arbeit hat Herr Dr.-Ing. Alexander Alisov im Herbst 2017 sein Promotionsstudium an der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Braunschweig mit Auszeichnung abgeschlossen. Ich gratuliere ihm dazu ganz herzlich und freue mich, die Promotionschrift im Rahmen der Schriftenreihe des ISBS herausgeben zu dürfen.

Braunschweig, im November 2017

Michael P. Wistuba

Kurzfassung

„Typisierung von Bitumen mittels instationärer Oszillationsrheometrie“

Die Modifikation von Straßenbaubitumen gewinnt seit den 1970er Jahren immer mehr an Bedeutung, wodurch die Komplexität dieser Stoffgemische zunimmt. Der Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK) existiert mittlerweile etwa 100 Jahre und stellt ein im deutschen Regelwerk stark verankertes und wichtiges Prüfverfahren zur Beurteilung der Bitumengüte im Rahmen der vertraglichen Bauabwicklung dar. Über die Unzulänglichkeiten im Hinblick auf die Beurteilung des Kennwertes EP RuK bei der Prüfung komplexer Bitumen (wie z. B. Polymermodifizierte Bitumen oder Viskositätsveränderte Bitumen) wird in der Literatur oft berichtet.

Oszillationsmessungen im Dynamischen Scherrheometer erlauben die Ermittlung maßgebender Bitumeneigenschaften über einen weiten Temperaturbereich und werden daher im Rahmen von Erfahrungssammlungen in Deutschland zunehmend angewandt. Die vergleichsweise aufwendige und zeitintensive Durchführung von Oszillationsmessungen, die bitumenspezifischen Regelungsvorgaben sowie die vielfältigen Interpretationsmöglichkeiten der Prüfergebnisse stehen derzeit einer flächendeckenden Anwendung im Wege.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Grenzen der Anwendbarkeit des Erweichungspunktes Ring und Kugel aufgezeigt und eine neue Systematik entwickelt, die eine einfache und gegen Prüffehler robuste Ansprache relevanter Bitumeneigenschaften im oberen Gebrauchstemperaturbereich unter geringem Zeitaufwand ermöglicht. Das dafür entwickelte Bitumen-Typisierungs-Schnell-Verfahren (BTSV) erlaubt mittels instationärer spannungsgeregelter Oszillationsrheometrie die Ermittlung jener Temperatur, bei der ein Bitumen bei einer Frequenz von 1,59 Hz einen Komplexen Schermodul von $G^* = 15 \text{ kPa}$ ($T_{\text{(BTSV)}}$) aufweist, sowie des korrespondierenden Phasenwinkels ($\delta_{\text{(BTSV)}}$). Über diese beiden Kennwerte lassen sich unterschiedliche Bitumen differenzieren, wobei $T_{\text{(BTSV)}}$ im Falle von Straßenbaubitumen dem EP RuK entspricht. Somit bleibt der bestehende Erfahrungshintergrund zu den Kennwerten des EP RuK erhalten. Auf Grundlage umfangreicher Untersuchungen erfolgt die Überführung konventionell klassifizierter Bitumen in eine neue rheologische Systematik unter Anwendung des BTSV sowie die Beschreibung des Bitumenalterungsverhaltens und des Vorgehens bei der gezielten Einstellung von bitumenhaltigen Stoffgemischen.

Abstract

„Typification of bitumen using transient oscillation rheometry“

Since the 1970ies modification of road construction bitumen is becoming more and more important, resulting in a growing complexity of material blends. The determination of the Ring and Ball Softening Point (SP R&B) is a highly important testing method for the evaluation of bitumen quality in the context of road construction engineering and is broadly referenced in the German Technical Specifications. Even though, literature often reports deficiencies in evaluating the SP R&B when complex bitumen (such as polymer or viscosity modified bitumen) are tested.

Oscillation measurements by Dynamic Shear Rheometer allow the determination of relevant bitumen properties within a wide range of temperature and are therefore increasingly applied in Germany for research purposes. But to the present day, a comprehensive application of this method is constrained by the comparatively complex and time-consuming measuring procedures, by bitumen specific regulations and by broad interpretation possibilities concerning the measuring results.

The intention of this thesis is to show limitations of the applicability of the Ring and Ball Softening Point, as well as to develop a new system which allows an easily conducted, less susceptible and less time-consuming assessment of relevant bitumen properties at elevated temperatures. For this purpose, a bitumen typification procedure called BTSV (German: Bitumen-Typisierungs-Schnell-Verfahren) was developed. By means of transient stress-controlled oscillation rheometry, both the temperature at which a bitumen at a frequency of 1.59 Hz shows a complex shear modulus of $G^* = 15 \text{ kPa}$ (T_{BTSV}), and the corresponding phase angle (δ_{BTSV}) are determined. Different bitumen can be distinguished by these two parameters. In the case of paving grade bitumen, T_{BTSV} corresponds to SP R&B, so that the existing empirical background is kept.

Inhalt

Kurzfassung	IV
Abstract.....	V
Inhalt	VII
1 Einleitung und Motivation	1
2 Tangierende Grundlagen.....	3
2.1 Bitumen für den Asphaltstraßenbau.....	3
2.1.1 Herstellung und Struktur.....	4
2.1.2 Klassifikation und Anforderungen.....	7
2.2 Oszillationsmessungen im Dynamischen Scherrheometer	18
2.3 Erweichungsverhalten von Bitumen	28
2.3.1 Konventionelle Ansprache des Erweichungspunktes	28
2.3.2 Zustand von Bitumen bei der Erweichungspunkttemperatur.....	31
2.3.3 Grenzen des Erweichungspunktes Ring und Kugel.....	37
3 Verfahren zur instationären Typisierung von Bitumen	42
3.1 Simulation des Erweichungspunktes Ring und Kugel im DSR	47
3.2 Ansprache des Erweichungspunktes mittels instationärer Oszillations-rheometrie	50
3.2.1 Temperaturregelung.....	50
3.2.2 Oszillationsbeanspruchung	55
3.2.3 Ergebnisermittlung.....	59
3.3 Kurzbeschreibung des Verfahrens	62
4 Möglichkeiten der Charakterisierung von Bitumen mittels BTSV	64
4.1 Härtegrad	64
4.2 Wirkung der Polymermodifikation	67
4.3 Alterungsverhalten.....	74
4.4 Bitumenklassifikation mittels Sortenspannen	90
4.5 Verhalten von Stoffgemischen.....	96
4.5.1 Bitumen mit viskositätsverändernden Zusätzen	97
4.5.2 Stoffgemische mit gealtertem Bitumen.....	99
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	102
6 Literatur.....	105