

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Bauingenieurwesen

Professur für Straßenbau

**Einfluss von Mehrfachmodifizierungen auf das
Steifigkeits- und Ermüdungsverhalten von Bitumen
und Asphaltmischgut**

Influence of multiple modifications on the stiffness and fatigue
behavior of bitumen and bituminous mixtures

Von der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden zur
Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing)
genehmigte

Dissertation

vorgelegt von:

Ronny Sorge, M.Eng.

geb. am 19. Juni 1981 in Neuhaus am Rennweg

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner

Prof. Dr.-Ing. Steffen Riedl

Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg

Tag der Verteidigung:

15. Februar 2019

Kurzfassung

Mit Beeinflussung der Bindemittleigenschaften durch verschiedene einzelne oder kombinierte Modifikationen steigt die Komplexität, die Materialeigenschaften anzusprechen und zu interpretieren. Mit den konventionellen Untersuchungen zur Klassifizierung der Bindemittleigenschaften ist dies nicht möglich. Jedoch bestehen unter anderem Möglichkeiten mit dem Dynamischen Scher-Rheometer (DSR) und dem Dynamischen Spaltzug-Schwellversuch (DSZV), die Eigenschaften dieser komplexen Materialien bei zielgerichteter Anwendung im geeigneten Maße anzusprechen.

Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit war es, Kenntnisse über die Auswirkungen von Mehrfachmodifizierungen im Bitumen und im Asphaltmischgut zu erlangen. Dabei sollten Methoden zur Untersuchung und Interpretation der rheologischen Eigenschaften überprüft und entwickelt werden. Durch die Möglichkeit, das Steifigkeitsverhalten der Bitumen im gesamten relevanten Temperatur- und Frequenzbereich versuchstechnisch ansprechen zu können, war es über die Korrelation des Steifigkeitsverhalten von Bitumen und Asphalt möglich, aktuelle Modelle für die Entwicklung der Masterkurven erst im Bitumen zu überprüfen und dann auch für das Asphaltmischgut anzuwenden. Dadurch wurden zusätzlich Alternativen aufgezeigt, die Entwicklung der Asphalt-Masterkurven mit Hilfe des DSR zu unterstützen und Ergebnisse zu plausibilisieren.

Für das Ermüdungsverhalten wurde ein Vorversuch entwickelt, der es ermöglicht, den für die Ermüdung relevanten Relaxationsbereich als Temperaturbereich festzulegen und zu interpretieren. Zudem wurden verschiedene Ermüdungskriterien im Bitumen und Asphaltmischgut angewendet. Dabei wurden die Bindemittel und die Asphaltgemische im ungealterten bis langzeitgealterten Zustand untersucht. Das Ermüdungsverhalten aller Variationen wurde außerdem bei äquivalentem rheologischen Verhalten, mit variierender Gesteinsart sowie nach Vorbelastung und Wasserlagerung untersucht. Zusätzlich wurde mit Hilfe der Rohdaten aus den DSR-Ermüdungsversuchen eine optimierte Methodik entwickelt, um den Hystereseinfluss auf das Ermüdungsverhalten einzubeziehen.

Mit Hilfe der Masterkurven und Blackdiagramme war es möglich, den differenten Einfluss der Modifikationen auf das Steifigkeitsverhalten darzustellen. Dabei konnte unter anderem das Verhalten von Bindemitteln mit reinen Polymernetzwerken aus Elastomeren und Plastomeren von Bindemitteln mit Polymernetzwerken aus einem Elastomer und nichtpolymeren Werkstoffen abgegrenzt werden.

Bei der Untersuchung des Ermüdungsverhaltens konnte gezeigt werden, dass sich der für die Ermüdung relevante Temperaturbereich durch die Modifikationen deutlich verschiebt. Alle modifizierten Varianten zeigten bei der Versuchsdurchführung gemäß der „*Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung*“ (AL Sp-Asphalt 09) ein verbessertes Ermüdungsverhalten gegenüber der unmodifizierten Variante. Durch die oben beschriebene Variation der Prüfbedingungen und die Variation der Gesteine wurden anschließend deutliche Abweichungen bei den Ergebnissen festgestellt. Dadurch wurde gezeigt, inwiefern äquivalentes rheologisches Verhalten Einfluss auf das Ermüdungsverhalten der Varianten nimmt. Zudem konnte gezeigt werden, welchen Einfluss die Anwesenheit von Wasser in der Grenzfläche sowie die Variation der Gesteinsart und die Alterung des Bindemittels auf das Ermüdungsverhalten haben können.

Die Untersuchungen zeigten darüber hinaus, dass die ausgewählten mathematischen Modelle und ein eigenes entwickeltes Modell zur Konstruktion der Masterkurve für die mehrfachmodifizierten Varianten im gealterten und ungealterten Zustand für Bitumen und Asphaltmischgut anwendbar sind.

Abstract

With influencing the bitumen properties by means of various single or combined modifications, the complexity increases and with it the facilities to address and interpret material properties. This is not possible with conventional tests for the classification of binder properties. However, there are means to address the properties of these complex materials in a specific manner with a Dynamic Shear Rheometer (DSR) and the Dynamic Indirect tensile strength (IDT) test method.

A key objective of this work has been to gain knowledge about the effects of multiple modifications in bitumen and bituminous mixtures. In doing so, methods for the investigation and interpretation of rheological properties were examined and developed. Due to the possibility to test the stiffness behavior of bitumen in the relevant temperature and frequency range, the correlation of the stiffness behavior of bitumen and asphalt made it possible to check current models for the development of the master curves first in the bitumen and then also for the asphalt mix. Thus, additional alternatives to support the development of asphalt-master curves and to increase the plausibility of the results have been demonstrated with the help of a DSR.

A preliminary test has been developed for the fatigue behavior, which makes it possible to define and interpret the fatigue relevant relaxation range as a temperature range. In addition, various fatigue criteria have been applied in bitumen and bituminous mixtures. The binders and the asphalt mixtures were examined in the unaged to long-time-aged state. The fatigue behavior of all variations was also investigated for equivalent rheological behavior, varying rock type, preload and water storage. In addition, the raw data from the DSR fatigue tests has been used to develop an optimized methodology for incorporating the hysteresis effect on the fatigue behavior.

It has been possible to show the different effects of the modifications on the stiffness behavior with the help of master curves and black diagrams. Among other things, the behavior of binders with pure polymer networks of elastomers and plastomers of binders with polymer networks of an elastomer and non-polymeric materials has been distinguished.

By examining the fatigue behavior, it has been shown that the temperature range relevant for fatigue shifts significantly as a result of the modifications. All modifications have shown improved behavior in accordance with the experimental conditions of the *„Working instructions for the determination of the stiffness and fatigue behavior of asphalts with the indirect tensile*

strength test as an input into the dimensioning" (AL Sp-Asphalt 09). Due to the above described variations of test conditions and aggregates significant deviations in the results have been found. It has been shown to what extent equivalent rheological behavior influences the fatigue behavior of the variants. In addition, it has been possible to show what influence the presence of water in the interface, as well as the variation of the aggregate type and the aging of the binder, can have on the fatigue behavior of asphalt.

The investigations also show that the selected mathematical models and a proprietary model developed for the construction of the master curve of the multi-modified variants in the aged and unaged state are applicable for bitumen and bituminous mixtures.