

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Bauingenieurwesen  
Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau

**Performance-based characterisation of Bitumen and  
Mastic using the DSR**

Performance-basierte Charakterisierung von Bitumen und  
Mastix unter Verwendung des DSR

Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) an der Fakultät  
Bauingenieurwesender Technischen Universität Dresden eingereichte

**DISSERTATION**

von

Mrinali Rajkumar Rochlani, M.Sc.

geb. am 21. Januar 1992 in Thane, Indien

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner (TU Dresden)

Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg (Ruhr-Universität Bochum)

Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser (RWTH Aachen)

Tag der Einreichung: 26. October 2020

Tag der Verteidigung: 23. March 2021

## **ABSTRACT**

This dissertation presents the results of research undertaken for the characterization of bitumen and mastic which are constituents of Hot Mix Asphalt (HMA).

The results of a large number of Dynamic Shear Rheometer (DSR) tests performed in the Laboratory of the Institute for Pavement Engineering at the TU Dresden form the background material for this work. The major objectives of this PhD research work were to gain a fundamental understanding about the mechanical behaviour of bitumen and mastic. The DSR tests undertaken included frequency sweeps for rheological behaviour, single stress creep recovery test (SSCR) for permanent deformation behaviour, Dresden cryogenic test (DDCT) for low temperature performance and fatigue testing with column cylindrical specimen. Selected tests were carried out on bitumen and mastic also to investigate the sensitivity of the materials to ageing. The frequency sweep data was also modelled using an appropriate rheological model to derive rheological data over a large frequency and temperature range. Based on the tests conducted, particular chosen parameters calculated were synthesized into a performance diagram which was developed within the framework of the dissertation. This was the main outcome of the PhD research work, which allows for optimum bitumen and mastic selection and ranking in terms of overall performance and specific desired criteria.

Since this dissertation is a cumulative dissertation, it has been divided into three distinct parts.

The first part forms a framework of the research undertaken and justifies the need and use of the dissertation in the future, along with explaining the test procedures in detail and resulting performance diagram developed using the data of three bitumen of the same penetration grade.

The main part involves the published research – four journal papers and one chapter published in conference proceedings. The first paper uses the method developed to study one base bitumen and corresponding mastics with Limestone, Dolomite, Rhyolite and Granodiorite fillers. Other than understanding how fillers influence different mechanical properties, a main finding was that the specific surface area of the filler was the most sensitive parameter affecting the mechanical response of the mastics. Also, it was observed that the mastic prepared with Granodiorite filler showed the best fatigue and rutting resistance for this particular bitumen. Hence, the procedure could help identifying optimum filler-bitumen relations in advance. The

second paper was about crumb rubber modified bitumen. This involved the study of four materials – one base bitumen and two different types of crumb rubber added different proportions. The results indicated an improvement in all performance-related properties by crumb rubber addition in bitumen and further allowing the ranking of materials. The third paper studied the feasibility of recycling a waste Ceramic powder as a filler alternative and it was found to have more superior performance than the commonly used Limestone filler. The fourth paper considers how addition of one filler, Limestone, to three differently-sourced bitumen of the same grade affects the properties of mastics. This study further emphasises the need to study mastics and predetermine the optimum filler-bitumen combinations that could avoid long-term maintenance costs. The fifth paper emphasises the need to move from current empirical testing to more specialised testing for bitumen by presenting different performance based results for three commonly used bitumen of penetration grade 50/70 that showed significant differences in the performance parameters.

The third part of the dissertation is an additional section that includes the paper that was submitted to a journal and is currently in the second round of reviews under review. This paper studies fatigue behaviour of bitumen at different temperatures and frequencies using the Dissipated Energy (DE) approach. Fatigue functions were determined based on the relation between DE and the load cycle at failure. Based on these, a temperature was found to be a ‘frequency-free transition temperature’ for this bitumen as the failure lines at this temperature were overlapping at both frequencies tested.

## **KURZFASSUNG**

Diese Dissertation präsentiert die Ergebnisse einer Forschungsarbeit zur Charakterisierung von Bitumen und Mastix, die als Bestandteil von Asphaltgemischen verwendet werden.

Die Ergebnisse einer großen Anzahl von Dynamisches Scherrheometer (DSR) Versuche, die im Labor des Instituts für Stadtbauwesen und Straßenbau der TU Dresden durchgeführt wurden, bilden die Grundlage für diese Arbeit. Das Hauptziel dieser Dissertation bestanden darin, ein grundlegendes Verständnis über das mechanische Verhalten von Bitumen und Mastix zu gewinnen. Die durchgeführten DSR Versuche umfassten Frequenzsweeps für die Erfassung des rheologischen Verhaltens, Single Stress Creep Recovery Versuche (SSCR) für die Charakterisierung des permanenten Verformungsverhaltens, Dresden Cryogenic (DDCT) Versuche zur Erfassung des Verhaltens bei niedrigen Temperaturen und Ermüdungsversuche. Des Weiteren wurden ausgewählte Versuche am Bitumen und Mastix durchgeführt, um die Alterungsempfindlichkeit der Materialien zu untersuchen. Die Ergebnisse der Frequenzsweeps wurden ebenfalls mit einem geeigneten rheologischen Ansatz modelliert, um rheologische Charakteristiken über einen großen Frequenz- und Temperaturbereich abzuleiten. Schließlich wurde im Rahmen der Dissertation ein Performancediagramm für Bitumen und Mastix entwickelt. Auf der Grundlage der durchgeführten DSR-Versuche konnten Parameter für dieses Performancediagramm synthetisiert werden.

Da es sich bei dieser Arbeit um eine kumulative Dissertation handelt, wurde erfolgte eine Aufgliederung in drei Teile.

Der erste Teil der Arbeit umfasst eine Zusammenfassung der durchgeführten Forschungsarbeiten. Insbesondere werden die durchgeführten DSR Versuche detailliert erläutert und das entwickelte Performancediagramm am Beispiel von drei verschiedenen Bitumen 50/70 dargestellt.

Der Hauptteil der Arbeit umfasst vier Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie ein Konferenzbeitrag. Die erste Beitrag widmet sich der Untersuchung des Einflusses von verschiedenen Füllern (Kalkstein-, Dolomit-, Rhyolith- und Granodioritfüller) auf das Verhalten von Mastix unter Verwendung desselben Bitumens 50/70. Dabei hat sich gezeigt, dass die spezifische Oberfläche des Füllers der entscheidende Parameter ist, der das Verhalten

von Mastix beeinflusst. Es wurde auch beobachtet, dass der mit Granodiorit-Füller hergestellte Mastix die beste Ermüdungs- und Spurrinnenbeständigkeit für dieses spezielle Bitumen zeigte. Daher könnte das in der Veröffentlichung vorgestellte Verfahren dazu beitragen, das optimale Verhältnis zwischen Füller und Bitumen im Voraus zu ermitteln. Die zweite Veröffentlichung befasst sich mit gummimodifiziertem Bitumen. Dabei wurden vier Materialien untersucht - ein Grundbitumen und zwei verschiedene Arten von Gummigranulaten mit unterschiedlichen Anteilen. Die Ergebnisse zeigten eine Verbesserung aller leistungsbezogenen Eigenschaften durch den Zusatz von Gummigranulat im Bitumen. Die dritte Veröffentlichung untersuchte die Eignung von Keramikmehl als Füller für Asphaltgemische. Dabei konnte festgestellt werden, dass dieser Keramikfüller zu besseren Eigenschaften des Mastix für das verwendete Bitumen im Vergleich zu einem Kalksteinfüller führt. Die vierte Veröffentlichung befasst sich hier mit der Frage, wie sich die Zugabe eines Füllers (Kalkstein-Füller) zu drei Bitumen unterschiedlicher Provenienz, jedoch derselben Sorte auf die Eigenschaften von Mastix auswirkt. Diese Studie unterstreicht weiter die Notwendigkeit, Mastix zu untersuchen um die optimalen Füller-Bitumen-Kombinationen zu bestimmen. Die fünfte Veröffentlichung betont die Notwendigkeit, von den derzeitigen empirischen Versuchen an Bitumen, wie z.B. Ring und Kugel Versuch zu performance-orientierten Versuchen für Bitumen überzugehen. Am Beispiel der Ergebnisse von DSR Versuchen an drei verschiedenen Bitumen 50/70 wird gezeigt, dass diese Bitumen sehr unterschiedliches mechanisches Verhalten aufweisen. Verdeutlicht wird dieser Sachverhalt in einem Performance-Diagramm, welches ausführlich in der Veröffentlichung diskutiert wird.

Der dritte Teil der Dissertation beinhaltet eine Veröffentlichung, die bei Fachzeitschriften eingereicht wurde und sich derzeit im Review befindet. Zusätzlich wurde in dieser Arbeit das Ermüdungsverhalten von Bitumen bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen mit Hilfe des Dissipated Energy (DE)-Ansatzes untersucht. Die Versagenslinien wurden auf der Grundlage der Beziehung zwischen DE und der Lastwechselzahl beim Versagen entwickelt. Auf dieser Grundlage wurde eine Temperatur als "frequenzfreie Übergangstemperatur" für dieses Bitumen ermittelt, da sich die Ermüdungsfunktionen bei dieser Temperatur bei beiden getesteten Frequenzen überlappen.