

Einfluss von Qualitätsunterschieden polymermodifizierter bitumenhaltiger Bindemittel gleicher Sorte auf das mechanische Verhalten von Asphalten, Teil: Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten

FA 7.235

Forschungsstelle: Hansa-Nord-Labor Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH, Pinneberg

Bearbeiter: Hase, M. / Oelkers, C. / Schindler, K. / Schröter, A. / Zumsande, K.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Dezember 2013

1 Aufgabenstellung und Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, herauszufinden, ob sich unterschiedliches rheologisches Stoffverhalten verschiedener polymermodifizierter Bindemittel gleicher Sorte auf das Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten auswirkt. Mit dieser Kenntnis können Anforderungswerte für Bindemittel hinsichtlich rheologischer Bindemittelkenndaten empfohlen beziehungsweise als Vertragsbestandteil in Funktionsbauverträgen oder Leistungsverzeichnissen aufgenommen werden.

Als weiteres Ziel des Forschungsvorhabens sollte festgestellt werden, ob sich durch den Einsatz polymermodifizierter Bindemittel in Asphalttragschichten im Vergleich zu Straßenbaubitumen mittels rechnerischer Dimensionierung gemäß den RDO Asphalt 09 Vorteile hinsichtlich des Ermüdungsstatus und folglich der rechnerischen Nutzungsdauer nachweisen lassen.

2 Untersuchungsmethodik

Zur Bestimmung des unterschiedlichen rheologischen Stoffverhaltens verschiedener polymermodifizierter Bindemittel gleicher Sorte auf das Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten von Asphalten wurden drei Bitumensorten (25/55-55A, 10/40-65A, 40/100-65A) von jeweils vier verschiedenen Herstellern verwendet. Als Mischgutvarianten wurden zwei Asphaltdeckschichtvarianten (AC 11 D S, SMA 11 S) und eine Asphaltbinderschichtvariante (AC 16 B S) ausgewählt.

Zur Ermittlung etwaiger Einflüsse unterschiedlicher Hohlraumgehalte der Asphalte auf die oben genannten das Gebrauchsverhalten ansprechenden Asphalteeigenschaften wurden je Asphaltvariante Probekörper mit zwei unterschiedlichen Verdichtungsgradniveaus k_1 (ca. 100 %) und k_2 (97 bis 98 %) vorgesehen.

Über die im Teil 1 "Verformungsverhalten bei Wärme" zu diesem Forschungsvorhaben festgestellten Bitumenkennwerte hinaus wurden Untersuchungen zur Bestimmung von weiteren Bindemiteleigenschaften (Breachpunkt nach Fraaß, BBR-Analytik, Temperatursweep DSR-Versuch 5 bis 20 °C, MSCR-Test bei 20 °C) im Lieferzustand und im gemäß DIN EN 12607-1 gealterten Zustand durchgeführt. Weiter erfolgten Untersuchungen zur Ansprache des Kälteverhaltens (Abkühl- und Zugversuche), des Ermüdungsverhaltens (Spaltzug-Schwell-

Zug-Schwellversuche) sowie des Steifigkeitsverhaltens (Spaltzug-Schwellversuche) an Asphalten.

Zur Differenzierung der Unterschiede zwischen Bitumen der Sorte 50/70 und 25/55-55A in Asphalttragschichten bei der rechnerischen Dimensionierung wurden an insgesamt acht Asphalttragschichtvarianten (zwei Varianten mit Straßenbaubitumen 50/70 verschiedener Hersteller, zwei Varianten mit polymermodifizierten Bitumen 25/55-55 A verschiedener Hersteller, mit jeweils den zwei oben genannten Verdichtungsgradniveaus) die eingangs erwähnten das Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten ansprechenden Asphaltkenngrößen ermittelt.

3 Untersuchungsergebnisse und Auswertung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt sollen die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen zur Ansprache der Bitumeneigenschaften und des Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhaltens von Asphalt sowie die gewonnenen Erkenntnisse aus der Auswertung der Ergebnisse mittels mathematisch-statistischer Verfahren wiedergegeben werden.

3.1 Ergebnisse und Auswertung der Untersuchungen zur Ansprache der Bindemiteleigenschaften

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Ansprache der Bindemiteleigenschaften belegen, dass signifikante Unterschiede in technischen Eigenschaften von Bitumen gleicher Sorte und unterschiedlicher Hersteller in 74 % der untersuchten Fälle vorhanden sind.

Mithilfe eines Punktesystems wurde ein Ranking für die verschiedenen Bitumenkenngrößen erstellt. Die Bitumeneigenschaft, welche am meisten Punkte erlangt hat, zeigt am deutlichsten signifikante Unterschiede zwischen Bitumen gleicher Sorte und unterschiedlicher Hersteller.

Die deutlichsten signifikanten Unterschiede zeigten sich bei folgenden Bindemittelkenndaten:

1. MSCR: durchschnittliche, prozentuale Erholung, 6400 Pa, 20 °C, nach Alterung,
2. MSCR: durchschnittliche, prozentuale Erholung, 3200 Pa, 20 °C, nach Alterung,
3. DSR: Komplexer Schermodul G^* , 20 °C, 1,59 Hz, nach Alterung,
BBR: Kriechsteifigkeit S, -10 °C, Lieferzustand,
MSCR: akkumulierte bleibende Dehnung nach 300 s, 20 °C, nach Alterung,
6. DSR: Komplexer Schermodul G^* , 20 °C, 1,59 Hz, Lieferzustand,
DSR: Phasenwinkel δ , 20 °C, 1,59 Hz, nach Alterung,

DSR: Phasenwinkel δ , 20 °C, 1,59 Hz, Lieferzustand.

3.2 Ergebnisse und Auswertung der Untersuchungen zur Ansprache des Kälteverhaltens von Asphalt

Als Kenngrößen zur Beschreibung des Kälteverhaltens von Asphalt wurden nach Varianzanalyse die Zugfestigkeit bei 20 °C, die Bruchdehnung bei 5 °C und die Bruchtemperatur für die linearen Regressionen mit den Bitumeneigenschaften herangezogen.

Von diesen drei Asphaltkenngrößen beschreibt am ehesten die Bruchtemperatur das Tieftemperaturverhalten eines Asphalts. Die Kenngrößen Zugfestigkeit bei 20 °C und Bruchdehnung bei 5 °C sind mehr als mechanische Asphalteeigenschaften im mittleren Gebrauchstemperaturbereich aufzufassen.

Allerdings wird die Zugfestigkeit bei 20 °C neben den Zugfestigkeiten bei 5, -10 und -25 °C sowie den kryogenen Zugspannungen mit verwendet, um die maximale Zugfestigkeitsreserve zu errechnen, mit welcher das Verhalten bei tiefen Temperaturen von Asphalt charakterisiert werden kann.

Mit der Größe maximale Zugfestigkeitsreserve wurde daher ebenfalls eine lineare Regression durchgeführt.

3.3 Ergebnisse und Auswertung der Untersuchungen zur Ansprache des Ermüdungsverhaltens von Asphalt

Als Kenngröße zur Beschreibung des Ermüdungsverhaltens von Asphalt wurden aufgrund der Ergebnisse der Varianzanalyse die anfängliche elastische horizontale Dehnung bei mittlerer Oberspannung (σ_2) (SZSV) und die Lastwechselzahl N_{Makro} bei 20 °C (ZSV) für die linearen Regressionen mit den Bitumeneigenschaften herangezogen.

3.4 Ergebnisse und Auswertung der Untersuchungen zur Ansprache des Steifigkeitsverhaltens von Asphalt

Als Kenngrößen zur Beschreibung des Steifigkeitsverhaltens von Asphalt wurden durch die Varianzanalyse die Steifigkeitsmoduln bei 10 Hz und den Temperaturen 0, 10 und 20 °C als geeignete Asphaltkenngrößen für die linearen Regressionen mit den Bitumeneigenschaften ermittelt.

4 Vergleich der verschiedenen Bitumeneigenschaften mit den Ergebnissen der Asphaltversuche (Regressionsanalysen)

Um Anforderungswerte für Bindemittel hinsichtlich rheologischer Kennwerte empfehlen zu können, wurden mit linearen Regressionsanalysen Korrelationen zwischen den Bindemiteleigenschaften und den Asphaltkenngrößen aufgestellt.

Die Analysen ergaben, dass die verschiedenen Asphaltkenngrößen der Asphaltvarianten mit unterschiedlichen Bitumensorten bezüglich des Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten die höchsten beziehungsweise quantitativ meisten Bestimmtheitsmaße R^2 größer 0,5 mit den im DSR-Versuch bei 20 °C und 1,59 Hz ermittelten Bitumeneigenschaften Komplexer Schermodul und Phasenwinkel aufwiesen. Für die Asphalt-

variante mit Bitumen der Sorte 40/100-65A wurden außerdem gute Korrelationen mit der Biegekiechsteifigkeit bei -25 °C festgestellt.

5 Interpretation der Ergebnisse und Empfehlung von Anforderungswerten

In einem nächsten Arbeitsschritt wurden zur Empfehlung von Anforderungswerten die Ergebnisse der Regressionsanalysen einerseits mit den aus der Literatur zu entnehmenden Beurteilungskriterien zum Erreichen eines bei Kälte ausreichend rissbeständigen Asphalts verknüpft.

Aus der Literatur [1] sind hierzu Bewertungshintergründe beziehungsweise Beurteilungsmaßstäbe hinsichtlich der im Abkühlversuch ermittelten Bruchtemperatur entnommen worden.

Aus diesen Angaben konnten für die Asphaltart Splittmastixasphalt mit einem Größtkorn von 11 mm auch Orientierungswerte für die maximale Zugfestigkeitsreserve abgeleitet werden.

Um Auswirkungen unterschiedlichen Steifigkeitsverhaltens verschiedener Asphalte mit Bitumen gleicher Sorte jedoch verschiedener Hersteller im Vergleich zu Kalibrierasphalten nach RDO Asphalt 09 auf den Ermüdungsstatus erfassen und daraus Anforderungswerte an Bindemiteleigenschaften ableiten zu können, wurden rechnerische Dimensionierungen gemäß den RDO Asphalt 09 durchgeführt sowie Korrelationen zwischen den errechneten Ermüdungsstatus der Asphalte und den zugehörigen Bitumenkennwerten aufgestellt.

Zusätzlich wurden die Streuungen der Bitumenprüfresultate bezogen auf die Bindemittel gleicher Sorte von jeweils vier verschiedenen Herstellern bei der Empfehlung von Anforderungswerten berücksichtigt.

Nach diesen Betrachtungen konnten für Bindemittel der Sorten 25/55-55A, 10/40-65A und 40/100-65A Anforderungswerte beziehungsweise eine Anforderungsspanne an den Komplexen Schermodul und Phasenwinkel jeweils bei 20 °C und 1,59 Hz sowohl im Lieferzustand als auch im nach RTFOT gealterten Zustand zum Erreichen eines Asphalts mit günstigem Gebrauchsverhalten hinsichtlich Kälte, Ermüdung und Steifigkeit empfohlen werden (siehe Tabelle 1).

Für Bindemittel der Sorte 40/100-65A wurde darüber hinaus festgestellt, dass zum Erreichen einer guten Kälteflexibilität zusätzlich eine Anforderung an die Biegekiechsteifigkeit bei -25 °C eingehalten werden sollte.

6 Schlussfolgerungen

Mit den durch dieses Forschungsvorhaben erlangten Erkenntnissen hinsichtlich der durch rheologische Prüfverfahren festgestellten signifikanten Unterschiede im Materialverhalten von Bitumen gleicher Sorte jedoch unterschiedlicher Hersteller und der daraus resultierenden Einflüsse auf das Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten von Asphalten sollte der Ermittlung rheologischer Bitumeneigenschaften zukünftig in der Straßenbaupraxis im Vergleich zu den herkömmlichen, konventionellen Bitumenkenngrößen deutlich mehr Beachtung gewidmet werden.

Während der Bearbeitungszeit dieses Forschungsvorhabens ist das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 11/2012 [2] in Kraft getreten und somit gilt nicht mehr wie zu Beginn des hier dokumentierten Projekts ein Mindestverdichtungsgrad von 97 % sondern von 98 %.

Da die maximale Zugfestigkeitsreserve beziehungsweise der Ermüdungsstatus von Asphalten mit 100 %iger Verdichtung trotz signifikanter Unterschiede im rheologischen Stoffverhalten von Bindemitteln gleicher Sorte nicht auf ein kritisches Maß absinkt, dies aber sehr wohl bei Verdichtungsgraden von 97 bis

98 % der Fall sein kann, wird die dringende Notwendigkeit der Erhöhung des Mindestverdichtungsgrades nochmals deutlich.

Bei Einhaltung der hier empfohlenen, in Tabelle 1 mit * gekennzeichneten Anforderungen, können somit Asphalte mit günstigem Gebrauchsverhalten durch Wahl eines Bindemittels mit höherer Qualität hergestellt werden, auch wenn der Verdichtungsgrad "nur" bei 97 bis 98 % liegt und nach dem aktuellen, neuen Regelwerk eigentlich die Anforderung an den Verdichtungsgrad knapp unterschritten wird.

Tabelle 1: Empfohlene Anforderungswerte

			Anforderungswerte für ein günstiges Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten					
			25/55-55A		10/40-65A		40/100-65A	
Merkmal	Einheit	Prüfmethode	Lieferzustand	Nach Alterung	Lieferzustand	Nach Alterung	Lieferzustand	Nach Alterung
Komplexer Schermodul bei 20 °C, 1,59 Hz – (DSR)	MPa	DIN EN 14770	2,0-2,7	2,5-3,2	≥ 2,3	2,7-3,5	≥ 0,9	≥ 1,3
Phasenwinkel bei 20 °C, 1,59 Hz – (DSR)	°	DIN EN 14770	27,0*-46,0*	18,0*-32,0*	≤ 30,0*	≤ 22,0*	≤ 50,0*	≤ 45,0*
Biegekriechsteifigkeit bei -25 °C – (BBR)	MPa	DIN EN 14771	-	-	-	-	160-380	200-370

* Bei Einhaltung können Asphalte mit günstigem Gebrauchsverhalten durch Wahl eines qualitativ höherwertigen Bindemittels hergestellt werden, auch wenn der Verdichtungsgrad "nur" noch bei 97 bis 98 % liegt.

Aufgrund der genannten, empfohlenen Anforderungswerte an den Komplexen Schermodul und den Phasenwinkel bei 20 °C und 1,59 Hz für alle drei betrachteten Bindemittelsorten und für Bitumen der Sorte 40/100-65A und darüber hinaus an die Biegekriechsteifigkeit bei -25 °C steht bereits während der Erstellung der Erstprüfung ein Instrument zur Verfügung, ein Bitumen auszuwählen, mit dem ein Asphalt mit günstigem, für den Anwendungsfall relevantem Gebrauchsverhalten konzipiert werden kann.

Allgemein ist die Arbeit zur Schaffung eines Bewertungshintergrunds für Ergebnisse von Ermüdungsversuchen sowohl mittels Spaltzug-Schwellversuchen als auch Zug-Schwellversuchen sowie die Ermittlung und Quantifizierung von Einflüssen auf die Vergleichbarkeit von rheologischen Bitumenkenngrößen intensiv voranzutreiben.

Durch Ringanalysen sollten die aus diesem Forschungsvorhaben resultierenden Ergebnisse verifiziert und in der Praxis durch den Bau und die Überwachung von Teststrecken validiert werden.

Des Weiteren geht hervor, dass sich mit Bitumenkennwerten, die aus MSCR-Tests bei 20 °C resultieren, von den in diesem Teilprojekt betrachteten Bindemiteleigenschaften am deutlichsten signifikante Unterschiede im Stoffverhalten von Bitumen gleicher Sorte jedoch verschiedener Hersteller aufzeigen ließen (Ränge 1 und 2, siehe Abschnitt 3.1).

Allerdings konnten mit diesen Bitumeneigenschaften nur wenige "gute" Korrelationen zu Asphalteigenschaften gefunden

werden, die das Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten ansprechen.

Folglich besteht daher noch Forschungsbedarf, die im MSCR-Test deutlich erkennbaren signifikanten Unterschiede im Materialverhalten der Bitumen auch in eventuell zu optimierenden Steifigkeits- und Ermüdungsversuchen an Asphalten aufzeigen zu können.

Hinsichtlich der für einen ausreichend verformungsbeständigen Asphalt in Teil 1 zu diesem Forschungsvorhaben empfohlenen Anforderungswerten für die Bitumeneigenschaften Phasenwinkel bei 50 °C (DSR) nach Alterung und für die Eigenschaft durchschnittliche, prozentuale Erholung bei 50 °C und 3200 Pa (MSCR) im Lieferzustand konnten in Kapitel 6.2 des Hefts 1067 (2011) der Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik [3] ähnliche Folgerungen für die Praxis angegeben werden.

Darüber hinaus haben die rechnerischen Dimensionierungen mit Asphalttragschichtvarianten gezeigt, dass die Verwendung polymermodifizierter Bindemittel 25/55-55A im Vergleich zum Einsatz von Straßenbaubitumen der Sorte 50/70 in der Asphalttragschicht zu einem deutlich niedrigeren Ermüdungsstatus, verbunden mit einer höheren rechnerischen Nutzungsdauer, führt.

7 Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Arbeitspapier Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche, Ausgabe 2012

- [2] ARS Nr. 11/2012: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2012

- [3] Hase, M. ; Oelkers, C. ; Schindler, K.: Einfluss von Qualitätsunterschieden polymermodifizierter bitumenhaltiger Bindemittel gleicher Sorte auf das mechanische Verhalten von Asphalten, Teil 1: Verformungsverhalten bei Wärme, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1067, 2011