

Mit Rheologie zu besseren Straßen

Better Roads Through Rheology

Beiträge
Papers

1 Einleitung

Der überwiegende Teil der in den USA und weltweit gebauten Straßen besteht aus einem Verbund aus Bitumen und mineralischen Füllstoffen, dessen Mischung entsprechend der Spezifikationen ausgeführt ist. Im Straßenbau wird diese Mischung aus Bitumen und mineralischen Füllstoffen „hot-mix“-Asphalt oder einfach nur Asphalt genannt.

Ein gut ausgeführter Straßenbelag bietet über die gesamte ausgelegte Lebenszeit eine sichere und komfortable Benutzung. Schäden, wie zum Beispiel Spurrillen oder Risse, führen zu einer schlechten Benutzbarkeit wegen des Verlusts an struktureller Integrität und letztlich der Zerstörung ganzer Straßenabschnitte. Rißbildung bei tiefen Temperaturen wird zwar bei allen Straßen beobachtet, findet aber besonders ausgeprägt in den kalten Klimazonen Nordamerikas und Kanadas statt. Spurrillen treten dagegen für hohe Temperaturen und Belastungen der Straße auf und werden deshalb vornehmlich im Süden der USA und in Mexiko beobachtet. Ein weiterer Straßenschaden, dessen Muster wie die Haut eines Alligators aussieht, ist in beiden Klimazonen anzutreffen. Diese Schadensart ist unter dem Namen Lastwechselriß bekannt, da sie sich für wiederholte Belastung von Straßenabschnitten durch den Verkehr einstellt. Der Widerstand der Straße gegenüber den Lastwechselrissen und den thermischen Rissen, sowie zum Teil auch gegen Spurrillen wird mit Hilfe des Bitumens erzeugt. Beschädigte Straßen erfordern aufwendige Reparaturen und sind deshalb teuer. In Abb. 1 sind Schäden an Straßenbelägen dargestellt.

Um die Notwendigkeit einsatzrelevanter Spezifikationen zu erkennen, ist es wichtig die physikalischen Veränderungen von Bitumen während der Fertigung und dem Einsatz zu kennen. Bitumen ist ein Erdölraffinerieprodukt und in verschiedenen Klassen erhältlich. Traditionell wird Bitumen anhand der Viskosität bei 60°C (140°F) entsprechend der AC-Klassifikation eingeteilt (anhand des US Viskositäts-Klassifikationsschemas). Bitumen mit einer absoluten Viskosität von 500 Poises (50 Pas) entspricht AC-5 Bitumen und mit einer absoluten Viskosität von 2000 Poises (200 Pas) entsprechend AC-20 Bitumen. In Fabriken wird der Bitumen bei 135°C bis 165°C mit den mineralischen Füllstoffen zum Asphalt gemischt. Während dieses Prozesses verdampft Lösungsmittel und es setzt eine oxidative Alterung ein und damit eine irreversible

In diesem Artikel werden die Entwicklungen zu einer neuen Spezifikation von Bitumen in den USA beschrieben. Im Gegensatz zu der bisher existierenden Spezifikation für den Straßenbau basiert die neue Spezifikation auf rheologischen und bruchmechanischen Daten (fundamentalen technischen Eigenschaften) als Kriterien.

This article describes the development, in the United States, of a new specification for bitumen. Unlike the existing specification used for road construction the new specification uses rheological and failure characteristics (fundamental engineering properties) as specification criteria.

1 Introduction

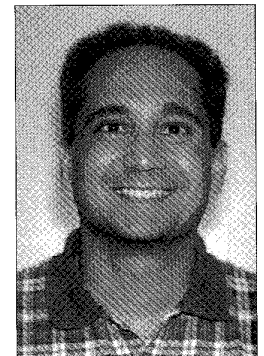
A majority of the roads (pavements) in the United States of America and around the world are constructed using a composite mixture of bitumen and mineral aggregates blended according to a predesigned gradation. In road building terminology this composite of bitumen and mineral aggregates is called hot-mix asphalt or simply asphalt mixture.

A good performing road is one that provides a safe and comfortable ride over its design life. Distresses such as rutting and cracking of the road surface lead to poor performance due to the loss of structural integrity, and, ultimately to the destruction of the entire pavement section. Low temperature cracking while found in most of the states is more ubiquitous in the northern latitudes, colder climates of North America and Canada. Rutting is associated with high temperature and loads and is more prevalent in hotter environments like the southern United States and Mexico. Another type of cracking, which has a pattern like that of an alligator's skin, is found in both climates. This type of cracking is known as fatigue cracking because it is believed to be caused by repetitive loading (fatigue) due to traffic. The resistance to thermal and fatigue cracking, and to a limited extent rutting, is provided by the bitumen binder. Cracked and/or rutted pavements require a lot of maintenance and are therefore expensive. Figure 1 shows examples of these distresses.

To understand why performance related specifications are necessary, it is important to understand the changes that occur in bitumen during its manufacture and service. Bitumen is a product of petroleum refining, and is sold in various grades. Traditionally this is defined (according to the U.S. viscosity grading system) by its absolute viscosity at 60°C (140°F) and is referred to as AC grading. For example, a bitumen with an absolute viscosity of 500 Poises (50 Pa-s) is designated as an AC-5 bitumen; whereas one with viscosity of 2000 Poises (200 Pa-s) is sold as an AC-20 bitumen. At hot-mix plants, bitumen is

R. Dongré,
J. Youtcheff,
Turner-Fairbanks
Highway Research
Centre, FHWA,
McLean, VA, USA;

D. Anderson,
Penn State University
State College, PA, USA



Raj Dongré, PhD,

ist Bauingenieur und zur Zeit für EBA Engineering Inc. als Berater der Bundesbehörde für Straßenbau am Turner-Fairbank Highway Research Center in McLean tätig. Er ist z. Zt. besonders mit der Durchführung von Bitumen-Spezifizierung hinsichtlich des Material-Spannungstestes beschäftigt.

is a Civil Engineer and is currently employed by EBA Engineering, Inc. as a consultant to the Federal Highway Administration at the Turner-Fairbank Highway Research Center in McLean, Va. He is currently working on the implementation of the bitumen specifications with special emphasis on development of the Direct Tension Test.

$$W_d \propto \frac{1}{J''} = \frac{1}{G^* / \sin \delta} \quad (2)$$

Die Werte von 1 kPa für ungealterten und 2.2 kPa für gealterten (RTFO) Bitumen stammen aus Korrelationen mit gesammelten Ergebnissen von existierenden Straßenbelägen.

3. Dynamische Scherung TP5, $G^*(\sin \delta)$: Dieser Parameter wird für RTFO und PAV gealterten Bitumen gemessen. Dieser Test simuliert die Langzeitalterung des Bitumens in Straßenbelägen, für die Ribbildung einsetzt. Wie Spurrillenbildung auch, läßt sich dies ebenfalls auf die Energiedissipation für scherkontrollierte Belastungen zurückführen. Es kann gezeigt werden, daß [1]:

$$W_d = \pi \epsilon_0^2 G^* (\sin \delta) \quad (3)$$

Die maximale Belastung mit 5000 kPa für diesen Parameter basiert auf Korrelationen mit Feldexperimenten. Dieser Parameter wird auch weiterhin diskutiert und in Zukunft wird eine mechanistische Beschreibung anstelle der empirischen Korrelation die Grundlage bilden.

4. Kriechfestigkeit TP1: Die thermische Ribbildung wird mit Hilfe dieses Parameters minimiert. Die Steifigkeit S für 60s Belastung ist dabei korrelierbar mit der thermischen Ribbildung realer Beläge. Der m -Wert, der die Steigung der Kurve Steifigkeit gegen Zeit in der log-log Darstellung beschreibt, wird zur Kontrolle der Steifigkeits-Masterkurve des Bitumens für geringe Temperaturen verwendet. Aus Laborexperimenten ist bekannt, daß der Parameter m mit der thermischen Ribbildung und dem thermischen Ermüdungsbruch korreliert. Aus Feldversuchen ergibt sich ein Wert von $m=0,3$.
5. Direkter Zug TP3: Dieser Parameter beeinflusst ebenfalls die thermische Ribbildung. Er ist allerdings in der derzeitigen Form nur für Bitumen mit Steifigkeiten zwischen 300 MPa und 600 MPa anwendbar. Für diesen Fall und wenn der Bitumen eine Dehnung von 1% oder mehr ohne Bruch aufnimmt, wird die maximale Kriechsteifigkeitsgrenze von 300 MPa ignoriert. Der m -Wert muß jedoch trotzdem eingehalten werden. Dieser Parameter wurde zur Berücksichtigung der Polymer-modifizierten Bitumen aufgenommen. Obwohl die verschiedenen Zusätze die physikalischen Eigenschaften des Bitumens unterschiedlich beeinflussen, wurde nur auf solche Zusätze Rücksicht genommen, die die Streckbelastung verbessern und die Steifigkeit vergrößern. Typischerweise brechen unmodifizierte Binder bei Dehnungen von unter 1% bei Steifigkeiten von 300 MPa und fallen für zunehmende Steifigkeiten weiter ab. Für alle oben genannten Fälle bezeichnet die TP-Zahl die Norm der „American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)“.

6 Anwendung der neuen Spezifikationen, Fallstudien

Zum Verifizieren und Bewerten des Erfolgs der SHRP Bitumen Spezifikationen wurde eine Reihe von Wegen eingeschlagen. Dazu gehören Laborexperimente des Mischens, Tests an simulierten Straßen und Feldexperimente an realen Straßen.

Stuart und Izzo werteten die Korrelationen der Bitumen-Binder-Spezifikation $G^* / \sin \delta$ mit Hilfe von Laborexperimenten zur Spurrillenbildung aus [11].

the strain tolerance of the binder with increase in stiffness. Typically, unmodified binders break at strains less than 1% at a stiffness of 300 MPa and decrease thereafter as the stiffness increases. In all of the above, the TP# indicates the standard number of American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) book of standards.

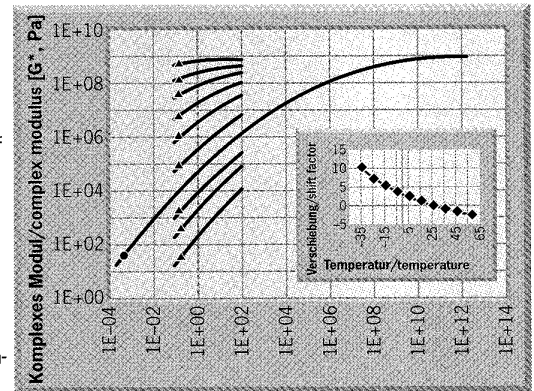


Abb. 4: Typische Bitumen-Masterkurven aus dem erweiterten Christensen-Anderson-Modell [5]

Fig. 4: Typical Bitumen Master Curve Generated Using the Extended Christensen-Anderson Model. From Reference [5]

6 Application of the New Specification – Case Histories to Date

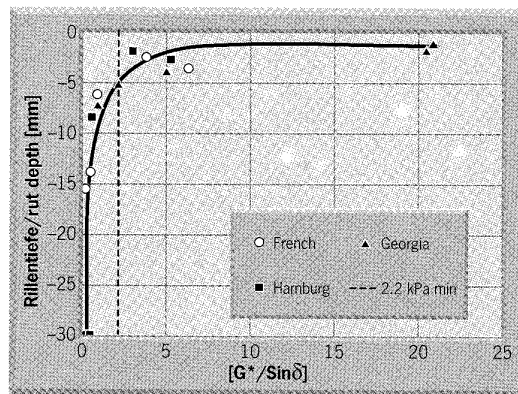
In validating and evaluating the utility and success of the SHRP binder specification, a number of approaches are being used. These include conducting laboratory asphalt mix tests, testing of simulated roads, and evaluating actual roads.

Stuart and Izzo evaluated the correlation of the binder (bitumen) specification parameter, $G^* / \sin \delta$ with a number of different laboratory asphalt mixture tests which simulate rutting [11]. Bitumen binders with higher $G^* / \sin \delta$ values were found to produce mixtures less susceptible to rutting. These data are shown in fig. 5, where rut depth is plotted against $G^* / \sin \delta$ for five different bitumen characterized at various temperatures and loading frequencies. Using an accelerated loading facility which simulates actual roads, similar findings were obtained.

A number of states (Maryland, Iowa, and Wisconsin) and Canadian provinces (Saskatchewan, Ontario, Quebec) have begun to let contracts for rehabilitation and new road construction using the new superpave bitumen specification. The results to date, though preliminary, have been quite encouraging [12]. Superpave specification parameters were also evaluated in Manitoba, Ontario, and Quebec in Canada [13]. The low Temperature binder parameters were deemed to be reasonable predictors of the tendency for these roads to experience thermal cracking. In addition to these sites, a number of special pavement studies are underway or planned for further evaluating the efficacy of the new specification. The full-scale adoption of this specification is anticipated in 1997.

7 Future Research

As more field validation results become available it is becoming apparent that two parts of this new specification need more research. The fatigue criteria needs reconsideration. There are new parameters being considered as fatigue criteria. The 'm' value also needs some rethinking. It appears from new grading data so far that 95% of the bitumen are controlled by the 'm' value regardless of how low the stiffness might be. Modified bitumens in particular are being restricted at higher temperatures when the field data suggests that they perform without significant cracking to much lower temperatures (-10°C in some cases). This happens because modification lowers the 'm' value without affecting thermal cracking resistance. This is currently being addressed by considering the strength to failure obtained from the DT test and



Bitumen mit größeren $G^*/\sin\delta$ -Werten zeigte dabei weniger Neigung zur Spurrillenbildung. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 dargestellt, wo die Tiefe der Rillen als Funktion des $G^*/\sin\delta$ -Wertes für fünf verschiedene Bitumen bei verschiedenen Temperaturen und Lastfrequenzen aufgetragen ist. Unter Verwendung einer Einrichtung zum Erzeugen einer Beschleunigungsbelastung wurden ähnliche Ergebnisse erzielt.

Eine Reihe von Staaten (Maryland, Iowa, Wisconsin) sowie kanadische Provinzen (Saskatchewan, Ontario, Quebec) haben bereits Erneuerungsaufträge und Neubauten von Straßen unter der neuen Spezifikation SUPERPAVE verteilt. Die bisherigen Ergebnisse, obwohl noch vorläufig, sind zufriedenstellend [12]. Die SUPERPAVE-Parameter wurden auch in Manitoba, Ontario und Quebec (Kanada) ausgewertet [13]. Die Tieftemperaturparameter wurden dabei als gute Vorhersage der Neigung des Belags zur thermischen Rißbildung identifiziert. Zusätzlich zu diesen Versuchen sind auch eine Reihe von speziellen Straßenbelagstudien begonnen worden um die Effizienz der Spezifikationen zu testen. Die vollständige Aufnahme der Spezifikationen ist für 1997 zu erwarten.

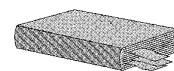
7 Aussicht

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit der Ergebnisse aus Feldexperimenten wird deutlich, daß zwei der Parameter noch mehr Experimente erfordern. Es handelt sich dabei um die Ermüdungsparameter. Es werden derzeit andere Parameter hierfür untersucht. Insbesondere die Verwendung des m -Wertes erfordert weiter Überlegungen. Es zeigt sich aus den Experimenten, daß 95% der untersuchten Bitumen durch den m -Wert unabhängig von der Steifigkeit beeinflusst sind. Insbesondere für modifizierte Bitumen gelten die Hochtemperaturdaten nur eingeschränkt, denn Feldversuche zeigen, daß kaum Rißbildung bei tiefen Temperaturen (bis -10°C) eintritt. Dies entsteht aufgrund der durch die Modifikation herabgesetzten m -Werte ohne Einfluß auf daß Rißverhalten. Diese Tatsache wird derzeit dadurch berücksichtigt, indem die Bruchlast aus den DT-Experimenten in die neue Spezifikation eingearbeitet wird. Zusätzlich wird die Kriechfestigkeit und der m -Wert berücksichtigt. Derzeit werden nur Bruchdehnungen aus DT-Experimenten verwendet, wenn die Kriechfestigkeit zwischen 300 und 600 MPa liegt.

Abb. 5:
Validierung des SUPERPAVE Spurrillenparameters $G^*/\sin\delta$ mit Laborexperimenten, Daten aus [11]

Fig. 5:
Laboratory Validation of Superpave Rutting Parameter $G^*/\sin\delta$, plotted using Data from [11]

incorporating it into the specification in addition to the creep stiffness and/or m value requirement. At present only strain to failure (from the DT test) is used when creep stiffness is between 300 and 600 MPa.



Rh

- [1] Anderson, D. A.; et. al.: "Binder Characterization and Evaluation" SHRP A-369, 3, Physical Characterization, Strategic Highway Res. Progr., National Res. Council, (1994), Washington D.C.
- [2] Williams, M. L.; Landel, R. F.; Ferry, J. D.: "The Temperature Dependence of Relaxation mechanisms in Amorphous Polymers and Other Glass-Forming Liquids", J. of Am. Chem. Soc., 77 (1955), pp. 3701-3706
- [3] Ferry, J. D.: "Viscoelastic Properties of Polymers", 3rd ed., Wiley, New York, (1980)
- [4] Christensen, D. W.: "Mathematical Modeling of the linear Viscoelastic Behavior of Asphalt Cements", Ph.D Thesis in Civil Engineering, Pennsylvania State Univ., Pa, (1992)
- [5] Marasteanu, M.; Anderson, D. A.: "Time-Temperature Dependency of Asphalt Binders - an Improved Model", to be published in the J. of the Assoc. of Asphalt Paving Technol., 65 (1996)
- [6] Dongre, R.; Sharma, M. G.; Anderson, D. A.: "Characterization of Failure Properties of Asphalt Binder", Physical Properties of Asphalt Cement Binders: ASTM STP 1241, John C. Hardin, Ed., Am. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia (1995)
- [7] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.03, Am. Soc. for Testing and Materials, Philadelphia, 1995
- [8] Anderson, D. A.; Kennedy, Thomas W.: "Development of SHRP Binder Specification", J. of the Assoc. of Asphalt Paving Technol., 62 (1993), pp. 481-507
- [9] Dongre, R.; D'Angelo, J.; McMahon, S.: "Implementation of the Superpave Direct Tension Device", Proceedings of the 1st Euraspalt & Eurobitume Congress, May 7-10 1996, Strasbourg, France
- [10] Anderson, D. A.; et. al.: "Binder Characterization and Evaluation" SHRP A-369, Vol. 4, Binder Test Methods, Strategic Highway Res. Progr., National Res. Council, 1994, Washington D.C.
- [11] Stuart, K. D.; Izzo, R. P.: "Correlation of Superpave $G^*/\sin\delta$ with Rutting Susceptibility from Laboratory Mixture Tests", Transport. Res. Record, No. 1492, Transport. Res. Board, National Res. Council, Washington, D.C., 1994
- [12] Geistlinger, L.: "How 'Super' is Superpave, Roads and Bridges, February 1996
- [13] Deme, I. J.; Deserres, M. C.; Leters, J. R.: "Effectiveness of Multigrade-Type Bitumens in Preventing Pavement Cracking and Rutting", Proceedings of the 40th Annual Conf. of Canadian Technical Asphalt Assoc., Poly-science Publ. Inc., Morin Heights, Quebec, Canada 1995



Rh