

Einfluss des Bindemittelgehaltes auf das mechanische Verhalten von Splittmastixasphalten mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen

FA 7.167

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig,
Institut für Straßenwesen
(Prof. Dr.-Ing. Leutner)

Bearbeiter: Arand, W. / Zander, U. /
Renken, P. / Büchler, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
Abschluss: Oktober 1999

1. Aufgabenstellung

Splittmastixasphalte bestehen aus einem Mineralstoffgemisch mit sehr hohem Splittgehalt und einem hohen Anteil der jeweils größten Körnung, aus Bitumen als Bindemittel und so genannten stabilisierenden Zusätzen, die primär als Bindemittelträger

wirken sollen. Durch das nach dem Prinzip der Ausfallkörnung aufgebaute Mineralstoffgemisch entsteht ein in sich selbst abgestütztes Splittgerüst, dessen Hohlräume weitgehend durch einen mastixähnlichen Mörtel ausgefüllt werden. Der Mörtel soll eine hohe Steifigkeit und Klebefähigkeit besitzen, um Kornverschiebungen innerhalb des Splittgerüsts zuverlässig zu verhindern. Der Bindemittelträger hat die Aufgabe, die für die mastixähnliche Zusammensetzung des Mörtels erforderlichen hohen Bindemittelmengen während des Mischens, des Transportierens, des Einbauens und des Verdichtens zu binden und damit ein Abfließen des Bindemittels beziehungsweise des Mörtels zu verhindern.

Mit seinen „Empfehlungen für die Zusammensetzung, die Herstellung und den Einbau von Splittmastixasphalt“ vom Mai 1995 hat der Arbeitsausschuss „Bauweisen“ der Arbeitsgruppe „Asphaltstraßen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und

Verkehrswesen für den Splittmastixasphalt 0/11 S die Untergrenze für den Füllergehalt auf 9 M-T und die Untergrenze für den Bindemittelgehalt auf 6,5 M.-% festgelegt.

Um bei vergleichsweise engen Grenzen für den Hohlraumgehalt die nach den Technischen Regelwerken geforderten Mindest-Bindemittelgehalte einsetzen zu können, ohne dass es bei der Herstellung und Verarbeitung des Splittmastixasphaltes zu Entmischungen kommt, werden die oben bereits erwähnten stabilisierenden Zusätze eingesetzt. Hinter dem Begriff „stabilisierende Zusätze“ verbergen sich unter anderem organische, mineralische und chemische Faserstoffe, natürliche Kieselsäuren, Polymere sowie andere Stoffe, die sich in ihrer physikalischen Struktur und/oder in ihrem Chemismus teilweise stark unterscheiden.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass das mechanische Verhalten von Splittmastixasphalten durch Eingriffe in die Zusammensetzung – Korngrößenverteilung des Mineralstoffgemischs, Bindemittelgehalt, Art und Menge der stabilisierenden Zusätze – verändert werden kann. Um diese Möglichkeiten im Sinne einer Optimierung der Asphalteigenschaften zielsicher nutzen zu können, ist es notwendig, die Auswirkungen kompositioneller Maßnahmen auf die Gebrauchseigenschaften von Splittmastixasphalten quantitativ bewerten zu können.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher festzustellen, wie sich die Verdichtbarkeit, der Verformungswiderstand bei Wärme, die Rissresistenz bei Kälte und die Ermüdungsbeständigkeit sehr splittreicher Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt verändern, um daraus Entscheidungshilfen für zielführende Eignungsprüfungen ableiten zu können.

2. Untersuchungsmethodik

Gegenstand der Untersuchungen ist ein sehr splittreicher Splittmastixasphalt 0/11 S mit 10 M-T Füller, 12 M-T Brechsand und 78 M-T Splitt, dessen Gehalt an Bitumen B 65 in vier Stufen – nämlich B = 6,0 M.-%, B = 6,5 M.-%, B = 6,8 M.-% und B = 7,3 M.-% – systematisch variiert wird. An stabilisierenden Zusätzen werden als organische Faser Arbocel mit 0,3 M-T, als mineralische Faser Inorbit mit 0,4 M-T, als chemische Faser Dolanit mit 0,1 M-T, als synthetische Kieselsäure Sipernat 22 mit 0,8 M-T und als Polymer das Gummimehl Krailastic mit 0,5 M.-% eingesetzt. Darüber hinaus gelangt als Sonderfüller Dorobit zur Anwendung, welcher mit 10 M-T das Kalksteinmehl im Korngrößenbereich kleiner/gleich 0,09 mm vollständig substituiert.

Die aus der systematischen Variation des Bindemittelgehalts in vier Stufen und der Art der stabilisierenden Zusätze in sechs Stufen resultierenden vierundzwanzig Splittmastixasphaltvarianten wurden im Laboratorium unter Verwendung eines Rego-Mischers in benötigter Menge hergestellt.

Die Verdichtbarkeit der Splittmastixasphalte wurde entsprechend der „Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt mit Hilfe des Marshall-Verfahrens“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen aus dem Jahre 1987 über die Bestimmung der Dickenänderungen eines einzelnen Probekörpers während des Verdichtungsprozesses in Abhängigkeit von der Anzahl der aufgewendeten Verdichtungsschläge ermittelt. Merkmalsgröße zur Beschreibung der Verdichtbarkeit ist dabei der so genannte Verdichtungswiderstand D.

Der Verformungswiderstand der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen und Bindemittelgehalten wurde mittels des dynamischen Stempeleindringversuchs [1] angesprochen, bei dem eine zylindrische Asphaltprobe mit einem Durchmesser von rund 200 mm und einer Dicke von etwa 40 mm mittels eines kreisrunden Stempels von 80 mm mit 20.000 Lastwechseln mittig dynamisch beansprucht wird. Der Verformungswiderstand wird dabei über den Kehrwert der auf die Probekörperdicke bezogenen dynamischen Stempeleindringtiefe bewertet.

Zur Ansprache der Rissresistenz werden einaxiale Zugversuche bei vier verschiedenen Prüftemperaturen [$T = +20\text{ °C}$, $T = +5\text{ °C}$, $T = -10\text{ °C}$ und $T = -25\text{ °C}$] sowie Abkühlversuche durchgeführt. Als Proben dienen prismatische Probekörper mit einem Querschnitt von rund $40 \times 40\text{ mm}^2$ und einer Länge von etwa 160 mm. Diese Versuche gestatten es, das mutmaßliche Verhalten von Asphalten bei Kälte über die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung, die Bruchspannung und die Bruchtemperatur zuverlässig abzuschätzen.

Als praxisadäquates Instrumentarium zur Ansprache der Ermüdungsbeständigkeit werden kraftgeregelte einaxiale Zug-Schwellversuche an den oben beschriebenen prismatischen Probekörpern durchgeführt. Bewertungskriterium ist dabei die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Versagen, die so genannte Bruchlastwechselzahl.

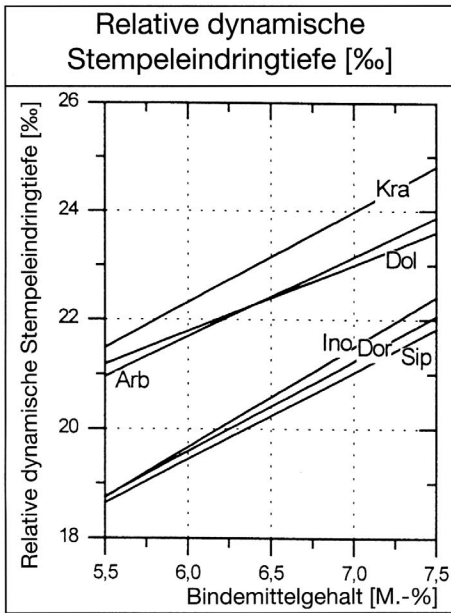
Für alle Untersuchungen gilt das Prinzip der Dreifachbelegung. Die Untersuchungsergebnisse werden unter Anwendung bewertender Methoden der mathematischen Statistik ausgewertet. Dabei gelangen Varianzanalysen der zweifachen Klassifikation, lineare Regressionsanalysen, Linearitätstests, Signifikanztests, evolutionsstrategische Berechnungen und Rangfolgetests mit einfachen Varianzvergleichen und einfachen Mittelwertvergleichen zur Anwendung.

3. Untersuchungsergebnisse

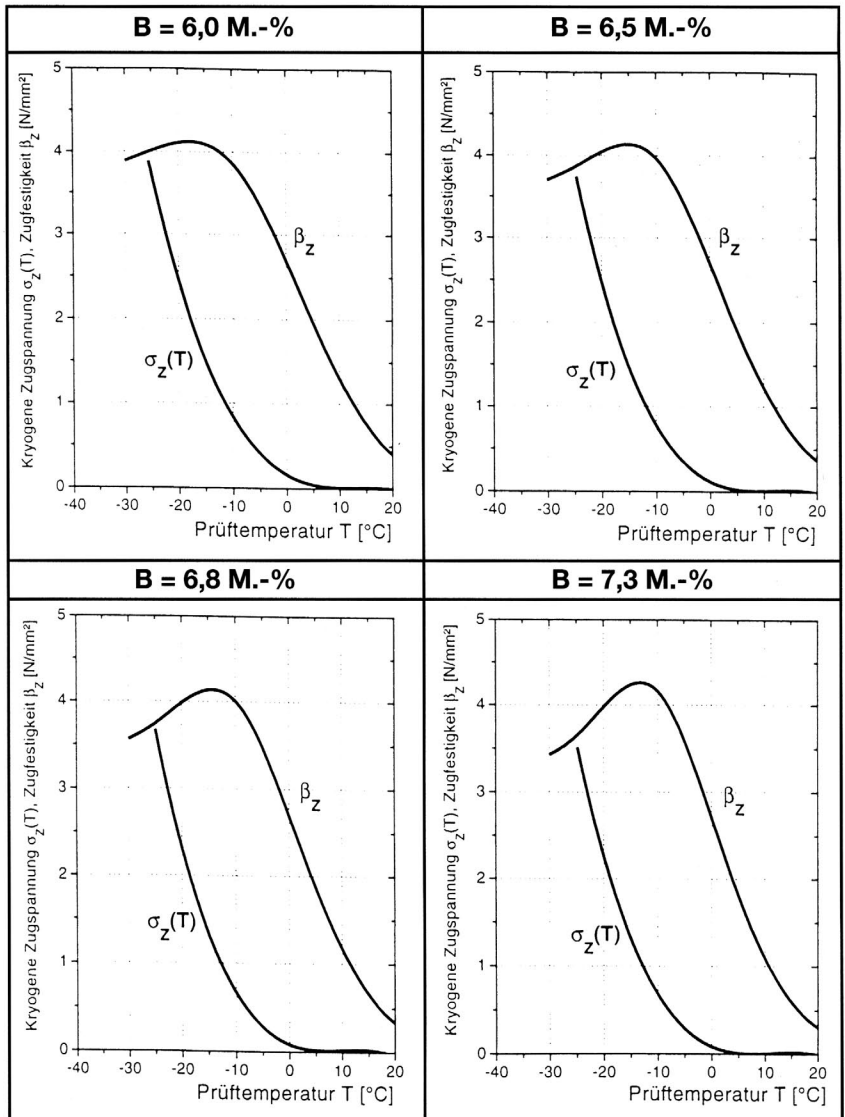
Bei einem durchschnittlichen Verdichtungswiderstand für den Splittmastixasphalt 0/11 S mit Arbocel als stabilisierendem Zusatz von rund $D = 45,0\text{ [21 Nm]}$ und für den Splittmastixasphalt 0/11 S mit Inorbit als stabilisierendem Zusatz von etwa $D = 51,4\text{ [21 Nm]}$ wurde für alle sechs Splittmastixasphaltvarianten ein mittlerer Verdichtungswiderstand von $D = 47,6\text{ [21 Nm]}$ ermittelt. Der Austausch eines stabilisierenden Zusatzes gegen einen anderen kann also eine Veränderung des Verdichtungswiderstandes (ΔD) um rund 6 Einheiten bewirken. Dagegen nimmt sich die durchschnittliche Änderung des Verdichtungswiderstandes von weniger als $\Delta D = 0,2\text{ [21 Nm]}$ bei Änderung des Bindemittelgehaltes um $\Delta B = 1,0\text{ M.-%}$ sehr bescheiden aus. Es kann also festgestellt werden, dass die Verdichtbarkeit sehr splittreicher Splittmastixasphalte 0/11 S zwar durch die Art des stabilisierenden Zusatzes, praktisch aber nicht durch den Bindemittelgehalt beeinflusst werden kann.

Der Verformungswiderstand hängt sowohl von der Art des stabilisierenden Zusatzes als auch vom Bindemittelgehalt ab. Bei einer mittleren relativen dynamischen Stempeleindringtiefe von $\epsilon_{rdyn} = (21,76 \pm 1,39)\text{ ‰}$ aller sechs Splittmastixasphaltvarianten bewirkt ein Übergang vom Sipernat auf Krailastic als stabilisierendem Zusatz im Extremfall eine Zunahme des genannten Merkmalswertes um $\Delta\epsilon_{rdyn} = 3,0\text{ ‰}$ (siehe Bild 1, nächste Seite). Eine Steigerung des Bindemittelgehalts um $\Delta B = 1,0\text{ M.-%}$ lässt dagegen einheitlich bei allen Splittmastixasphalten 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen die relative dynamische Stempeleindringtiefe nur um etwa $\Delta\epsilon_{rdyn} = 1,6\text{ ‰}$ (entsprechend 7,2 % (relativ)) größer werden. Der Einfluss der stabilisierenden Zusätze auf den Verformungswiderstand ist also gegenüber dem Einfluss von Änderungen des Bindemittelgehalts dominant. Dieses ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass bei normalen Asphaltbetonen 0/11 ein Anstieg des Bindemittelgehalts um $\Delta B = 1,0\text{ M.-%}$ im dynamischen Triaxialversuch eine Zunahme der bleibenden axialen Dehnungen als Merkmalsgröße zur Beschreibung des Verformungswiderstandes um rund 90 % (relativ) bewirkt. Damit kann gesagt werden, dass der Verformungswiderstand sehr splittreicher Splittmastixasphalte 0/11 S durch Änderungen des Bindemittelgehalts nur wenig beeinflusst wird.

Die Rissresistenz der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen wird über die Merkmalsgrößen Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Bruchspannung und Bruchtemperatur charakterisiert.



1: Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen der relativen dynamischen Stempeldringtiefe ϵ_{rdyn} der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen als Zielgröße und dem Bindemittelgehalt B als Einflussgröße



2: Zugfestigkeiten β_z und kryogene Zugspannungen $\sigma_z(T)$ der Splittmastixasphalte 0/11 S mit Arbocel als stabilisierendem Zusatz und mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten B in Abhängigkeit von der Prüftemperatur

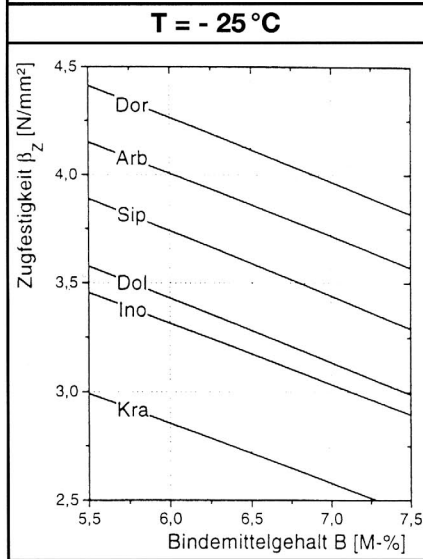
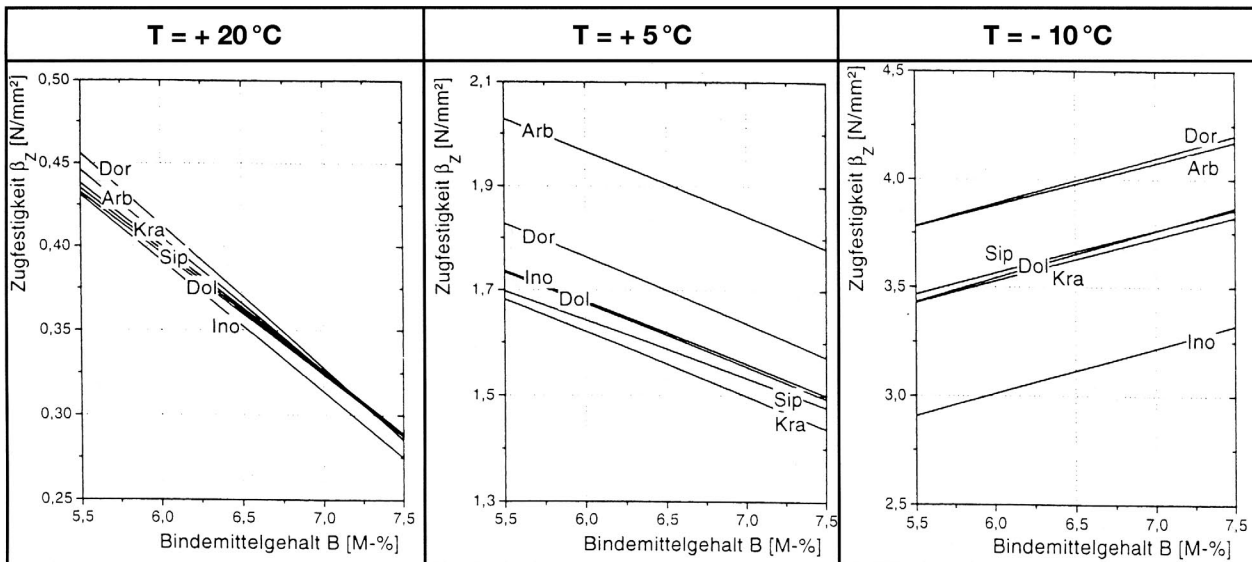
Die Zugfestigkeiten sind in hohem Maße von der Prüftemperatur abhängig: Während sie bei hohen Temperaturen deutlich oberhalb des Gefrierpunktes vergleichsweise gering sind, nehmen sie bei fallenden Temperaturen sehr schnell zu, um im Temperaturbereich zwischen $T = -10\text{ °C}$ und $T = -25\text{ °C}$ ein Maximum zwischen etwa $\beta_z = 3,3\text{ N/mm}^2$ und $\beta_z = 4,3\text{ N/mm}^2$ zu erreichen, ehe sie wieder geringer werden (siehe Bild 2). Das Maximum der Zugfestigkeit verschiebt sich mit zunehmendem Bindemittelgehalt aus einem Bereich sehr tiefer Prüftemperaturen in einen Bereich mitteltiefer Prüftemperaturen, was als vorteilhaft gilt, da extrem tiefe Temperaturen in der Praxis seltener auftreten als mitteltiefe [2].

Auffällig ist, dass die Zugfestigkeiten bei Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes und bei extrem tiefen Temperaturen ($T = -25\text{ °C}$) mit zunehmendem Bindemittelgehalt kleiner werden und im Bereich mitteltiefer Temperaturen ($T = -10\text{ °C}$) zunehmen (siehe Bild 3, nächste Seite).

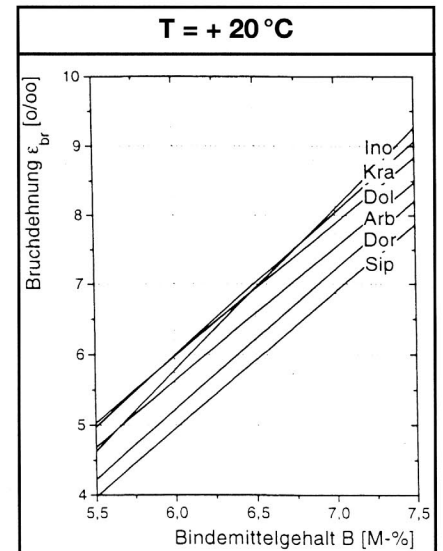
Verantwortlich für den Vorzeichenwechsel bei Temperaturen um den Gefrierpunkt ist die mit abnehmenden Temperaturen zunächst stark zunehmende Zugfestigkeit des Bitumens und für den Vorzeichenwechsel im Bereich sehr tiefer Temperaturen die Verringerung der Zugfestigkeit des Bitumens nach Durchlaufen eines Maximums infolge der Entstehung „freier Hohlräume“ im Bitumen, über welche keine Zugspannungen mehr übertragen werden können. Insoweit ist die Abhängigkeit der Zugfestigkeit der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen von der Prüftemperatur absolut plausibel.

Bei Prüftemperaturen knapp oberhalb und besonders unterhalb des Gefrierpunktes wird die Zugfestigkeit der Splittmastixasphalte 0/11 S darüber hinaus auch signifikant durch die Art der stabilisierenden Zusätze geprägt. Bei der sehr tiefen Prüftemperatur $T = -25\text{ °C}$ besteht zwischen den mittleren Zugfestigkeiten β_z der Splittmastixasphalte mit Arbocel und mit Inorbit als stabilisierenden Zusätzen ein Unterschied von $\Delta\beta_z = (4,07 - 2,67) = 1,4\text{ N/mm}^2$. Die Zugfestigkeit wird hier stärker durch die stabilisierenden Zusätze und weniger stark durch Änderungen des Bindemittelgehalts geprägt.

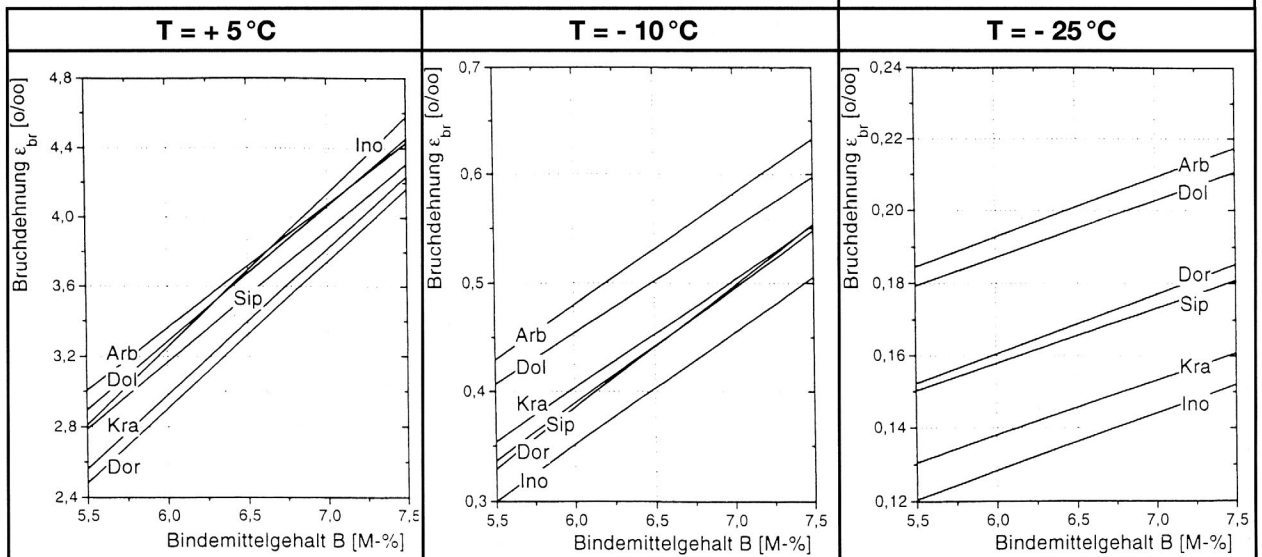
Die Bruchdehnungen der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen erreichen bei der hohen Prüftemperatur von $T = +20\text{ °C}$ Werte zwischen rund $\epsilon_{br} = 5\text{ ‰}$ und etwa $\epsilon_{br} = 9\text{ ‰}$, wobei die kleineren Werte den bindemittelärmeren Splittmastixasphaltvarianten und die größeren den bindemittelreicheren zuzuordnen sind. Bei der extrem tiefen Prüftemperatur von $T = -25\text{ °C}$ wurden Bruchdehnungen zwischen $\epsilon_{br} = 0,13\text{ ‰}$ und $\epsilon_{br} = 0,22\text{ ‰}$ registriert, wobei wiederum die bindemittelreicheren Varianten das bessere Dehnvermögen besitzen. Insgesamt nehmen die Bruchdehnungen mit steigendem Bindemittelgehalt bei höheren Prüftemperaturen stärker und bei tiefen Prüftemperaturen weniger stark zu. Bei der extrem tiefen Prüftemperatur von $T = -25\text{ °C}$ liefern auch die stabilisierenden Zusätze einen signifikanten Beitrag zur Ausprägung der Merkmalsgröße. Bei einem Wechsel von Arbocel auf Inorbit als stabilisierendem Zusatz im Splittmastixasphalt 0/11 S kann sich die Bruchdehnung bei den gewählten Dosierungen von $\epsilon_{br} = 0,203\text{ ‰}$ auf $\epsilon_{br} = 0,139\text{ ‰}$ um mehr als 30 % (relativ) verschlechtern (siehe Bild 4).



3: Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen der Zugfestigkeit β_z der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen als Zielgröße und dem Bindemittelgehalt B als Einflussgröße



4: Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen der Bruchdehnung ϵ_{br} der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen als Zielgröße und dem Bindemittelgehalt B als Einflussgröße

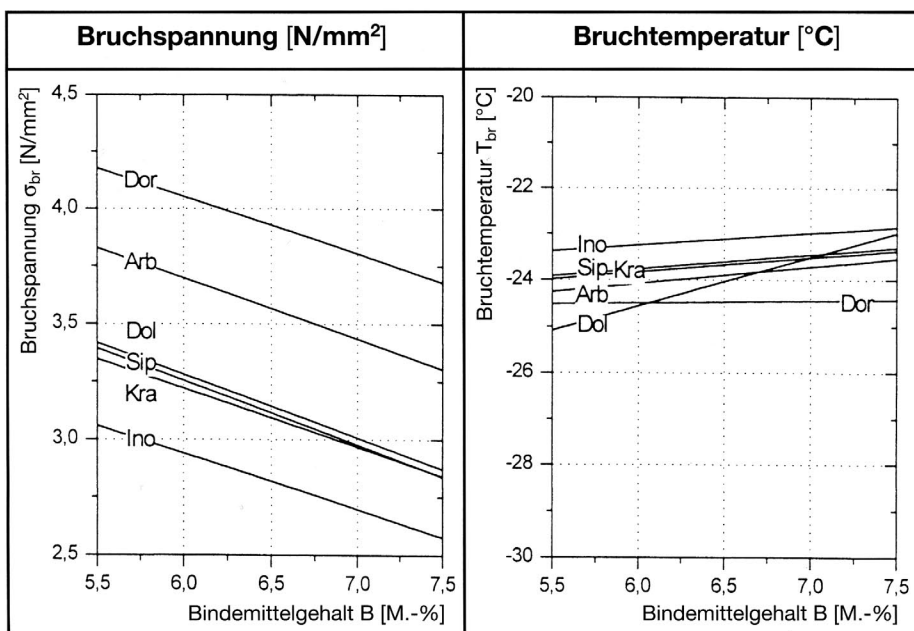


Für die Bruchspannungen wurden Werte zwischen $\sigma_{br} = 2,6 \text{ N/mm}^2$ für den Splittmastixasphalt 0/11 S mit Inorbit als stabilisierendem Zusatz und einem Bindemittelgehalt von $B = 7,3 \text{ M.-%}$ sowie $\sigma_{br} = 4,1 \text{ N/mm}^2$ für den Splittmastixasphalt 0/11 S mit Dorobit als stabilisierendem Zusatz und einem Bindemittelgehalt von $B = 6,0 \text{ M.-%}$ registriert (siehe Bild 5). Die Bruchspannungen σ_{br} sind gelegentlich etwas kleiner (in einem Fall auch größer) als die Zugfestigkeiten β_z bei der Prüftemperatur $T = -25 \text{ °C}$, was darauf hindeutet, dass die Bedingungen der einaxialen Zugversuche mit einer Verformungsgeschwindigkeit von $v = 1 \text{ mm/min}$ und der Abkühlversuche mit einer Abkühlrate von $T = -10 \text{ K/h}$ für die sehr splittreichen Splittmastixasphalte 0/11 S nicht immer materialgerecht optimal aufeinander abgestimmt gewesen sind. Im Übrigen nehmen auch die Bruchspannungen mit zunehmendem Bindemittelgehalt in ähnlicher Weise ab wie die Zugfestigkeiten bei den extrem tiefen Prüftemperaturen von $T = -25 \text{ °C}$. Die Bruchspannungen werden darüber hinaus auch durch die Art der stabilisierenden Zusätze signifikant beeinflusst, was sich in einer Verringerung der mittleren Bruchspannungen um bis zu 30 % (relativ) beim Wechsel von einem stabilisierenden Zusatz zu einem anderen (siehe oben) zeigt.

Die Bruchtemperaturen bewegen sich im Temperaturbereich zwischen $T = -23 \text{ °C}$ und $T = -25 \text{ °C}$. Ein systematischer Einfluss des Bindemittelgehalts auf die Bruchtemperatur ist bei vier von sechs stabilisierenden Zusätzen – nämlich Inorbit, Sipernat, Krailastic und Dorobit – trotz einer gewissen Tendenz zu einem Anstieg der Bruchtemperatur mit zunehmendem Bindemittelgehalt, der einer Vergrößerung des eindimensionalen thermischen Dehnbeiwerts [3] und damit einem etwas steileren Anstieg der kryogenen Zugspannungen mit fallenden Temperaturen zugeschrieben werden kann, nicht erkennbar. Bei Verwendung von Arbocel als stabilisierendem Zusatz steigt die Bruchtemperatur der Splittmastixasphalte 0/11 S mit zunehmendem Bindemittelgehalt leicht, bei Verwendung von Dolanit etwas stärker an. Da die Bruchtemperaturen auf eine Veränderung des Bindemittelgehalts um $\Delta B = 1 \text{ M.-%}$ aber im ungünstigsten Fall höchstens mit einer Veränderung B um $\Delta T_{br} = 1 \text{ K}$ reagieren, kann der Einfluss des Bindemittelgehalts auf die Bruchtemperaturen vernachlässigt werden. Vergleichbares gilt für den Einfluss der stabilisierenden Zusätze.

Die Ermüdungsbeständigkeit – beschrieben über die Merkmalsgröße Bruchlastwechselzahl – wird dominant durch die Temperatur des Asphalts geprägt. Diese ist im Außenbereich durch den Menschen praktisch nicht beeinflussbar. Daher muss die Viskosität des Bitumens im Asphalt optimal auf die zeitliche Temperaturverteilung am Einsatzort abgestimmt werden. Dieses war nicht Thema des aktuellen Forschungsvorhabens. Hier ging es vielmehr darum festzustellen, wie sich die Bruchlastwechselzahlen von Splittmastixasphalten 0/11 S bei gegebenen Temperaturen mit dem Bindemittelgehalt und der Art der stabilisierenden Zusätze verändern. Auf experimentellem Wege wurde ermittelt, dass die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel mit zunehmendem Bindemittelgehalt zunächst ansteigt, um dann in vier von sechs Fällen nach Durchlaufen eines Maximums wieder kleiner zu werden und in zwei von sechs Fällen – nämlich bei den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Arbocel und mit Dolanit als stabilisierenden Zusätzen – bis zum Erreichen eines Bindemittelgehalts von $N = 7,3 \text{ M.-%}$ stetig weiter anzusteigen (siehe Tabelle 1, nächste Seite).

Den größten Einfluss auf die Bruchlastwechselzahl besitzt die Art des stabilisierenden Zusatzes: Während für die Splittmastixasphalte 0/11 S mit dem günstigsten Bindemittelgehalt von $7,3 \text{ M.-%}$ und Arbocel als stabilisierendem Zusatz im Maximum eine Bruchlastwechselzahl von mehr als $N = 270.000$ registriert wurde, erreicht die Bruchlastwechselzahl bei den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Krailastic als stabilisierendem Zusatz bei einem optimalen Bindemittelgehalt von $B = 6,5 \text{ M.-%}$ bis $B = 6,8 \text{ M.-%}$ im Maximum nur eine Bruchlastwechselzahl von rund $N = 110.000$. Dabei ist jedoch zu beachten, dass alle Aussagen zur Ermüdungsbeständigkeit nur für die Splittmastixasphalte 0/11 S mit von den Herstellern empfohlenen und hier zur Anwendung gelangten Dosierungen an stabilisierenden Zusätzen gelten. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass mit anderen Dosierungen günstigere (oder auch ungünstigere) Ergebnisse zu erreichen wären.



5: Ergebnisse der linearen Regressionsanalysen zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Bruchspannung σ_{br} beziehungsweise der Bruchtemperatur T_{br} der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen als Zielgröße und dem Bindemittelgehalt als Einflussgröße

Tabelle 1: Anzahl der berechneten ertragbaren Lastwechsel bis zum Versagen – berechnete Bruchlastwechselzahl N' [-] – der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt bei drei verschiedenen Prüftemperaturen

Merkmal		Berechnete Bruchlastwechselzahl N' [-]			
Stabilisierender Zusatz	Prüf-temperatur [°C]	Bindemittelgehalt B [M.-%]			
		6,0	6,5	6,8	7,3
Arbocel	+ 10	2.437	2.584	2.623	2.619
	± 0	36.117	40.590	42.532	43.068
	- 10	183.377	218.644	259.003	273.007
Inorbit	+ 10	382	1.382	1.734	1.552
	± 0	4.666	18.222	24.149	22.536
	- 10	27.330	106.187	137.675	126.905
Dolanit	+ 10	1.114	1.202	1.283	1.897
	± 0	13.168	17.391	18.913	28.834
	- 10	86.187	100.010	110.579	167.664
Sipernat	+ 10	921	1.130	1.483	848
	± 0	17.555	22.393	30.291	17.694
	- 10	131.232	172.723	233.696	137.899
Krailastic	+ 10	1.201	1.640	1.555	625
	± 0	16.046	22.326	21.459	8.685
	- 10	71.900	108.363	110.833	47.105
Dorobit	+ 10	2.625	2.921	2.687	1.303
	± 0	30.688	36.435	34.449	16.860
	- 10	124.009	156.200	166.959	85.059

4. Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden aus den experimentell ermittelten Daten für die mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen und unterschiedlichen Bindemittelgehalten (sowie deren Auswertung) allgemeine Aussagen zu den zu erwartenden mechanischen Eigenschaften abgeleitet.

Mechanische Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S sind der Verformungswiderstand bei Wärme, die Rissresistenz bei Kälte und die Ermüdungsbeständigkeit gegenüber wiederholten Beanspruchungen bei unterschiedlichen Temperaturen. Während zur quantitativen Bewertung des Verformungswiderstandes die relativen dynamischen Stempeldringtiefen in [%] herangezogen werden, wird die Rissresistenz über Zugfestigkeiten in [N/mm²], Bruchdehnungen N [%] und Bruchspannungen N [N/mm²] sowie die Ermüdungsbeständigkeit über Bruchlastwechselzahlen [-] charakterisiert. Eine Berücksichtigung der Bruchtemperatur in [°C] als weitere Merkmalsgröße zur Bewertung der Rissresistenz erscheint wegen der geringen Spreizung der Ergebnisse nicht zulässig.

Wie leicht zu sehen ist, handelt es sich bei den Merkmalsgrößen zur Charakterisierung der unterschiedlichen, das mechanische Verhalten der Asphalte prägenden Merkmalsgrößen im physikalischen Sinn um nicht-kommensurable Größen, das heißt: um solche Größen, die mit unterschiedlichen Maßstäben gemessen werden. Sie sind also nicht unmittelbar vergleichbar. In einem solchen Fall kann eine umfassende Bewertung aller Ergebnisse zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S nur über Rangfolgetests vorgenommen werden.

In einem ersten Durchgang wurde abgefragt, ob sich unterschiedliche Bindemittelgehalte der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen auf das mutmaßliche Gebrauchsverhalten überzufällig auswirken. Das Ergebnis der Rangfolgetests kann in Form arithmetischer Mittel und Standardabweichungen der Rangfolgezahlen der Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Mittel der arithmetische Mittel der Rangfolgezahlen aller mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S mit sechs unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen, getrennt nach den Bindemittelgehalten

Bindemittelgehalt B [M.-%]	6,0	6,5	6,8	7,3
Mittel der arithm. Mittel \bar{s}_{ik}	12,3926	11,8963	11,7518	13,9593
Standardabweichung s	4,3399	1,0728	2,4013	3,1207
Gesamtrang	3	2	1	4

Wie hier zu sehen ist, sind gesamtheitlich die Splittmastixasphalte 0/11 S mit einem Bindemittelgehalt von B = 6,8 M.-% vor den Splittmastixasphaltvarianten mit einem Bindemittelgehalt von B = 6,5 M.-% am Günstigsten zu beurteilen. Am wenigsten vorteilhaft schneiden beim Rangfolgetest die Splittmastixasphalte 0/11 S mit einem Bindemittelgehalt von B = 7,3 M.-% ab.

Das Ergebnis kann als Bestätigung für die Richtigkeit der in den Technischen Regelwerken verankerten Forderung nach einem Mindest-Bindemittelgehalt von B ≥ 6,5 M.-% für Splittmastixasphalte 0/11 S gelten.

Die Ergebnisse eines zweiten Rangfolgetests zur Ermittlung des Einflusses der Art der stabilisierenden Zusätze auf die mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S sind in Tabelle 3 (nächste Seite) zahlenmäßig aufgelistet.

Die arithmetischen Mittelwerte am Fuß der Tabelle zeigen, dass die mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten in ihrer Gesamtheit deutlich durch die Art der stabilisierenden Zusätze geprägt werden. Nach Augenschein sind mehrere Gruppen von Splittmastixasphalten 0/11 S mit ähnlichen mechanischen Eigenschaften zu unterscheiden, nämlich eine erste Gruppe mit besonders günstigen Perspektiven mit den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Dorobit, Arbocel und Sipernat als stabilisierenden Zusätzen, eine mittlere Gruppe mit den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Dolanit und Inorbit als stabilisierenden Zusätzen und eine letzte Gruppe, in der sich nur die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Krailastic als stabilisierendem Zusatz finden.

Interessant ist ein Blick auf die Bewertung einzelner Eigenschaften durch die Rangfolgetests. Beim Verformungswiderstand sind unübersehbar zwei Gruppen mit unterschiedlichen relativen dynamischen Stempeldringtiefen zu unterscheiden. In die erste Gruppe fallen die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Sipernat, Dorobit und Inorbit als stabilisierenden Zusätzen. Diese Gruppe zeichnet sich durch einen höheren Verformungswiderstand aus, der allerdings auch dem Umstand zuschreiben ist, dass gewisse Anteile des dosierten Bitumens infolge „Ablaufens“ oder „Aufsausens“ asphalttechnologisch unwirksam geworden sind. In die zweite Gruppe fallen die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Dolanit, Arbocel und Krailastic als stabilisierenden Zusätzen. Dabei sind die beiden Splittmastixasphaltvarianten mit Faserstoffen etwas günstiger zu bewerten als die Splittmastixasphaltvariante mit dem Gummimehl.

Bei Kälte darf von den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Arbocel und mit Dorobit als stabilisierenden Zusätzen ein besonders günstiges Verhalten erwartet werden. Im Ranking folgen dann die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Dolanit und mit Sipernat. Am Ehesten rissgefährdet erscheinen die Splittmastixasphaltvarianten mit Krailastic und mit Inorbit als Zusatzstoffen. Eine ganz

Tabelle 3: Rangfolgetest zur Feststellung von Unterschieden in der Gebrauchstauglichkeit von Splittmastixasphalten 0/11 S mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten in Abhängigkeit von der Art des stabilisierenden Zusatzes in von den Herstellern empfohlenen Dosierungen

Eigenschaft	Merkmal	Bindemittelgehalt	Stabilisierende Zusätze					
			Arbocel	Inorbit	Dolanit	Sipernat	Krailastic	Dorobit
			Rangfolgezahl					
			S _{ik}	S _{ik}	S _{ik}	S _{ik}	S _{ik}	S _{ik}
Verformungswiderstand	ε _{rdyn} [%o]	6,0	11	3	13	1	15	2
		6,5	17	5	16	6	20	4
		6,8	19	9	18	7	23	8
		7,3	22	14	21	10	24	12
	Rangfolgezahlensumme		69	31	68	24	82	26
	Arithmetisches Mittel \bar{s}_{ik}		17,2500	7,7500	17,0000	6,0000	20,5000	6,5000
	Standardabweichung s		4,6458	4,8563	3,3665	3,7417	4,0415	4,4347
Rang		5	3	4	1	6	2	
Rissresistenz	β _z (-10) [N/mm ²]	6,0	7	24	19	18	20	8
		6,5	6	23	16	15	17	5
		6,8	4	22	13	12	14	3
		7,3	2	21	9	10	11	1
	β _z (-25) [N/mm ²]	6,0	4	14	12	8	21	1
		6,5	6	17	15	10	22	2
		6,8	7	18	16	11	23	3
		7,3	9	20	19	13	24	5
	ε _{br} (-10) [%o]	6,0	10	24	16	22	20	23
		6,5	8	21	9	18	15	19
		6,8	3	17	6	13	12	14
		7,3	1	11	2	7	4	5
	ε _{br} (-25) [%o]	6,0	6	24	8	17	22	15
		6,5	5	23	7	14	20	12
		6,8	2	21	4	13	18	11
		7,3	1	19	3	10	16	9
	σ _{br} [N/mm ²]	6,0	5	18	9	10	11	1
		6,5	6	22	12	13	14	2
		6,8	7	23	15	16	17	3
		7,3	8	24	19	20	21	4
Rangfolgezahlensumme		107	406	229	270	342	146	
Arithmetisches Mittel \bar{s}_{ik}		5,3500	20,3000	11,4500	13,5000	17,1000	7,3000	
Standardabweichung s		2,6011	3,5851	5,4142	4,0197	5,0461	6,4245	
Rang		1	6	3	4	5	2	
Ermüdungsbeständigkeit	N (+10) [-]	6,0	6	24	17	22	15	3
		6,5	5	20	14	13	9	1
		6,8	8	18	12	11	4	2
		7,3	7	19	10	21	23	16
	N (±10) [-]	6,0	6	24	21	16	22	9
		6,5	4	19	14	10	18	5
		6,8	2	12	11	3	20	7
		7,3	1	13	8	17	23	15
	N (-10) [-]	6,0	6	24	20	14	22	13
		6,5	3	18	19	5	16	9
		6,8	2	10	17	4	15	8
		7,3	1	12	7	11	23	21
	Rangfolgezahlensumme		51	213	170	147	210	109
	Arithmetisches Mittel \bar{s}_{ik}		4,2500	17,7500	14,1667	12,2500	17,5000	9,0833
Standardabweichung s		2,4168	4,9952	4,6872	6,2249	6,0828	6,1416	
Rang		1	6	4	3	5	2	
Mittel der arithm. Mittel \bar{s}_{ik}			8,9500	15,2667	14,2056	10,5833	18,3667	7,6278
Standardabweichung s			7,2090	6,6333	2,7752	4,0182	1,8583	1,3225
Gesamtrang			2	5	4	3	6	1

ähnliche Reihung ergibt sich für die Eigenschaft „Ermüdungsbeständigkeit“, nur dass sich hier die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Arbocel als stabilisierendem Zusatz noch einmal vorteilhaft – und zwar signifikant – von den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Dorobit absetzen.

Zur Identifizierung statistisch begründeter Unterschiede im mechanischen Verhalten der Splittmastixasphalte 0/11 S mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen wurden einfache Varianzvergleiche und einfache Mittelwertvergleiche für die arithmetischen Mittel der Rangfolgezahlen durchgeführt. Bei im statistischen Sinne meist gleichen Standardabweichungen der arithmetischen Mittelwerte zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften aller Splittmastixasphalte 0/11 S können die Ergebnisse der einfachen Mittelwertvergleiche der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Einfacher Mittelwertvergleich für die Mittel der arithmetischen Mittel der Rangfolgezahlen aller mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 S mit allen Bindemittelgehalten, getrennt nach der Art der stabilisierenden Zusätze

Stabilisierender Zusatz	Arbocel	Inorbit	Dolanit	Sipernat	Krailastic	Dorobit
Rang	2	5	4	3	6	1
Mittel der arithmetischen Mittel \bar{s}_{ik}	8,9500	15,2667	14,2056	10,5833	18,3667	7,6278
Standardabweichung	7,2090	6,6333	2,7752	4,0182	1,8583	1,3225
Einfacher Mittelwertvergleich						
Stabilisierender Zusatz		\hat{t}	t (2/4; 0,05)	Aussage		
Dorobit	Arbocel	0,31	4,30	gleich		
Dorobit	Sipernat	1,21	2,78	gleich		
Dorobit	Dolanit	3,71	2,78	ungleich		
Dorobit	Inorbit	1,96	4,30	gleich		
Dorobit	Krailastic	8,16	2,78	ungleich		
Arbocel	Sipernat	0,34	2,78	gleich		
Arbocel	Dolanit	1,18	2,78	gleich		
Arbocel	Inorbit	1,12	2,78	gleich		
Arbocel	Krailastic	2,19	2,78	gleich		
Sipernat	Dolanit	1,28	2,78	gleich		
Sipernat	Inorbit	1,05	2,78	gleich		
Sipernat	Krailastic	3,05	2,78	ungleich		
Dolanit	Inorbit	0,26	2,78	gleich		
Dolanit	Krailastic	2,16	2,78	gleich		
Inorbit	Krailastic	0,78	2,78	gleich		

Diese Mittelwertvergleiche bestätigen die bereits oben – auf Grund einer Betrachtung der arithmetischen Mittel für die Rangfolgezahlen der Gesamtheit der mechanischen Eigenschaften der Splittmastixasphalte 0/11 mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen – gemachte Aussage, nämlich, dass hinsichtlich des mutmaßlichen mechanischen Verhaltens drei in sich mehr oder weniger homogene Gruppen zu unterscheiden sind, nicht. Vielmehr heben sich mit einer statistischen Sicherheit von 5 % nur die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Dorobit von den Splittmastixasphalten 0/11 S mit Dolanit beziehungsweise Krailastic vorteilhaft ab und die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Sipernat von denen mit Krailastic.

Die Ursache für die trotz deutlicher Unterschiede in den Mittelwerten wenig zufrieden stellende Differenzierung der Untersuchungsergebnisse durch die Rangfolgetests ist der Tatsache zuzuschreiben, dass einzelne Splittmastixasphaltvarianten – wie beispielsweise diejenige mit Dorobit als stabilisierendem Zusatz – bei allen drei untersuchten mechanischen Eigenschaften stets den gleichen oder zumindest einen ähnlichen Rang erreicht haben, was sich in einer geringen Standardabweichung der arithmetischen Mittelwerte manifestiert, und andere Splittmastixasphaltvarianten nicht, wie beispielsweise die mit Arbocel als stabilisierendem Zusatz, die beim Verformungswiderstand „nur“ den fünften Rang erreicht hat, bei der Rissresistenz und der Ermüdungsbeständigkeit dagegen stets den ersten. Da beim Mittelwertvergleich die Differenz der Mittelwerte im Zähler der Wurzel aus der Summe der Varianzen im Nenner gegenübersteht, können große Standardabweichungen zur Folge haben, dass trotz größerer Differenzen bei den Mittelwerten im statistischen Sinne kein signifikanter Unterschied gegeben ist. Die Ergebnisse statistischer Tests sind also stets auf Plausibilität zu prüfen, und der Plausibilitätstest besagt, dass die augenscheinlich zu erkennenden Trends zu einer deutlichen Differenzierung nicht übersehen werden dürfen.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass

- die Verdichtbarkeit sehr splittreicher Splittmastixasphalte 0/11 S durch Änderungen des Bindemittelgehalts praktisch gar nicht und durch die Art des stabilisierenden Zusatzes spürbar beeinflusst werden kann,
- die mechanischen Eigenschaften in ihrer Gesamtheit bei einem Bindemittelgehalt zwischen B = 6,8 M.-% und B = 6,5 M.-% ein Optimum erreichen und durch den Ersatz eines stabilisierenden Zusatzes durch einen anderen wesentlich stärker beeinflusst werden können als durch Änderungen des Bindemittelgehalts,
- eine Steigerung des Bindemittelgehalts für den Verformungswiderstand von Nachteil und für die Rissresistenz von Vorteil ist, wobei aber stets bedacht werden sollte, dass das beste Mittel zur Vermeidung von Rissen infolge abkühlungsbedingter Spannungen der Einsatz von weicheren Straßenbaubitumen oder polymermodifizierten Bitumen mit geringerer Viskositäts-Temperatur-Empfindlichkeit ist.
- eine gute Ermüdungsbeständigkeit lässt sich bei allen drei Prüftemperaturen T = + 10 °C, T = ± 0 °C und T = - 10 °C am Ehesten mit einem Bindemittelgehalt von B = 6,8 M.-% erreichen.
- unter den gegebenen Versuchsbedingungen mit von den Herstellern empfohlenen Dosierungen der stabilisierenden Zusätze die Splittmastixasphalte 0/11 S mit Dorobit beziehungsweise Arbocel als stabilisierenden Zusätzen – beim Arbocel trotz gewisser (aber zu relativierender) Einschränkungen beim Verformungswiderstand – das günstigste Verhalten gezeigt haben.

Sofern von der Praxis für eine bestimmte Bauaufgabe ein hoher Verformungswiderstand gefordert wird, sollten Splittmastixasphalte 0/11 S mit einem Bindemittelgehalt von B = 6,5 M.-% zum Einsatz gelangen; sind die Forderungen nach Rissresistenz beziehungsweise Ermüdungsbeständigkeit vorrangig, so empfiehlt sich der Einsatz von Splittmastixasphalten mit einem Bindemittelgehalt von B = 6,8 M.-%.

Literaturverzeichnis

[1] Arand, W.: von der Decken, St.: Pilotphase in der Querschnittsforschung; Qualitätsplanung im Asphaltstraßenbau – behandelt am Beispiel des Verformungswiderstandes. Schlussbericht zum Forschungsauftrag Nr. 27 Q der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, Braunschweig 1996

[2] FGSV: Repräsentative Temperaturverteilungen in Asphaltbefestigungen. Arbeitspapier Nr. 25/B 2.1 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1990

[3] Löffler, M.: Neue Überlegungen zum eindimensionalen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Asphalt. Bitumen 43 (1981) 5, 159 -163