

Der Einfluß der Viskosität des Bitumens auf die Raumdichte von Asphalt bei konstanter Verdichtungsarbeit und vorgegebener Verdichtungstemperatur

Holle Fritsche, Dresden

Einleitung

Der zunehmende Einsatz von polymermodifizierten Bindemitteln vor allem für Asphalte mit besonderen Belastungen führte zu einer kritischen Betrachtung der maßgeblichen einschlägigen Vorschriften, Merkblätter und DIN-Normen. Die Raumdichte (DIN 1996 T. 7) von im Labor standardgerecht hergestellten Marshall-Probekörpern (DIN 1996 T. 4) ist eine für Eignungsprüfungen, die Eigenüberwachung und Kontrollprüfungen sowie Schiedsuntersuchungen immens wichtige und zentrale Einflußgröße. Die Raumdichte der Marshall-Probekörper ist Bezugswert und Grundlage für den zur Abnahme wichtigen Kennwert, den Verdichtungsgrad k . Sie dient im Zusammenhang mit der Rohdichte des betreffenden Asphaltes zur Bestimmung des Hohlraumgehaltes im Asphalt.

Das bedeutet, daß die Herstellung der Probekörper exakt geregelt sein muß. Der Mischprozeß, die apparativen Voraussetzungen wie Verdichtungsformen und Marshall-Verdichtungsgerät, das Einbringen des Mischgutes in die Formen, Verdichtungsarbeit, das Entformen sind ausreichend genau geregelt. Spielräume ergeben sich bei der Verdichtungstemperatur, bei welcher nach DIN 1996 T. 4 zwei Möglichkeiten existieren, und zwar einmal die in jedem Labor realisierbare Temperatur von $135 \pm 5^\circ\text{C}$ für Straßenbaubitumen nach DIN 1995 T. 1 und zum anderen für nicht genannte Bindemittel die problematische Äquiviskositätstemperatur $\dot{A}VT$ bei einer kinematischen Viskosität von 500 bis 600 mm^2/s , für deren Bestimmung nur in relativ wenigen Laboratorien Voraussetzungen vorhanden sind. Zur Er-

mittlung der Äquiviskositätstemperaturen ist es notwendig, die Viskosität-Temperatur-Funktion über einen weiten Temperaturbereich experimentell zu bestimmen. Es ist abzusehen, daß für härtere Bitumensorten und -arten diese vorgegebene Viskosität erst bei höheren Temperaturen erreicht wird.

Inwiefern die Raumdichte von unterschiedlichen Asphalten sowie die davon abhängigen Größen bzw. Kennwerte wie Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt durch die Viskosität des Bindemittels beeinflusst wird, soll festgestellt werden. Erstens wird der Einfluß der Viskosität des Bindemittels (der Bindemittel) durch unterschiedliche Verdichtungstemperaturen realisiert, und zweitens soll der unter isothermen Bedingungen und durch variable Bitumensorten und -arten induzierte Einfluß der Viskosität nachgewiesen werden. Dies war Ziel des im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) geförderten Forschungsvorhabens, (Nr. 11145 B, bearbeitet von Pilz, Peter und Fritsche, Holle).

Untersuchungsumfang und -konditionen

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde die Untersuchung von drei unterschiedlich verdichtungswilligen [1] Mischgut-sorten bzw. -arten, einer leicht verdichtbaren Asphalttragschicht 0/22 B (1), eines schwer verdichtbaren Asphaltbinders 0/16 S (2) und eines ebenfalls schwer verdichtbaren Splittmastixasphaltes 0/11 S (3), durchgeführt.

Sieben unterschiedliche Bindemittel im Anlieferzustand, drei Straßenbaubitumen nach DIN 1995 T.1 – ein B 80 (1), ein B 65 (2), ein B 45 (3) –, drei polymermodifizierte Bitumen der Sorte PmB 45 A (4 bis 6) nach TL PmB-StB und ein noch nicht standardisiertes PmB 25 (7) wurden verwendet, teils mit Abweichungen von den in ZTV Asphalt und ZTVT für die drei Mischgutarten empfohlenen Bindemittelsorten und -arten. Für die Tragschicht ATS 0/22 B kam außerdem ein durch 15 M.-% (8/1) und 30 M.-% (8/2) Asphaltgranulatzusatz modifiziertes Straßenbaubitumen B 80 zur Anwendung. Das mit Nr. 8 (RC-Bitumen) bezeichnete, aus dem Granulat zurückgewonnene, Bitumen wurde analog einem Straßenbaubitumen vollständig nach DIN 1995 T.1 untersucht.

Als Verdichtungstemperaturen wurden zunächst außer der Standardverdichtungstemperatur von 135°C um $\pm 35\text{ K}$ von dieser abweichende Temperaturen gewählt und um eine vierte Variante, die Äquiviskositätstemperatur $\dot{A}VT$ bei einer kinematischen Viskosität von $550\text{ mm}^2/\text{s}$ und einer von uns festgelegten Scherspannung von $\tau = 500\text{ Pa}$, ergänzt. Das bedeutet, daß die Verdichtung der Marshall-Probekörper bei konstanter Verdichtungsarbeit (2×50 Schläge) bei jeweils 4 Temperaturen 100°C (1), 135°C (2), 170°C (3) und $\dot{A}VT$ (4) erfolgte.

Im Vorfeld wurden im Rahmen von praxisrelevanten Eignungsprüfungen, die für eine ATS 0/22 B mit B 80 sowie den zwei Modifikationen durch Asphaltgranulatzusatz und für einen ABI 0/16 S sowie einen SMA 0/11 S mit B 65 drei innerhalb der Toleranzen der ZTVT bzw. ZTV Asphalt liegende um 0,5 M.-% differierende Bindemittelgehalte festgelegt. Der Rezepturvorschlag für die

Mischanlage wäre für die Asphalttragschicht die Variante mit dem mittleren (2) Bindemittelgehalt, für den Asphaltbinder und den Splittmastixasphalt eine Interpolationsvariante zwischen mittlerem (2) und höchstem (3) Bindemittelgehalt. Für die beiden letzteren Mischgutarten konnten bei dem gewählten niedrigsten (1) Bindemittelgehalt, bei ABi 0/16 S sogar dem mittleren (2) Bindemittelgehalt die Hohlraumgehaltsspannen nach ZTV Asphalt von 4 Vol.-% bis 7 Vol.-% bzw. 3 Vol.-% bis 4 Vol.-% nicht eingehalten werden.

Für jede der resultierenden Varianten, die sich durch Mischgutart, Bindemittel, Verdichtungstemperatur und Bindemittelgehalt unterscheiden, – für ATS 0/22 B sind es 63, für ABi 0/16 S sind es 81, für SMA 0/11 S sind es 72 (in Summe also 216 Varianten), wurden je fünf Marshall-Probekörper als Serie hergestellt und die Ergebnisse gemittelt. Als Mineralstoffe wurden sorgfältig aufbereitete Kornklassen (vom Über- und Unterkorn befreit, gewaschen, getrocknet) – für die Asphalttragschicht Rundkorn und für den Asphaltbinder und den Splittmastixasphalt ausschließlich gebrochenes Korn verwendet.

Unter den genannten Voraussetzungen wäre zu erwarten, daß in Abhängigkeit von der Mischgutart die niedrigsten Raumdichten bzw. die höchsten Hohlraumgehalte bei

- dem am höchsten viskosen Bindemittel (7),
- der niedrigsten Verdichtungstemperatur (1),
- dem niedrigsten Bindemittelgehalt (1)
- und die höchsten Raumdichten bzw. die niedrigsten Hohlraumgehalte bei dem am niedrigsten viskosen Bindemittel (1 bzw.2),
- der höchsten Verdichtungstemperatur (3, Ausnahmefall 4) und
- dem höchsten Bindemittelgehalt (3) auftreten.

Nach der von uns gewählten Nomenklatur für die 216 Varianten, Ziffer 1 - Mischgutart, Ziffer 2 - Bindemittel, Ziffer 3 - Verdichtungstemperatur, Ziffer 4 - Bindemittelgehalt müßten sich die niedrigsten Raumdichten bzw. höchsten Hohlraumgehalte bei den Asphaltvarianten 1.7.1.1, 2.7.1.1, 3.7.1.1 und die höchsten Raumdichten bzw. niedrigsten Hohlraumgehalte bei 1.1.3.3, 2.1.3.3 und 3.2.3.3 ergeben. Wie im folgenden nachgewiesen wird, stimmen Erwartungen und Ergebnisse hinreichend überein.

Untersuchungsergebnisse zu den Ausgangsstoffen

Bindemittel

Die im Rahmen der Untersuchungen einbezogenen acht Bindemittel wurden, wie aus Tabelle 1 ersichtlich, nach DIN 1995 T. 1 bzw. nach TL PmB-StB geprüft. Über den vollständigen Anforderungskatalog hinaus wurde die Dichte bei 40 °C bzw. 60 °C, die Nadelpenetration bei 40 °C bestimmt sowie die Untersuchung des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens (η, T) im Bereich von 60 °C bis 160 °C (20-K-Schritte) unter Verwendung des Rotationsviskosimeters MC 1 und RC 20 durchgeführt.

So konnten zusätzliche Informationen (vgl. Tab. 2) zu den Bindemitteln z.B.

- der Volumenausdehnungskoeffizient β ,
- der Penetrationsindex PI_{pen} (aus zwei Penetrationswerten bei unterschiedlichen Temperaturen), dem in Tab. 2 der aus der Nadelpenetration bei 25 °C und dem Erweichungspunkt Ring und Kugel ermittelte übliche

- Penetrationsindex PI_{EPH} (Index H: Bestimmung von EP RuK erfolgte mit Handgerät) gegenübergestellt ist, gewonnen werden.

Die Viskositäts-Temperatur-Abhängigkeit wurde durch die Gleichung nach Vogel (Regression) beschrieben, die mittels dreier stoffspezifischer Parameter (A, B, C) den exponentiellen Abfall der dynamischen Viskosität mit steigender Temperatur ϑ beschreibt.

$$\eta = A \cdot e^{\frac{B}{\vartheta + C}} \quad (1)$$

Aus der dynamischen Viskosität η wurde mittels des Ausdehnungskoeffizienten β und der temperaturabhängigen Dichte ρ_{ϑ} [2] die

- kinematische Viskosität ν sowie
- Äquiviskositätstemperaturen bei beliebig festgelegten kinematischen Viskositäten (im für die Untersuchung zutreffenden Fall für $n = 550 \text{ mm}^2/\text{s}$) und kinematische Viskositäten bei beliebigen Temperaturen z.B. den Verdichtungstemperaturen berechnet.

Die Spreizung der Äquiviskositätstemperaturen (Tab. 2) beträgt ca. 40 K (135 °C für B 80 und 174,5 °C für PmB 25), d.h. ungefähr die Hälfte der gewählten maximalen Verdichtungstemperaturspanne.

Die kinematische Viskosität des weichsten und des härtesten untersuch-

ten Bindemittels unterscheidet sich bei einer Temperatur von 100 °C etwa um eine Zehnerpotenz, ebenso übertrifft die Viskosität bei 100 °C die von 135 °C bei den acht untersuchten Bindemitteln im Mittel um eine Zehnerpotenz, während die Viskosität bei 135 °C im Vergleich zu 170 °C im Mittel nur das Fünffache ausmacht, wie Abb. 1 zeigt.

Mineralstoffe

Die Auswahl der Mineralstoffe war eng begrenzt, um ggf. einen zusätzlichen Einfluß durch unterschiedliche Mineralstoffe weitgehend auszuschalten.

Für die leicht verdichtbare Asphalttragschicht ATS 0/22 B wurde bevorzugt Rundkorn verwendet, aus Kiesand (Röderau) fraktionierte Kornklassen (gewaschen und getrocknet) 2/5; 5/8; 8/11; 11/16; 16/22. Die Sandfraktion bestand überwiegend aus vom Überkorn befreiten Natursand (Heller). Der ebenfalls vom Überkorn befreite Grauwacke-Edelbrechsand stammt aus Großkoschen. Als Füllstoff wurde für alle im Rahmen der Untersuchung betrachteten Rezepturen Kalksteinmehl Caaschwitz verwendet. Die Korngrößenverteilung des Mineralgemisches ist aus Abb. 2 ersichtlich, ebenso die bei 15-M.-%igem und 30-M.-%igem Asphaltgranulatzusatz.

Das schwer verdichtbare Mineralgemisch des Asphaltbinders 0/16 S besteht außer dem o.a. Füllstoff nur aus den ausschließlich gebrochenen analog aufbereiteten Kornklassen Edelbrechsand und Edelsplitten (Grauwacke Großkoschen) und ist aus Abb. 3 ersichtlich.

Ebenso ist der Splittmastixasphalt SMA 0/11 S, ergänzt um Technocel 1004 als stabilisierender Zusatz, aus den gebrochenen aufbereiteten Kornklassen (Grauwacke Großkoschen) und Füllstoff (Caaschwitz) zusammengesetzt. Die Korngrößenverteilung ist in Abb. 4 dargestellt.

Asphaltgranulat

Das von seiner Herkunft nicht zurückzufolgende Asphaltgranulat von einer Mischanlage der DEUTAG wurde bezüglich seiner stofflichen Zusammensetzung untersucht und bestand zu 94 M.-% aus Asphalt, zu 5,8 M.-% aus Naturstein und 0,2 M.-% Beton, Glas, Keramik und Sonstigem. Des weiteren wurde die Rohdichte $\rho_{R,bit}$ mit 2,565 g/cm³, die Korngrößenverteilung und der Gesamt-

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Istwerte							
				1	2	3	4	5	6	7	8
	Bindemittel- Nr.										
1	Nadelpenetration (100g, 5s, 25 °C) Nadelpenetration (100g, 5s, 40°C)	DIN 52010	0,1 mm	93 394	53 231	43 172	51 169	43 185	34 130	37 100	25 100
2	Erweichungspunkt RuK	DIN 52011	°C	H: 47,0 A: 45,0	H: 52,0 A: 50,0	H: 57,0 A: 55,0	H: 70,0 A: 68,0	H: 65,0 A: 63,5	H: 60,5 A: 59,0	H: 70,5 A: 69,0	H: 61,0 A: 58,5
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	-14	-10	-8	-20	-10	-10	-5	-8
4	Asche	DIN 52005	M.-%	0,13	0,14	0,08	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	0,42
5	Gehalt an Trichlorethen-Unlöslichem Siebrückstand	DIN 52014	M.-% M.-%	0,08 0	0 0	0 0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	0,04 0
6	Gehalt an Cyclohexan-Unlöslichem Siebrückstand	DIN 52014	M.-% M.-%	0,06 0,01	0 0	0 0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	0,03 0,005
7	Duktilität bei 7 °C 13 °C 25 °C	DIN 52013	cm	>100	>100	>100	75	>100	>100	50	>100
8	Paraffin Erstarungspunkt am rotier. Thermometer	DIN 52015 ISO 2207	M.-% °C	0,6 61	0,3 *	1,6 62	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	1,5 59,5
9	Dichte bei 25 °C 40 °C 60 °C	DIN 52004	g/cm³	1,017 1,006 -	1,025 1,013 -	1,031 1,019 -	1,024 - 0,995	1,020 - 0,995	1,034 - 1,009	1,024 - 0,994	1,031 1,020 -
10	Flammpkt. im offenen Tiegel nach Cleveland Brennpunkt	ISO 2592	°C °C	entfällt	entfällt	entfällt	342 386	358 384	308 356	316 360	entfällt
11	Elastische Rückstellung	DIN 52021 T. 1 (Entwurf)	%	entfällt	entfällt	entfällt	78	87	76	82	entfällt
12	Homogenität nach Heißlagerung Differenz der EP RuK	TL-PmB 89 T.1	K	entfällt	entfällt	entfällt	H: 0,5 A: 0,0	H: 1,0 A: 1,0	H: 4,0 A: 4,5	H: 10,5 A: 13,0	entfällt
13	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	+0,01	+0,02	+0,01	+0,002	+0,02	+0,03	+0,01	-0,21
14	Änderung/Zunahme d. EP RuK durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	Anstieg K Abnahme K	H: 4,5 A: 4,5	H: 4,0 A: 4,5	H: 4,5 A: 5,0	H: 1,0 A: 1,5	H: 3,0 A: 3,5	H: 4,0 A: 4,0	H: 0,5 A: 1,0	H: 2,0 A: 2,5
15	Änderung/Verminderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	Abnahme %	27,2	27,6	26,5	30,2	18,9	17,9	25,9	8,5
16	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 7 °C bei 13 °C bei 25 °C	DIN 52016 DIN 52013	cm	19,0	24	72	36	>100	>100	41	>100
17	Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung	DIN 52016 T. 1 (Entwurf) DIN 52021	%	entfällt	entfällt	entfällt	76	70	69	76	entfällt

Tabelle 1: Kennwerte der verwendeten Bitumen

* wegen Materialmangel Bestimmung nicht möglich - H.: Handgerät - A.: Automat

bindemittelgehalt mit 4,7 M.-% ($B_{\text{lös}} = 4,5 \text{ M.-%}$, $B_{\text{unl}} = 0,2 \text{ M.-%}$) und die Korngrößenverteilung bestimmt. Das zurückgewonnene Bindemittel (als RC-Bitumen bezeichnete Bindemittel Nr. 8) wurde nach dem gleichen Schlüssel untersucht (vgl. Tab. 1) wie die drei verwendeten Straßenbaubitumen. Es kann in etwa als B 25 eingestuft werden.

Die zwei, bei 15-M.-%igem und 30-M.-%igem Zusatz von Asphaltgranulat zu der mit B 80 hergestellten Asphalttragschicht, zurückgewonnenen resultierenden Bitumen sind durch Erweichungspunkte RuK und Nadelpenetrationen charakterisiert, die signifikante Abweichungen von den auf Grund der Mischungsregel errechneten Werten mit der Tendenz zur härteren Konsistenz zeigten. Dieses Ergebnis ist recht erstaunlich. Im Rahmen dieser Publikation kann aber nicht näher darauf ein-

gegangen werden. Diese Differenzen werden beeinflusst vom Gesamtbindemittelgehalt (Verhältnis frisches Bitumen/RC -Bitumen), der Verdichtungs-temperatur und der Lagerdauer des Asphaltes bis zu seiner Rückgewinnung.

Untersuchungsergebnisse zum Asphalt

Verdichtbarkeit, Raumdichten, (Rohdichten) und Hohlraumgehalt

Die Verdichtbarkeit D [1,3,4] der drei Asphaltmischgüter wurde im Rahmen der Eignungsprüfungen festgestellt und ergab für die Asphalttragschicht ATS 0/22 B mit B 80 einen Wert von 22,7 Nm, für den Asphaltbinder 0/16 S mit B 65 einen Wert von 39,6 Nm und für den Splittmastixasphalt SMA 0/11 S mit B

65 einen Wert von 36,0 Nm, so daß die Voraussetzung, ein leicht und zwei schwer verdichtbare Mischgüter zu untersuchen, erfüllt war.

Die Raumdichten der Marshall-Probekörper MPK $p'_{A,T}$ der drei untersuchten Mischgutarten wurden nach DIN 1996 T. 7 (Tauchwägeverfahren, Verfahren 1996 - 07 B2-P) ermittelt.

Da auch in zwei Fällen von insgesamt 216 untersuchten Varianten, welche sich 1. durch die Mischgutart, 2. durch die Bindemittelart bzw. -sorte, 3. durch die angewandte Verdichtungstemperatur und 4. durch ihren Bindemittelgehalt unterscheiden, Hohlraumgehalte von > 12,0 Vol.-% (vgl. Abb.5) auftraten, wurde die Bestimmung der Raumdichte auch nach dem Ausmaßverfahren (Verfahren 1996 - 07 F1-P) mit $p'_{A,A}$ bezeichnet, angewandt. Die Raumdichte, d.h. das Volumen für die Bestimmung

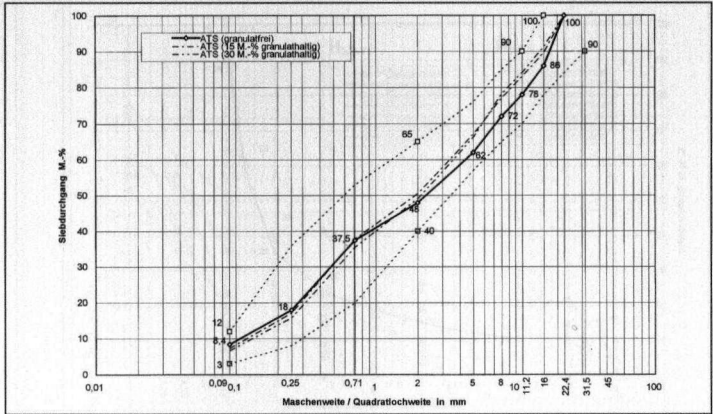
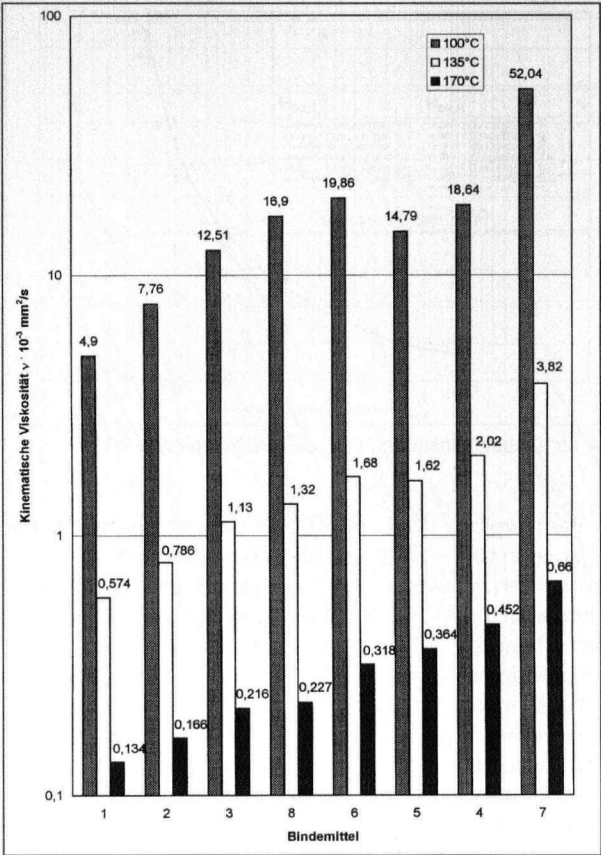


Abb. 2: Kornzusammensetzung der Asphalttragschicht 0/22 B (granulatifrei und granulathaltig)

Abb. 1: Kinematische Viskosität von v Straßenbaubitumen (1-3) aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4-7) bei unterschiedlichen Verdichtungs-temperaturen

und vergleichsweise

$$\rho'_{A,A} = 4 \frac{m_{tr}}{d_m^2 \cdot \pi \cdot h_m} = \frac{m_{tr}}{V} \tag{3}$$

Hierin bedeuten m_{tr} die Trockenmasse des Marshall-Probekörpers, m_s die Masse des wassergelagerten Probekörpers an der Luft, m_4 die Masse des Probekörpers unter Wasser, d_m der mittlere Durchmesser (3 Einzelwerte) des Probekörpers, h_m die mittlere Höhe (4 Einzelwerte) des Probekörpers und V das Volumen oder auch „Hüllvolumen“ des Probekörpers, durch Ausmessen bestimmt.

Die durch Tauchwägung bestimmten Raumdichten unterscheiden sich von denen, welche auf Grund der geometrischen Abmessungen (in Anlehnung an DIN EN 12697-29, 3/97 Entwurf, deutsch) [6] bestimmt wurden. Letztere liegen aufgrund des größeren Volumens generell niedriger.

Die geringsten verfahrensbedingten Raumdichtedifferenzen $\Delta\rho'_{A,A}$ ($\rho'_{A,T} - \rho'_{A,A}$) traten bei den 63 Varianten der leicht

der Raumdichte der Marshall-Probekörper, wurde beim Tauchwägeverfahren durch Wägung nach 10-s-Abtropfen ermittelt.

In der Europäischen Normung (DIN EN 12697-6, Entwurf 12/97, englisch) [5] wird diese Methode durch definiertes Abtupfen des entweder nur eingetauchten oder des wassergelagerten Probekörpers ersetzt. Es sind außer dem auf Probekörper-Abmessungen/-Dimensionen beruhenden Verfahren oder Ausmeßverfahren drei Varianten der hydrostatischen Raumdichtebestimmung fixiert, und die Dichte der Prüfliquidität, von Wasser bei Prüf-temperatur, wird berücksichtigt.

Die drei hydrostatischen Verfahren unterscheiden sich durch die spezielle Art der Volumenbestimmung. In einem Falle erfolgt die Unterwasser- oder Tauchwägung sofort (Raumdichte trocken), zum anderen wie bisher nach einer festgelegten Wasserlagerungsdauer (Raumdichte SSD, d.h. mit wasser-gesättigter Oberfläche) und des weite-ren nach Umhüllung des Marshall-Pro-bekörpers mit Paraffin. Letztere Metho-de ist sehr aufwendig und ist insbeson-dere bei hohlraumreichen Asphalten auszuführen. Welche Methode jeweils

anzuwenden ist, hängt von der Be-schaffenheit des zu untersuchenden Asphaltes und den jeweiligen Produkt-normen ab.

Im Rahmen des Forschungsvorha-bens erfolgte die Berechnung der Raumdichten nach folgenden z.Z. noch gültigen Gleichungen (DIN 1996 T. 7)

$$\rho'_{A,T} = \frac{m_{tr}}{m_s - m_4} \text{ in g/cm}^3 \tag{2}$$

Bindemittel-Nr.	Bindemittelart und -sorte	Ausdehnungskoeffizient β	Penetrationsindex PI_{EPH}	Penetrationsindex PI_{pen}	Äquivalenzviskositätstemperatur ΔT (v = 550 mm²/s)
		$10^4 \cdot K^{-1}$			°C
1	B 80	6,96	- 0,40	- 0,29	135,9
2	B 65	7,90	- 0,58	- 0,42	142,0
3	B 45	8,51	+ 0,06	- 0,02	148,8
4	PmB 45A	8,48	+ 2,88	+ 0,97	164,6
5	PmB 45A	7,33	+ 1,60	- 0,36	159,1
6	PmB 45A	7,08	+ 0,23	+ 0,20	157,1
7	PmB 25	8,77	+ 2,16	+ 2,30	174,5
8	RC-Bit.	7,19	- 0,29	- 0,02	151,0

Tabelle 2: Über die Regelwerke hinausgehende Kennwerte von Bitumen

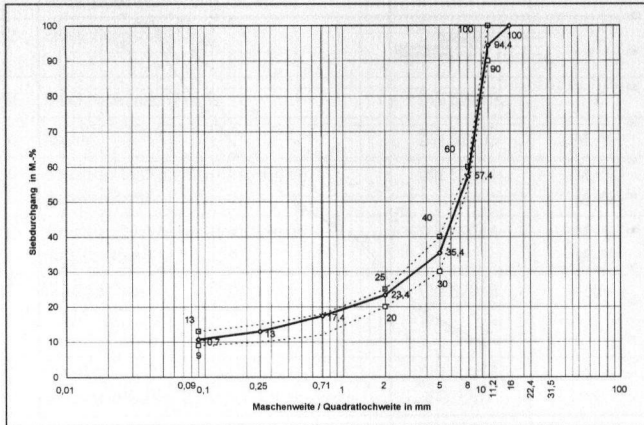


Abb. 3: Kornzusammensetzung des Asphaltbinders 0/16 S

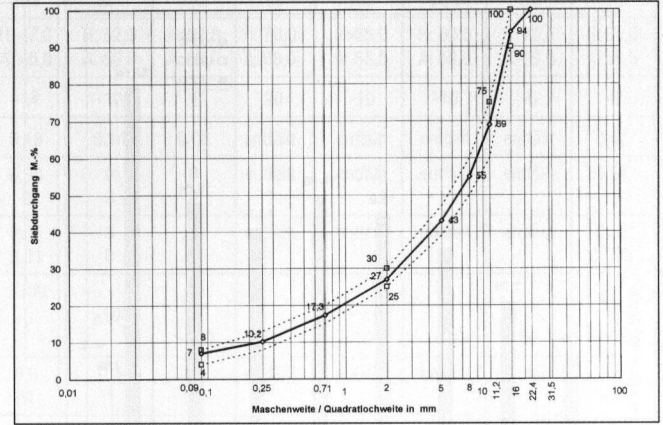


Abb. 4: Kornzusammensetzung des Splittmastixasphaltes 0/11 S

verdichtbaren Asphalttragschicht 0/22 B auf, die größten beim schwer verdichtbaren Splittmastixasphalt 0/11 S. Diese mischgutspezifischen Raumdichtedifferenzen, basierend auf den zwei unterschiedlichen Methoden der Volumenbestimmung des Probekörpers, werden auf die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit oder auch Textur der Marshall-Probekörper der drei Mischgutarten zurückgeführt.

Die durch das vorrangig angewendete Tauchwägeverfahren (07 B2-P) ermittelten Raumdichtedifferenzen $\Delta \rho'_{A,T}$ der 216 Meßreihen sind für die betrachteten 4 Einflußgrößen – Mischgutart, Bindemittelart bzw. -sorte, Verdichtungstemperatur und Bindemittelgehalt – relativ geringfügig. Die unter den 216 Meßreihen aufgetretenen maximalen Spannweiten von Raumdichten innerhalb einer Serie von 5 Marshall-Probekörpern können vergleichsweise bis zu einem Drittel der durch die o.a. Einflußfaktoren induzierten Dichteunterschiede für die drei betrachteten Mischgutarten ausmachen. So treten bei Variation der Bindemittelart, der Verdichtungstemperatur und des Bindemittelgehaltes maximale Differenzen der Asphalttragschicht 0/22 B (63 Varianten) von 2,198 {1.7.1.1} bis 2,343 g/cm³ {1.1.3.3} d.h. 0,145 g/cm³ auf, was bezüglich der angezeigten Meßreihen exakt den Erwartungen entspricht. Beim Asphaltbinder 0/16 S (81 Varianten) treten Raumdichteunterschiede von 2,279/2,289 {2.3.1.1/2.7.1.1} bis 2,382 g/cm³ {2.2.3.3} d.h. 0,103 g/cm³ auf. Beim Splittmastixasphalt 0/11 S (72 Varianten) ergeben sich Raumdichtedifferenzen von 2,263/2,266 {3.7.1.2/3.7.1.1} bis 2,374/2,360 g/cm³ {3.2.3.2/3.2.3.3} d.h. 0,111 g/cm³, wobei die Variante {3.2.3.3} nicht den er-

wartungsgemäß höchsten Wert ergibt. Nicht nur die zahlenmäßig geringen Unterschiede der Raumdichten mit ihren nur bedingt vergleichbaren Absolutwerten (beeinflusst durch unterschiedliche Mineralstoffdichten, unterschiedliche Bindemitteldichten) sondern auch die bessere Vorstellbarkeit und Vergleichbarkeit von Hohlräumen in einem bestimmten Volumen eines Marshall-Probekörpers waren Veranlassung, bei der Darstellung der Ergebnisse die Hohlraumgehalte H_{bit} zu bevorzugen. Anstatt der Raumdichte $\rho'_{A,T}$ wurde in Verbindung mit der jeweils korrespondierenden Rohdichte des Asphalt $\rho_{R,bit}$, die nach folgender Gleichung berechnet (DIN 1996 T.7. Verfahren 07 C1) wurde,

$$\rho_{R,bit} = \frac{100}{\frac{M}{\rho_{R,M}} + \frac{B}{\rho_B}} \quad (4)$$

der entsprechende Hohlraumgehalt (DIN 1996 T.7, Verfahren 07 D1) $H_{bit,T}$ ($H_{bit,A}$) nach folgender(n) Gleichung(en)

$$H_{bit,T} = \frac{\rho_{R,bit} - \rho'_{A,T}}{\rho_{R,bit}} \cdot 100 \quad (5)$$

$$\{H_{bit,A} = \frac{\rho_{R,bit} - \rho'_{A,A}}{\rho_{R,bit}} \cdot 100\} \quad (6)$$

in den Abb. 5 bis 7 (vgl. auch Tab.3) dargestellt.

Dabei bedeuten M Masseanteil der Mineralstoffe in M.-%, $\rho_{R,M}$ die Rohdichte des Mineralstoffgemisches in g/cm³, B Bindemittelgehalt in M.-% und ρ_B die Dichte des Bindemittels bei 25 °C in g/cm³.

Werden hingegen mischgutbezogen die maximalen Differenzen zwischen niedrigstem und höchstem Hohlraumgehalt $H_{bit,T}$ ($H_{bit,A}$) betrachtet, ergibt sich ein breiteres Spektrum als vergleichsweise bei der Darstellung der Raumdichten. So tritt bei der Asphalttrag-

schicht 0/22 B der mit der niedrigsten Raumdichte korrespondierende höchste Hohlraumgehalt von 12,8 Vol.-% (13,8 Vol.-%) und der mit der höchsten Raumdichte korrespondierende niedrigste Hohlraumgehalt von 5,6 Vol.-% (6,4 Vol.-%) und damit eine maximale Differenz von 7,2 Vol.-% (7,4 Vol.-%) auf.

Bis auf zwei Ausnahmen werden die Hohlraumgehaltsgrenzen nach ZTVT-StB von 4,0 Vol.-% bis 12,0 Vol.-% eingehalten (vgl. Abb. 5). Bei der Asphaltbinderschicht 0/16 S liegt der höchste Hohlraumgehalt bei 10,6 Vol.-% (17,1 Vol.-%) und der niedrigste bei 5,1 Vol.-% (8,7 Vol.-%). Die maximale Hohlraumdifferenz liegt bei 5,5 Vol.-%. Die Hohlraumgehaltsspanne nach ZTV Asphalt liegt zwischen 4,0 Vol.-% und 7,0 Vol.-%. Eine Überschreitung der Grenzwerte ist offensichtlich (vgl. Abb. 6). Für Splittmastixasphalt ergibt sich der höchste Hohlraumgehalt zu 7,9 Vol.-% (14,4 Vol.-%) und der niedrigste zu 2,6 Vol.-% (7,3 Vol.-%). Die maximale Hohlraumgehaltsspanne beträgt folglich 5,3 Vol.-%. Die zulässigen Grenzen für den Hohlraumgehalt nach ZTV Asphalt liegen zwischen 3,0 Vol.-% und 4,0 Vol.-%. Die meisten Meßreihen überschreiten die Anforderungen (Abb. 7). Aus den hier angeführten je zwei Werten zum Hohlraumgehalt ist auch ersichtlich, daß ein Quotient aus $H_{bit,A}$ und $H_{bit,T}$ von ca. 1,1 bei der ATS 0/22 B bis zu ca. 2,7 bei SMA 0/11 S variieren kann (vgl. auch Tab. 3).

Marshall-Stabilität und- Fließwert nach DIN 1994 T.4 der Asphalttragschicht ATS 0/22 B

Für Asphalttragschichten sind im Rahmen der Eignungs- und Kontrollprüfung außer den Anforderungen an

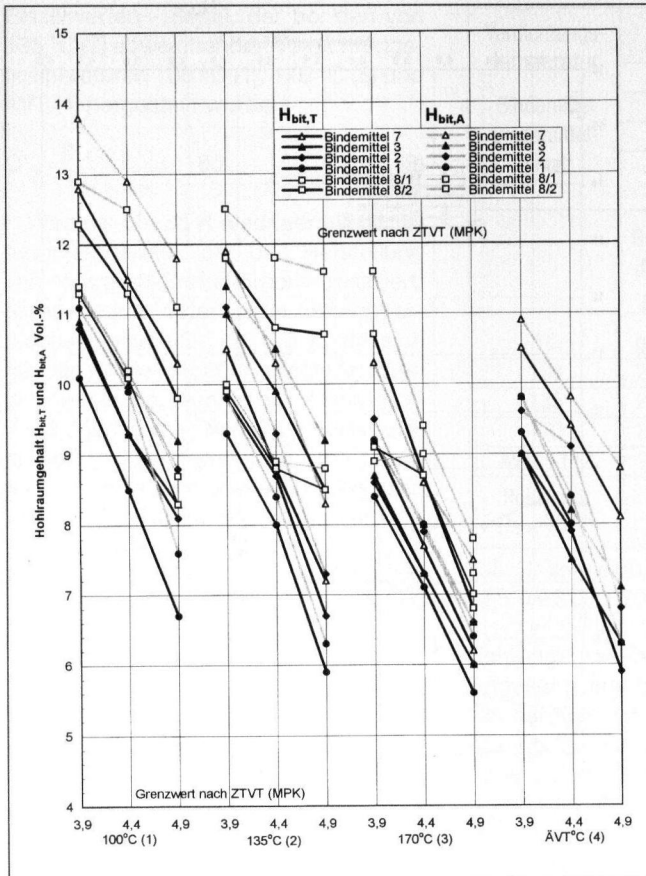


Abb. 5: Hohlraumgehalt von einer Asphalttragschicht 0/22 B in Abhängigkeit von Bindemittel, Bindemittelgehalt und Verdichtungstemperatur

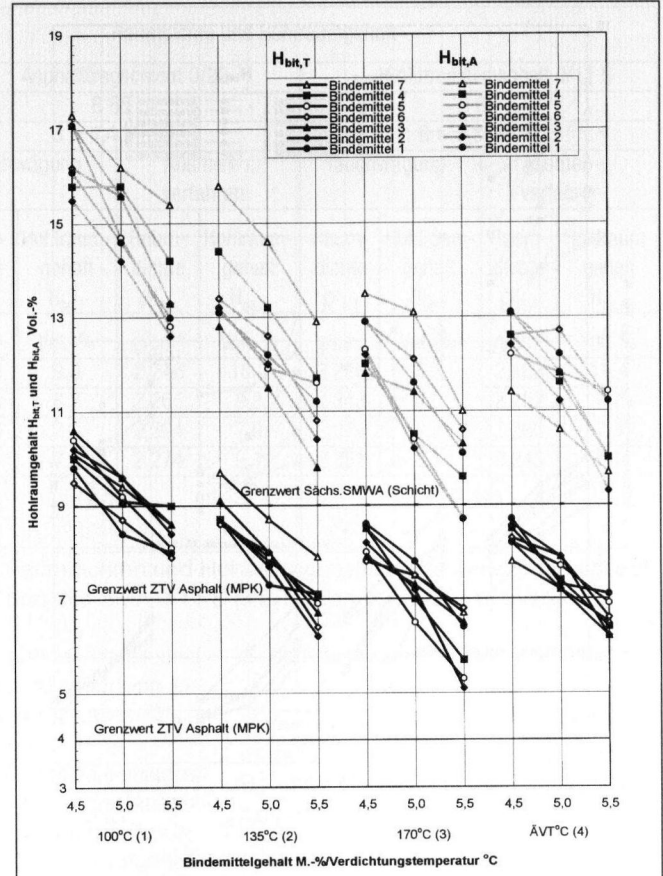


Abb. 6: Hohlraumgehalt von Asphaltbindert 0/16 S in Abhängigkeit von Bindemittel, Bindemittelgehalt und Verdichtungstemperatur

Zusammensetzung, Hohlraum auch die Bestimmung der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes mit Einhaltung von Grenzwerten festgelegt. Gemäß dem nach Abschluß des experimentellen Teils des Forschungsvorhabens erschienenen Merkblatt für Eignungsprüfungen von 1998 sind diese Kennwerte auch für Asphaltbeton, Asphaltbinder (Gruppe A), für Splittmastixasphalt (Gruppe B) und Offenporige Asphalte (Gruppe D) zur vergleichenden Beurteilung anzugeben.

Für die in diesem Rahmen untersuchte Asphalttragschicht 0/22 B gilt nach ZTVT-StB-95, Fassung 1998 eine Mindest-Marshall-Stabilität von 4,0 kN und die Einhaltung eines Marshall-Fließwert-Bereiches von 1,5 bis 4,0 mm. Wie diese Forderungen bei den verschiedenen Varianten (6 Bindemittelsorten, 3 bzw. 4 unterschiedliche Verdichtungstemperaturen, 3 Bindemittelgehalte) eingehalten wurden, ist in Abb. 8 und Tab. 4 dargestellt. Alle Werte sind wiederum Mittelwerte aus je 5 Einzelwerten.

Wenn die relativ geringen Veränderungen der Marshall-Stabilität in Ab-

hängigkeit vom Bindemittelgehalt im untersuchten Bereich nicht berücksichtigt und die Werte gemittelt werden, kann eine deutliche Tendenz der Erhöhung der Marshall-Stabilität mit steigender Verdichtungstemperatur beob-

achtet werden. Besonders deutlich tritt dieser Effekt bei Verwendung von Bitumen Nr. 7 (PmB 25) auf.

Für die mit PmB 25 bei einer Verdichtungstemperatur von 170 °C und der Äquiviskositätstemperatur von 174,5 °C

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt							
	Asphalttragschicht 0/22				Splittmastixasphalt 0/11 S			
	B 65				B 65			
	B = 4,4 M.-%				B = 7,3 M.-%			
	Tauchwägung		Ausmeß- verfahren		Tauchwägung		Ausmeß- verfahren	
Bindemittel Bindemittel- gehalt	Raum- dichte $\rho'_{A,T}$	Hohlraum- gehalt $H_{bit,T}$	Raum- dichte $\rho'_{A,A}$	Hohlraum- gehalt $H_{bit,A}$	Raum- dichte $\rho'_{A,T}$	Hohlraum- gehalt $H_{bit,T}$	Raum- dichte $\rho'_{A,A}$	Hohlraum- gehalt $H_{bit,A}$
°C	g/cm ³	Vol.-%	g/cm ³	Vol.-%	g/cm ³	Vol.-%	g/cm ³	Vol.-%
100	2,269	9,3	2,246	10,2	2,288	6,3	2,163	11,4
135	2,284	8,7	2,265	9,3	2,343	4,0	2,252	7,7
170	2,320	7,3	2,304	7,9	2,374	2,7	2,263	7,3
ÄVT = 142	2,304	7,9	2,274	9,1	2,351	3,7	2,243	8,1
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm ³	2,502				2,441			

Tab. 3: Vergleich der Raumdichten und Hohlraumgehalte (verfahrensabhängig) der ATS 0/22 B (1.2.Ti.2) und des SMA 0/11 S (3.2.Ti.2) an ausgewählten Varianten

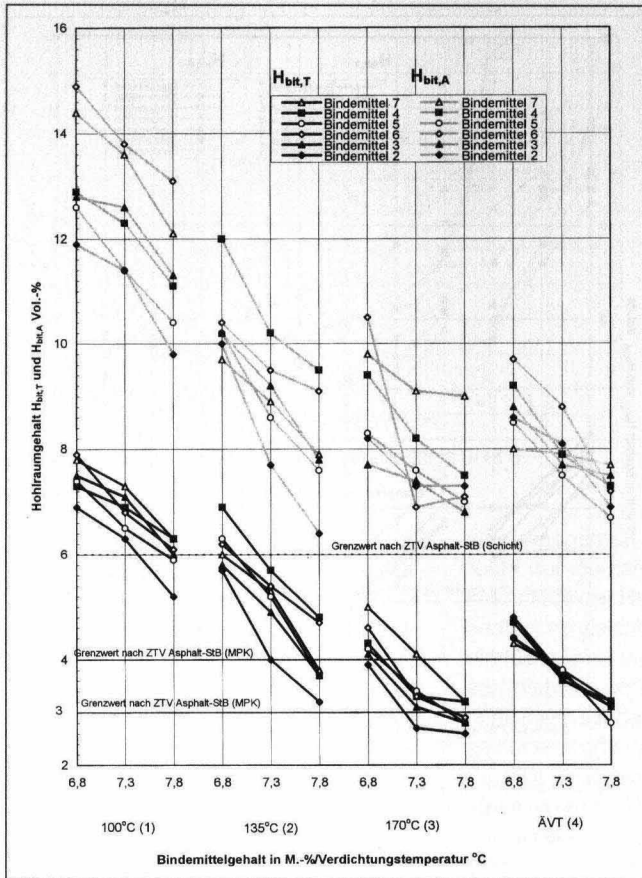


Abb. 7: Hohlraumgehalt von Splittmastixasphalt 0/11 S in Abhängigkeit von Bindemittel, Bindemittelgehalt und Verdichtungs-temperatur

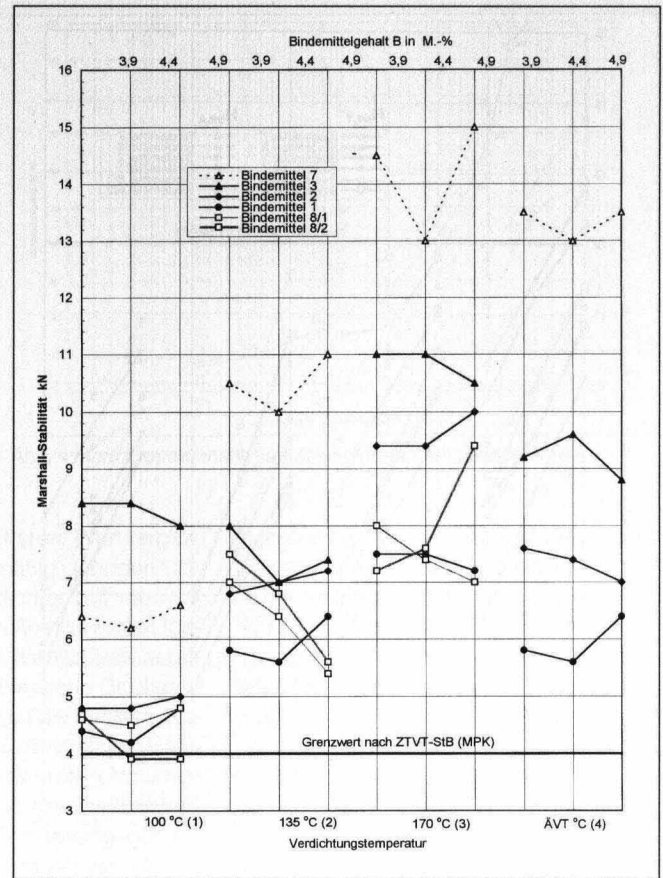


Abb. 8: Marshall-Stabilität einer Asphalttragschicht 0/22 B in Abhängigkeit von Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungs-temperatur

hergestellten Marshall-Probekörper der ATS 0/22 B treten besonders hohe Werte der Marshall-Stabilität auf. Die mit Straßenbaubitumen hergestellten Asphalte ergeben mit zunehmender Härte, ausgehend vom B 80 über B 65 zum B 45 höhere Stabilitäten, wobei mit zunehmendem Bindemittelgehalt eine Angleichung erfolgt.

Die mit Asphaltgranulat modifizierten Asphalte zeigen mit zunehmendem Granulatgehalt und zunehmender Verdichtungs-temperatur eine Tendenz zur Zunahme der Marshall-Stabilität.

Die Marshall-Fließwerte liegen unabhängig von der Verdichtungs-temperatur in engen Spannen und zeigen zunehmende Tendenz in Verbindung mit höheren Stabilitäten. Die Gesamtspannweite für die 63 betrachteten Varianten liegt bei 1,3 mm bis 2,3 mm.

Diskussion der Ergebnisse

Während, wie unter vorigem Abschnitt beschrieben, die Hohlraumgehalte H_{bit} in der Regel deutlich von der Viskosität des Bindemittels (entweder verursacht durch niedrigere Verdich-

tungstemperaturen oder durch härtere Sorten bzw. Arten) abhängen und unter den genannten Bedingungen zunehmen, erscheint dies bei der Raumdichte weniger deutlich bzw. ausgeprägt.

Die Auswirkung dieser Problematik auf den Verdichtungsgrad, der z.Z. noch Abzugskriterium darstellt, ließ sich mangels notwendiger Bohrkerne nicht direkt nachweisen.

Die Berechnung des Verdichtungsgrades k (DIN 1996 - 07 E1) basiert auf folgender Gleichung

$$k = \frac{\rho_{A,T}}{\rho'_{A,T}} \cdot 100 \quad (7)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

$\rho_{A,T}$ = Raumdichte am Ausbaustück bzw. am Bohrkern nach DIN 1996 - 07 B2 - A

$\rho'_{A,T}$ = Raumdichte am Marshall-Probekörper DIN 1996 - 07 B2 - P aus zum Ausbaustück zugehörigem Mischgut hergestellt, im Ausnahmefall aus wiedererwärmtem Asphalt des Ausbaustückes.

Anstatt dessen wurde zunächst von der Voraussetzung ausgegangen, daß die jeweils bei einer Verdichtungs-temperatur von 135 °C hergestellten Marshall-Probekörper quasi Bohrkernen ent-

sprechen, deren Verdichtungsgrad $k = 100 \%$ entspricht.

Geht man davon aus, daß diese Bohrkerne oder Ausbaustücke die Raumdichte des bei 135 °C hergestellten Marshall-Probekörpers erreichen, dann wirken sich aus unterschiedlichen Gründen (z.B. Fehler im Labor) erzielte niedrigere Raumdichten von im Labor aus zugehörigem Mischgut hergestellten Probekörpern „positiv“ (d.h. $k > 100 \%$) auf den Verdichtungsgrad aus und umgekehrt. Eine höhere Raumdichte des Marshall-Probekörpers hingegen könnte sogar einen Verdichtungsgrad von $< 97 \%$ bewirken und so zu Abzügen führen.

Zwecks Auswertung dieser Betrachtung wird ein dem Verdichtungsgrad k äquivalenter Quotient $Q'_{\emptyset}$, ein fiktiver Verdichtungsgrad, eingeführt, in dessen Zähler die Raumdichte des als Bohrkern deklarierten Marshall-Probekörpers, hergestellt bei einer Verdichtungs-temperatur von 135 °C ($\rho'_{A,T,135^\circ C} = \rho_{A,T}$), steht und im Nenner die Raumdichte des bezüglich Mischgutart, Bindemittelsorte und -gehalt entsprechenden Marshall-Probekörpers (Mittel aus je 5

Einzelwerten - Serie), der bei den von 135 °C (2) abweichenden Verdichtungs-temperaturen 100 °C (1), 170 °C (3) und ÄVT (4) hergestellt wurde.

$$Q'_{\vartheta} = \frac{\rho'_{A,T,135^{\circ}\text{C}}}{\rho_{A,T,\vartheta}} \cdot 100 \quad (8)$$

Wird die um 35 K niedrigere Verdichtungstemperatur bei der Herstellung von Marshall-Probekörpern realisiert, ergeben sich in der Regel höhere Verdichtungsgrade Q'_{ϑ} als 100 %, die sich günstig für ein Einbauunternehmen auswirken würden. Werden die um bis zu 35 K (39,5 K) höheren Verdichtungstemperaturen bei der Herstellung von Marshall-Probekörpern realisiert, ergeben sich in der Regel niedrigere Verdichtungsgrade Q'_{ϑ} als 100 % (vgl. Tab. 5). In Abb. 9 sind die Häufigkeitsverteilungen der Abweichung ($Q'_{\vartheta} - 100$) für die drei Mischgutarten dargestellt.

Die größeren Häufigkeiten im negativen Bereich sind auf die ca. doppelte Anzahl von Varianten zurückzuführen, welche bei höheren Verdichtungstemperaturen als bei der Bezugstemperatur von 135 °C, d.h. bei 170 °C und den Äquiviskositätstemperaturen (vgl. Tab. 2), die mit Ausnahme der des B 80 höher als 135 °C liegen, auftreten.

Interessant ist des weiteren, daß nur in einem Falle bei der Asphalttragschicht 0/22 B ein abzugsberechtigter Wert für den fiktiven Verdichtungsgrad auftreten würde mit konkret 95,9 %, ein Minus von 4,1 %. Ansonsten würden unter den getroffenen Annahmen alle anderen Rezepturvarianten (148) die Anforderungen nach ZTV Asphalt bzw. ZTVT erfüllen. Des weiteren galt es zu prüfen, inwieweit sich der Einfluß der Viskosität der unterschiedlichen Bindemittel auf einen fiktiven Verdichtungsgrad Q'_{ϑ} auswirkt. Eine Bindemittelvermischung oder auch -verwechslung würde durch diesen Quotienten (isotherm, bindemittelinduziert) simuliert.

Als Bezugstemperatur wurde 135 °C gewählt. Als Bezugsbitumen wurde, weil bei allen drei Mischgütern eingesetzt, B 65 (2) ausgewählt. So wird der Zähler von Gl. 8 zur Raumdichte des als solcher deklarierten Bohrkernes ($\rho'_{A,T,135^{\circ}\text{C}, B 65} = \rho_{A,T}$) festgelegt.

Die Berechnung erfolgte nach Gleichung

$$Q'_{\vartheta} = \frac{\rho'_{A,T,135^{\circ}\text{C}, B 65}}{\rho_{A,T,135^{\circ}\text{C}, B_1}} \cdot 100 \quad (9)$$

Die Auswahl eines weichen Bitumens als das gewählte Referenzbitumen B 65 würde zu einem fiktiven Ver-

Verdichtungs- temperatur Bindemittel Bindemittel- gehalt	Raumdichte und Hohlraumgehalt							
	Asphalttragschicht 0/22				Splittmastixasphalt 0/11 S			
	B 65				B 65			
	B = 4,4 M.-%				B = 7,3 M.-%			
	Tauchwägung		Ausmeß- verfahren		Tauchwägung		Ausmeß- verfahren	
	Raum- dichte $\rho'_{A,T}$	Hohlraum- gehalt $H_{\text{bit},T}$	Raum- dichte ρ'_{AA}	Hohlraum- gehalt $H_{\text{bit},A}$	Raum- dichte $\rho'_{A,T}$	Hohlraum- gehalt $H_{\text{bit},T}$	Raum- dichte ρ'_{AA}	Hohlraum- gehalt $H_{\text{bit},A}$
°C	g/cm³	Vol.-%	g/cm³	Vol.-%	g/cm³	Vol.-%	g/cm³	Vol.-%
100	2,269	9,3	2,246	10,2	2,288	6,3	2,163	11,4
135	2,284	8,7	2,265	9,3	2,343	4,0	2,252	7,7
170	2,320	7,3	2,304	7,9	2,374	2,7	2,263	7,3
ÄVT = 142	2,304	7,9	2,274	9,1	2,351	3,7	2,243	8,1
Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ g/cm³	2,502				2,441			

Tab. 3: Vergleich der Raumdichten und Hohlraumgehalte (verfahrensabhängig) der ATS 0/22 B (1.2.Ti.2) und des SMA 0/11 S (3.2.Ti.2) an ausgewählten Varianten

dichtungsgrad $Q'_{\vartheta} < 100$ % führen und umgekehrt ergäbe die Verwendung eines härteren Bitumens im Labor $Q'_{\vartheta} > 100$ %.

Die untersuchten Varianten betragen 48, und ergeben sich aus n der Anzahl der je Mischgutart eingesetzten Bindemittel und den je drei Bindemittelgehalten aus der Beziehung $(n-1) \cdot 3$, d.h. 15 für die ATS 0/22 B, 18 für den ABI 0/16 S und 15 für den SMA 0/11 S.

Die Abweichungen des Q'_{ϑ} - Wertes von 100 % liegen mit einer Ausnahme bei ATS 0/22 B mit 30 M.-% Asphaltgranulat von +3,7 % in einem engen Bereich von -0,7 % bis +1,9 %. Abzugsrelevante Werte treten nicht auf. Bei der Wahl eines härteren Bitumens als Referenzbitumen wäre eine ausgewogenere Verteilung der Differenzen ($Q'_{\vartheta} - 100$) zu erwarten.

Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens können folgende

Schlußfolgerungen gezogen werden.

Verdichtungstemperatur und Bindemittelart bzw. -sorte beeinflussen die Raumdichte und folglich den Hohlraumgehalt von Marshall-Probekörpern.

Um vor allem bei schwer verdichtbaren Mischgütern die Hohlraumgehaltstoleranzen bei Verwendung von härteren Bindemitteln (ggf. bereits bei B 45) und PmB einhalten zu können, ist es unumgänglich, die Verdichtungstemperatur bei der Herstellung der Marshall-Probekörper um mindestens 10 K auf 145 °C zu erhöhen (für PmB 25 wurden sogar 40 K ermittelt). Es ergibt sich auch die Frage, ob ein ausreichender Verdichtungsgrad von $k \geq 97$ % immer ein Ausdruck für eine gute Qualität der eingebauten Schicht sein muß.

Die Verdichtungstemperatur (Spanne von 70 K) besitzt einen größeren Einfluß

Bindemittel Nr.	Bindemittel	mittlere bindemittelgehaltsbereinigte Marshall-Stabilität in kN bei Verdichtungstemperatur				ÄVT °C
		100 °C(1)	135 °C(2)	179 °C(3)	ÄVT (4)	
1	B 80	4,5	5,9	7,4	-	135,9
8/1	B 80 + RC15	4,6	6,3	7,5	-	n.b.
8/2	B 80 + RC30	4,2	6,6	8,1	-	n.b.
2	B 65	4,9	7,0	9,6	7,3	142,0
3	B 45	8,2	7,5	10,8	9,2	148,8
7	PmB 25	6,4	10,5	14,2	13,3	174,5

Tab. 4: Einfluß von Bindemittelart bzw. -sorte und Verdichtungstemperatur auf die Marshall-Stabilität der Asphalttragschicht 0/22 B

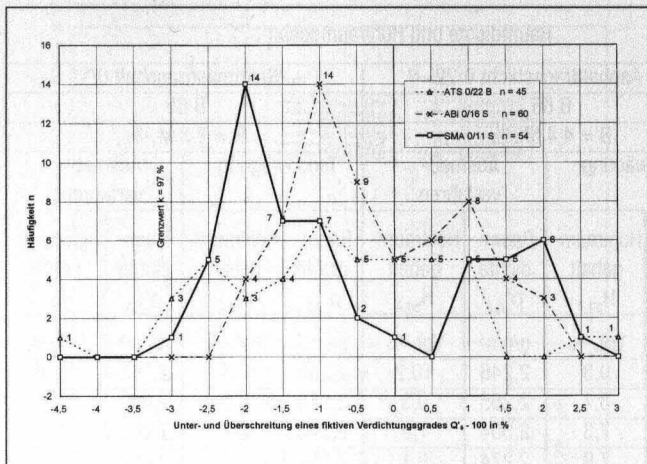


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung von fiktiven Verdichtungsgradabweichungen für 3 Mischgutarten bei Variationen des Bindemittels, der Mischguttemperatur und des Bindemittelgehaltes

auf Raumdichte und Hohlraumgehalt von Marshall-Prüfkörpern als die ausgewählten Bindemittel unterschiedlicher Härte.

Die maximalen Raumdichtedifferenzen je Mischgutart sind zahlenmäßig gering und bewegen sich im Bereich von einem bzw. einundeinhalb Zehnteln, so daß der Hohlraumgehalt geeigneter erscheint, die Unterschiede, hervorgerufen durch Bindemittelart bzw. -sorte, Verdichtungstemperatur sowie Bindemittelgehalt, sichtbar zu machen.

Die Art und Weise der Volumenbestimmung des Marshall-Probekörpers, gemäß DIN 1996 T. 7, ob hydrostatisch oder durch Ausmessen, beeinflußt die Raumdichte und den Hohlraumgehalt in Abhängigkeit von der Mischgutart im

unterschiedlichen Maße und nachhaltig.

Der Verdichtungsgrad, hier als fiktiver Verdichtungsgrad Q'_J bzw. Q'_B eingeführt, erscheint weniger geeignet, Unterschiede in der Beschaffenheit des Asphaltes zu erfassen. Wird der Asphalt volumetrisch als Dreiphasensystem fest-(Mineralstoffe) flüssig/fließfähig (Bindemittel)-gasförmig (Hohlraumgehalt) betrachtet, erscheinen die durch Variation der Verdichtungstemperatur oder durch Veränderung der Bindemittelart und -sorte induzierten Hohlraumgehalte, die für alle Mischgutarten in der ZTV Asphalt und der ZTVT als Grenzwerte etabliert sind, als sensiblere und effektivere Bezugsbasis. Bisher beziehen sich diese Grenzwerte bzw. Toleranzen für den Hohlraumgehalt auf

Marshall-Probekörper der Eignungs-, Kontroll- und Schiedsprüfungen und nur bei einigen Mischgutarten auf die eingebaute Schicht.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens könnten ein Anstoß zum Umdenken sein und somit ein Beitrag, anstatt des Verdichtungsgrades den Hohlraumgehalt als Abzugskriterium einzuführen.

Literatur

[1] Arand, W.; Renken, P.: Über die Beziehungen zwischen der Verdichtbarkeit und mechanischen Merkmale von Walzasphalten, Das stationäre Mischwerk, 5/1980

[2] Fritsche, H.: Beitrag zur Klärung der Beeinflussung der Gebrauchseigenschaften von Straßenbaubitumen durch Haftverbesserer, thermische Beanspruchung und „harte“ Paraffine, Dissertation Hochschule für Verkehrswesen Dresden 1980

[3] Arand, W.; Renken, P.: Grundlegende Untersuchungen über den Einfluß der Zusammensetzung auf die Verdichtbarkeit von Walzasphalten mittels systematischer Variation kompositioneller Merkmale zur Schaffung quantitativer Bewertungsmaßstäbe, Schlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 8167, Braunschweig 1992

[4] FGSV.: Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt mit Hilfe des Marshall-Verfahrens, Köln 1987

[5] DIN EN 12967-6, Determination of bulk density of bituminous specimens by hydrostatic method or by dimensions, englische Fassung 12/97, Entwurf

[6] DIN EN 12697-29, Bestimmung der Maße von Asphalt-Probekörpern, deutsche Fassung 3/97, Entwurf

Nr.	Verdichtungs- temperatur ϑ	Bindemittel- gehalt B	Raumdichte, $\rho'_{A,T}$	Q'_J	$Q'_J - 100$
	°C	M.-%	g/cm3	%	%
1	100	6,8	2,269	101,8	+ 1,8
		7,3	2,278	101,5	+ 1,5
		7,8	2,279	101,5	+ 1,5
2	135	6,8	2,309	100,0	$\pm 0,0$
		7,3	2,313	100,0	$\pm 0,0$
		7,8	2,313	100,0	$\pm 0,0$
4	157 (ÄVT)	6,8	2,346	98,4	- 1,6
		7,3	2,355	98,2	- 1,8
		7,8	2,352	98,3	- 1,7
3	170	6,8	2,350	98,3	- 1,7
		7,3	2,364	97,8	- 2,2
		7,8	2,356	98,2	- 1,8

Tab. 5: Einfluß der Verdichtungstemperatur bei der Marshall-Probekörper-Herstellung auf den fiktiven Verdichtungsgrad Q'_J am Beispiel von Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A (Bitumen Nr. 6)

Anschrift der Verfasserin:

Dr.-Ing. Dipl.-Chem. Holle Fritsche
Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden (FH)
Straßenbaulabor Rap-Str
Prüfstelle für bituminöse Baustoffe
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden