

## Die Referenzdichte in der Europäischen Normung und die Auswirkung auf Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad

FA 7.210

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

Bearbeiter: Renken, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Mai 2007

### 1 Aufgabenstellung

Das deutsche Regelwerk stützt sich bei der Prüfung von vertraglich festgelegten Mischguteigenschaften und Verdichtungsleistungen auf den Hohlraumgehalt und auf den Verdichtungsgrad. Beide Prüfmerkmale erfordern die Herstellung von Marshall-Probekörpern (MPK) nach DIN 1996-4 bei einer Temperatur von 135 °C mit fünfzig Verdichtungsschlägen je Probekörperseite. Die zur Berechnung beider Prüfgrößen erforderliche Raumdichte des MPK wird nach dem in der DIN 1996-7 beschriebenen Tauchwägetverfahren ermittelt. Für die Berechnung des Hohlraumgehalts wird zudem die Rohdichte des Asphaltmischguts benötigt, die ebenfalls nach DIN 1996-7 mittels Pyknometer unter Verwendung von Lösemittel bestimmt wird.

Die Raumdichte wird zum einen zur Bestimmung des im Rahmen der Eignungsprüfung zu optimierenden und im Rahmen der Kontrollprüfung zu überwachenden Hohlraumgehalts herangezogen. Zum anderen gilt sie als Bezugsraumdichte zur Bestimmung des Verdichtungsgrads einer fertigen Leistung. Dadurch stellt die Raumdichte des Marshall-Probekörpers im deutschen Asphaltprüfwesen eine zentrale Größe dar.

Alle Anforderungen an die Dichte unterschiedlicher Asphaltarten und -sorten stützen sich auf den über die Raum- und Rohdichte berechneten Hohlraumgehalt. Die in den ZTV Asphalt-StB und in den ZTV T-StB geforderten Mindestverdichtungsgrade und die Grenzwerte für den Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper – im Falle der Überprüfung von Deckschichten auch der aus der Asphaltbefestigung entnommenen Bohrkernproben – nehmen Bezug auf die Raumdichte des Marshall-Probekörpers.

Grundlegend neu für das deutsche Prüfsystem ist der Umstand, dass nach der Europäischen Norm gemäß DIN EN 12697-30 in Verbindung mit DIN EN 12697-35 bei der Verwendung von Straßenbaubitumen die Verdichtungstemperatur in Abhängigkeit von der Bindemittelviskosität unterschiedlich hoch festgelegt wird. Bei der Verwendung von polymermodifiziertem Bitumen ist die Verdichtungstemperatur vom Hersteller des polymermodifizierten Bitumenprodukts anzugeben.

Die Europäischen Verfahren zur Raum- und Rohdichtebestimmung sind in der Asphaltprüfnorm DIN EN 12697 mit den Teilen 5 und 6 festgelegt.

Die DIN EN 12697-6 enthält neue Verfahren und versuchstechnische Randbedingungen zur Bestimmung der Raumdichte, wovon für die Prüfung von Probekörpern aus Walzasphalt zwei relevante Prozeduren zu nennen sind:

- Verfahren B kommt dem Verfahren nach DIN 1996 sehr nahe, wobei die am Probekörper anhaftenden Wassertropfen durch Betupfen mit einem feuchten Ledertuch zu entfernen sind. Dieses Verfahren wird für Asphaltbe-

tone, Asphaltbinder, Tragdeckschichtasphalte und Splittmastixasphalte angewendet.

- Das Verfahren D beschreibt die Raumdichtebestimmung durch Ausmessen des Probekörpers. Dieses Verfahren gilt für Asphalttragschichten und für Offenporige Asphaltdeckschichten.

Die Bestimmung der Rohdichte beschreibt die Europäische Norm DIN EN 12697-5. Relevant für die deutschen Asphaltgemische ist das Verfahren A, welches die volumetrische Rohdichtebestimmung mittels Pyknometer unter Verwendung von Wasser als Prüfmittel beschreibt.

Die in den ZTV Asphalt-StB beziehungsweise in den ZTV T-StB festgelegten Anforderungswerte an Asphaltmischgut und an die fertige Asphaltdeckenschicht beziehen sich auf Erfahrungswerte, die auf Grundlage der in der DIN 1996 standardisierten Verfahren ermittelt wurden.

Durch die Einführung der Europäischen Normen ändern sich die anzuwendenden Probekörperherstellungs- und Prüfverfahren, sodass überprüft werden muss, ob die in den bisherigen Regelwerken festgehaltenen Anforderungswerte durch die Verwendung der neuen Verfahren unverändert bestehen bleiben dürfen oder ob sie bei der Umsetzung in die TL Asphalt-StB 07 und ZTV Asphalt-StB 07 den Europäischen Prüfverfahren angepasst werden müssen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Einfluss aller durch die Einführung der Europäischen Norm anstehenden Änderungen der Probekörperherstellung und der Bestimmungsverfahren für Raum- und Rohdichte und die in den Mischgutspezifikationen festgelegten Grenzwerte an Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad unter dem "Europäischen Hintergrund" zu überprüfen.

### 2 Untersuchungsmethodik

#### 2.1 Herstellen des Asphaltmischguts und Variationsumfang

Zur Überprüfung der Auswirkung der Europäischen Norm der Serie DIN EN 12697 auf den Hohlraumgehalt von Marshall-Probekörpern und auf die eingebaute Asphaltdeckenschicht sowie auf den Verdichtungsgrad wurden systematische Untersuchungen an den primären Merkmalsgrößen Raumdichte und Rohdichte durchgeführt. Nur bei diesen beiden Größen ist mit Auswirkungen der Europäischen Norm auf die Zielgrößen Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad zu rechnen, wobei die Herstellungstemperatur für die Marshall-Probekörper in das Ergebnis mit einfließt.

Das Berechnungsverfahren von Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wird durch die Einführung der Europäischen Norm nicht beeinflusst. Im Rechengang gibt es zwischen der DIN-Berechnung und der EN-Berechnung keine Unterschiede.

Gemäß Arbeitsplan wurden praktisch alle Asphaltarten und -sorten der ZTV Asphalt-StB und der ZTV T-StB mit den dort vorgesehenen Kombinationen der Bindemittelarten und -sorten in die Untersuchungen einbezogen.

Die Tabelle 1 enthält eine Übersicht der überprüften Asphaltmischgutvarianten.

Das Asphaltmischgut wurde entweder in einem Asphaltmischwerk großtechnisch oder im Laboratorium hergestellt. Dabei wurde bei der Herstellung im Laboratorium, unabhängig davon

ob das Mischgut nach DIN 1996-4 oder nach DIN EN weiterverarbeitet werden sollte, immer das gleiche Herstellungsverfahren angewendet.

## 2.2 Herstellen der Probekörper

Die Untersuchungssystematik wurde so aufgebaut, dass sowohl Marshall-Probekörper nach DIN und nach der EN-Prozedur als auch Bohrkernproben aus walzsektorverdichteten Asphalt-Probepplatten hergestellt wurden.

Die Marshall-Probekörper wurden nach DIN 1996-4 bei einer Verdichtungstemperatur von 135 °C beziehungsweise bei der Verwendung von polymermodifiziertem Bindemittel bei einer Temperatur von 145 °C hergestellt. Bei den Offenporigen Asphaltdeckschichtvarianten mit dem Bindemittel 40/100-65H wurden die Marshall-Probekörper bei einer Temperatur von ebenfalls 135 °C verdichtet.

Zum anderen wurden Marshall-Probekörper gemäß DIN EN 12697-30 hergestellt, wobei in Abhängigkeit von der Bindemittelart und -sorte die in Tabelle 2 genannten Verdichtungstemperaturen angewendet wurden.

**Tabelle 1: Mischgutsorten und Kennzeichnung der Asphaltvarianten**

Lfd Nr.	Asphaltart	Asphaltsorte	Bindemittel-sorte	DIN-Verdichtungstemperatur [°C]	EN-Verdichtungstemperatur [°C]	Ort der Herstellung
1	Asphaltbeton (AB)	0/5	70/100	135	145	Labor
2		0/8	70/100	135	145	Labor
2n		0/8	70/100	135	145	Labor
3		0/11	70/100	135	145	Labor
4		0/11S	50/70	135	150	Mischwerk
5		0/16S	50/70	135	150	Labor
6	Asphaltbinder (ABi)	0/11	50/70	135	150	Labor
7		0/11	70/100	135	145	Labor
8		0/16	50/70	135	150	Mischwerk
9		0/16	70/100	135	145	Labor
10		0/16S	30/45	135	175	Labor
11		0/22S	30/45	135	175	Labor
25		0/16S	PmB 45 A	145	150	Mischwerk
26		0/22S	PmB 45 A	145	150	Mischwerk
12	Splittmastixasphalt (SMA)	0/5	70/100	135	145	Labor
12n		0/5	70/100	135	145	Labor
13		0/8	70/100	135	145	Mischwerk
14		0/8S	50/70	135	150	Mischwerk
15		0/11S	50/70	135	150	Labor
27		0/8S	PmB 45 A	145	150	Mischwerk
28		0/11S	PmB 45 A	145	150	Mischwerk
16n	Tragdeckschichtasphalt (TDA)	0/16	70/100	135	145	Labor
17	Tragschichtasphalt (ATC)	0/16 C	50/70	135	150	Labor
18		0/22 C	30/45	135	175	Labor
19		0/22 C	50/70	135	150	Labor
20		0/22 C	70/100	135	145	Labor
21		0/32 CS	30/45	135	175	Labor
22		0/32 CS	50/70	135	150	Mischwerk
23		0/32 CS	70/100	135	145	Labor
24		0/32 CS (HOS)	50/70	135	150	Mischwerk
29	Offenporiger Asphalt (OPA)	0/8	40/100-65H	135	175	Mischwerk
30		0/8	40/100-65H	135	150	Mischwerk

Tabelle 2: Verdichtungstemperaturen

STRASSENBAUBITUMEN	POLYMERMODIFIZIERTES BINDEMITTEL
70/100 $T_V=145\text{ °C}$	PmB 45 A $T_V=150\text{ °C}$
50/70 $T_V=150\text{ °C}$	PmB 40/100-65H $T_V=150\text{ °C}$
30/45 $T_V=175\text{ °C}$	beziehungsweise $T_V=175\text{ °C}$

Die Bohrkernproben wurden aus im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellten Asphalt-Probeplatten entsprechender Dicke herausgebohrt.

Die Anfangsverdichtungstemperatur wurde für alle Asphaltvarianten praxisnah mit einer Temperatur von 150 °C festgelegt und die Anzahl der Walzübergänge wurde so gewählt, dass sich im Regelfall Verdichtungsgrade an den Bohrkernproben zwischen 97 % und 100 % einstellten. Um die Bohrkernbeschaffenheit der Praxis nachzuempfinden, wurde die Unterseite der Bohrkernproben "glatt" geschliffen.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Primäre Dichtemerkmale Raum- und Rohdichte

Neben dem Einfluss der Verdichtungstemperatur stellen die unterschiedlichen Verfahren zur Raum- und Rohdichtebestimmung Möglichkeiten für die Veränderung des Hohlraumgehalts und des Verdichtungsgrads dar.

Auf den Hohlraumgehalt des Marshall-Probekörpers wirken die Herstellungstemperatur des Marshall-Probekörpers, das Verfahren der Rohdichtebestimmung und das Verfahren der Raumdichtebestimmung ein.

Auf den Hohlraumgehalt der Bohrkernprobe wirken das Verfahren der Rohdichtebestimmung und das Verfahren der Raumdichtebestimmung ein.

Auf den Verdichtungsgrad der Bohrkernproben wirken die Herstellungstemperatur des Marshall-Probekörpers und das Verfahren der Raumdichtebestimmung ein.

Die Bilder 1, 2 und 3 enthalten die jeweiligen Differenzbeträge zwischen den nach DIN und nach EN bestimmten Raumdichten am Marshall-Probekörper, an der Bohrkernprobe und die entsprechenden Rohdichten der Asphaltgemische.

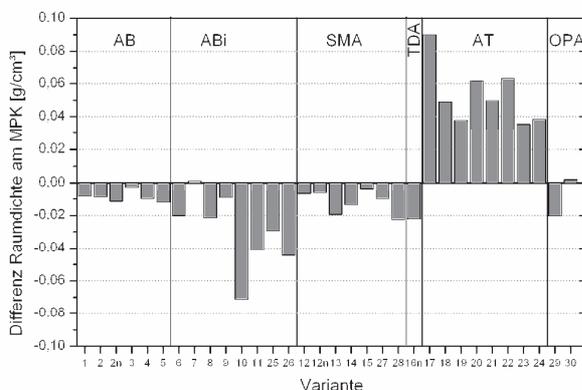


Bild 1: Differenzbeträge der Raumdichten MPK (DIN-Wert minus EN-Wert)

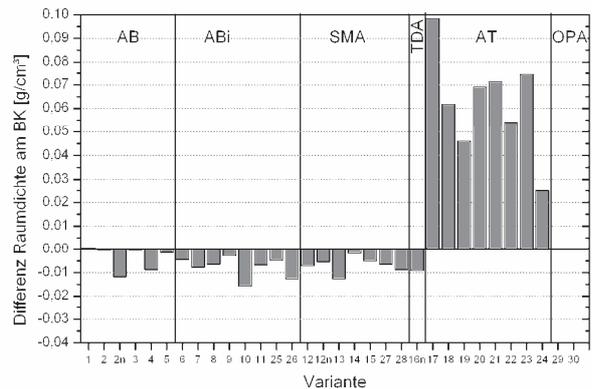


Bild 2: Differenzbeträge der Raumdichten Bohrkernproben (DIN-Wert minus EN-Wert)

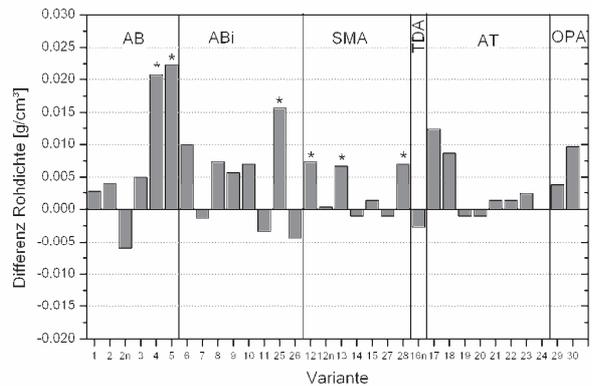


Bild 3: Differenzbeträge der Rohdichten (DIN-Wert minus EN-Wert). Die mit Stern gekennzeichneten Unterschiede sind signifikant.

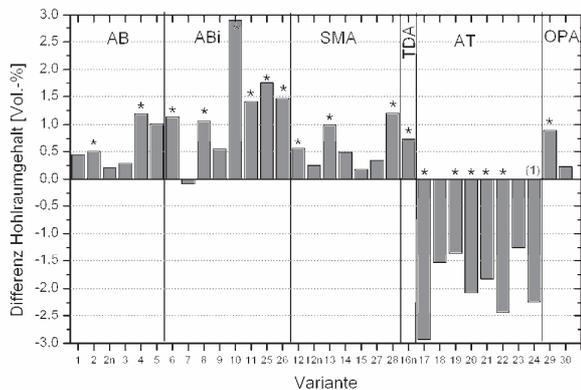
Danach ist festzustellen, dass alle Raumdichten – sowohl die Raumdichten an den Marshall-Probekörpern als auch die Raumdichten an den Bohrkernproben mit Ausnahme der Raumdichten an den Asphalttragschichten – nach dem EN-Verfahren auf höhere Werte führen. Die Raumdichten der Asphalttragschichten wurden dagegen niedriger bestimmt als die Raumdichten, die nach dem DIN-Verfahren bestimmt wurden. Hinsichtlich der Verfahrenspräzision hat sich herausgestellt, dass die mittels Ausmessverfahren bestimmten Raumdichten einer fast doppelt so hohen Verfahrenspräzision unterworfen sind.

Die Rohdichten nach dem EN-Verfahren mit Wasser als Prüfmittel werden tendenziell mit geringeren Zahlenwerten bestimmt. In sechs von einunddreißig Fällen ist der Unterschied signifikant; in allen anderen Fällen zufällig oder nur tendenziell. Die Verfahrenspräzision liegt sowohl bei der EN als auch bei der DIN-Prüfung auf einem vergleichbaren Niveau.

## 3.2 Sekundäre Dichtemerkmale Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad

Unterschiede des Hohlraumgehalts am Marshall-Probekörper

Die Unterschiede der Hohlraumgehalte am Marshall-Probekörper sind in Bild 4 grafisch dargestellt.



**Bild 4:** Differenzbeträge der Hohlraumgehalte am Marshall-Probekörper (DIN-Wert minus EN-Wert). Die mit Stern gekennzeichneten Unterschiede sind signifikant. (1) DIN-Verfahren Wasseraufnahme im Vakuum

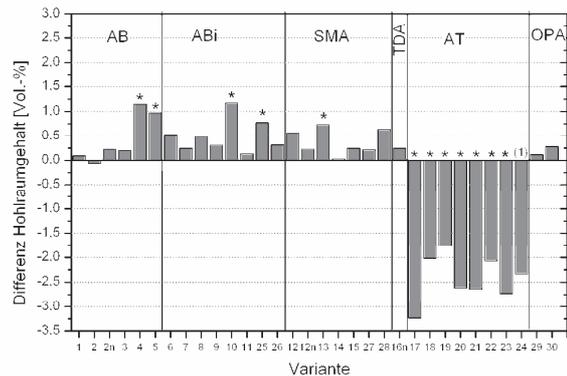
Eingetragen sind jeweils die Differenzen der mit jeweils drei Einzelwerten gebildeten Mittelwerte. In Bild 4 sind die als signifikant identifizierten Unterschiede mit einem Stern versehen. Die übrigen, nicht mit einem Stern versehenen Säulen stellen lediglich tendenzielle Unterschiede dar.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Anwendung der EN-Prüfverfahren gegenüber den Anwendungen des DIN-Verfahrens eine Änderung des Hohlraumgehalts am Marshall-Probekörper wie folgt bewirkt:

- beim Asphaltbeton eine Verringerung um 0,6 Vol.-%,
- beim Asphaltbinder eine Verringerung um 1,3 Vol.-%,
- beim Splittmastixasphalt eine Verringerung um 0,6 Vol.-%,
- beim Tragdeckschichtasphalt eine Verringerung um 0,7 Vol.-%,
- beim Offenporigen Asphalt eine Verringerung um 0,6 Vol.-% und
- bei den Asphalttragschichtvarianten eine Erhöhung um 1,9 Vol.-%.

### Unterschiede des Hohlraumgehalts der Bohrkernproben

Die Unterschiede der nach DIN und nach EN geprüften Hohlraumgehalte an den Bohrkernproben sind in Bild 5 histografisch dargestellt. Die mit Stern gekennzeichneten Unterschiede sind signifikant.



**Bild 5:** Differenzbeträge der Hohlraumgehalte am Bohrkern (DIN-Wert minus EN-Wert). Die mit Stern gekennzeichneten Unterschiede sind signifikant. (1) DIN-Verfahren Wasseraufnahme im Vakuum

Bei den Asphaltbetonen, Asphaltbindern, Splittmastixasphalten, dem Tragdeckschichtasphalt und den Offenporigen Asphalt führt die EN-Prozedur zu geringeren Werten für den Hohlraumgehalt am Bohrkern. Eine Signifikanz des Unterschieds lässt sich aber nur in fünf von vierundzwanzig Fällen anzeigen.

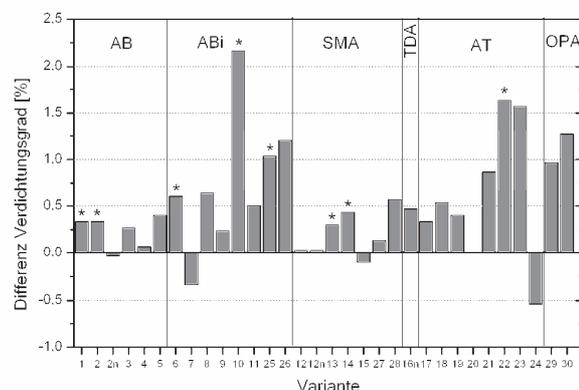
Im Einzelnen wurde festgestellt, dass die Anwendung der EN-Prüfverfahren den Hohlraumgehalt an den Bohrkernproben wie folgt verringert:

- bei den Asphaltbetonen um 0,4 Vol.-%,
- bei den Asphaltbindern um 0,5 Vol.-%,
- bei den Splittmastixasphalten um 0,4 Vol.-%,
- bei den Tragdeckschichtasphalten um 0,2 Vol.-% und
- bei den Offenporigen Asphalt um 0,2 Vol.-%.

Die Anwendung der EN-Prüfverfahren erhöht dagegen bei den Asphalttragschichten den Hohlraumgehalt am Bohrkern um durchschnittlich 2,4 Vol.-%.

### Unterschiede des Verdichtungsgrads

Generell führt die Anwendung der EN-Prüfverfahren gegenüber den DIN-Prüfverfahren zur Reduzierung der Verdichtungsgrade, wie Bild 6 zu entnehmen ist. In einigen Fällen wurde eine Erhöhung festgestellt; so bei den Varianten 2n, 7, 15 und 24. Diese Erhöhung ist aber in keinem Falle signifikant.



**Bild 6:** Differenzbeträge der Verdichtungsgrade (DIN-Wert minus EN-Wert). Die mit Stern gekennzeichneten Unterschiede sind signifikant.

Die Anwendung der EN-Prozedur bewirkt gegenüber der DIN-Prozedur generell eine Verringerung des Verdichtungsgrads:

- bei den Asphaltbetonen um 0,2 %,
- bei den Asphaltbindervarianten um 0,7 %,
- bei den Splittmastixasphalten um 0,2 %,
- bei den Tragdeckschichtasphalten um 0,4 %,
- bei den Asphalttragschichten um 0,6 % und
- bei den Offenporigen Asphaltdeckschichten um 1,1 %.

## 4 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3: Differenz zwischen den nach DIN und nach EN bestimmten sekundären Dichtemerkmalen**

Asphaltart	Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper	Hohlraumgehalt am Bohrkern	Verdichtungsgrad
	Vol.-%	Vol.-%	%
<b>Asphaltbeton</b>	- 0,6	- 0,4	- 0,2
<b>Asphaltbinder (ABi)</b>	- 1,3	- 0,5	- 0,7
<b>ABi (normal)</b>	- 0,7	- 0,4	- 0,2
<b>ABi (S-Varianten)</b>	- 1,9	0,6	- 1,2
<b>Splittmastixasphalt</b>	- 0,6	- 0,4	- 0,2
<b>Tragdeckschichtasphalt</b>	- 0,7	- 0,2	- 0,4
<b>Tragschichtasphalt</b>	+ 1,9	+ 2,4	- 0,6
<b>Offenporige Asphaltdeckschicht</b>	- 0,6	- 0,2	- 1,1
(-) bedeutet, die EN-Prozedur bewirkt eine Verringerung der Merkmalsgröße			
(+) bedeutet, die EN-Prozedur bewirkt eine Erhöhung der Merkmalsgröße			

Danach ist bei einer summarischen Betrachtungsweise festzustellen, dass mit Ausnahme der Hohlraumgehalte der Asphalttragschichten in allen anderen Fällen die Anwendung der Europäischen Prüfnormen auf geringere Zahlenwerte für den Hohlraumgehalt und auch für den Verdichtungsgrad führen. Hinsichtlich des Einflusses der Verdichtungstemperatur bei der Herstellung der Marshall-Probekörper zur Gewinnung der Bezugsraumdichte wurde festgestellt, dass sich diese sowohl auf die Hohlraumgehalte als auch auf die Verdichtungsgrade – diese werden regelmäßig geringer – auswirken. Dabei hat sich

auch gezeigt, dass der Einfluss auf die sogenannten S-Varianten des Asphaltbinders – offensichtlich wegen des größeren Spektrums der Verdichtungstemperaturen – deutlich größer ist als bei den "normalen" Asphaltbindervarianten.

Das primäre Dichtemerkmal Rohdichte wird nach der Europäischen Norm mit Wasser bestimmt und führt auf geringere Werte, womit die bereits in Deutschland gesammelten Erfahrungen bestätigt werden.

Das primäre Dichtemerkmal Raumdichte wird mit Ausnahme der Tragschichtasphalte nach dem EN-Prüfverfahren immer größer bestimmt als nach dem DIN-Prüfverfahren.

Die Raumdichten der Tragschichtasphalte werden nach Europäischer Norm mittels Ausmessverfahren bestimmt und führen gegenüber dem DIN-Verfahren auf deutlich kleinere Werte.

## 5 Folgerungen für die Praxis

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen wird vorgeschlagen, die Versuchsergebnisse gegenüber den bisherigen Anforderungswerten der ZTV Asphalt-StB 01 bzw. ZTV T-StB 95/02 in die neue TL Asphalt-StB 07 bzw. ZTV Asphalt-StB 07 wie folgt umzusetzen:

- Bei den Asphaltbetonen und den Splittmastixasphalten sind die Hohlraumgehaltsgrenzen an den Marshall-Probekörpern und an den Bohrkernen um 0,5 Vol.-% abzusenken.
- Für die Asphaltbindervarianten wird vorgeschlagen, zwischen dem "normalen" Asphaltbindermischgut und den sogenannten S-Asphaltbindervarianten zu unterscheiden. Die untere Grenze für den Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper ist beim "normalen" Asphaltbindermischgut um 0,5 Vol.-% und bei den S-Varianten um 1,5 Vol.-% abzusenken. Der obere Grenzwert ist in beiden Fällen um 1,0 Vol.-% abzusenken.
- Für die Tragdeckschichtasphalte sind, wie beim Asphaltbeton, die Hohlraumgehaltsgrenzen um 0,5 Vol.-% abzusenken.
- Für Asphalttragschichten sind die Anforderungswerte für den Hohlraumgehalt um 2 Vol.-% anzuheben.
- Für die Offenporigen Asphaltdeckschichten werden keine Änderungen vorgeschlagen, da sich die EN- und die DIN-Prüfverfahren zur Bestimmung des Verdichtungsgrads und des Hohlraumgehalts praktisch nicht unterscheiden.
- Die Anforderungen an den Verdichtungsgrad sind für alle Asphaltarten aus den bisherigen Regelwerken zu übernehmen.