

## Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

FA 7.238

Forschungsstelle: Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. R. Roos)

Bearbeiter: Karcher, C. / Wittenberg, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: September 2013

### 1 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens war es zu untersuchen, ob in verschiedenen Prüfstellen hergestellte Asphalt-Probepplatten die gleichen Eigenschaften aufweisen, damit zum Beispiel verträgliche Ergebnisse für die Performance-Prüfungen ermittelt werden können.

Für die Durchführung des Projekts wurden neben der eigenen weitere 11 Prüfstellen ausgewählt. Bei der Auswahl wurden die beiden auf dem deutschen Markt etablierten Hersteller mit jeweils sechs Geräten berücksichtigt.

### 2 Untersuchungsmethodik

Zu Beginn des Projekts wurde durch das ISE ein Verfahrens-Audit durchgeführt und dabei die Vorgehensweise bei der Herstellung von Asphalt-Probepplatten erfasst und analysiert. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine die TP ergänzende Arbeitsanleitung mit Präzisierungen, Anmerkungen und Hinweisen erstellt, um gleiche Vorgehensweisen bei der Herstellung der Asphalt-Probepplatten in den Prüfstellen zu gewährleisten.

In den 12 teilnehmenden Prüfstellen wurden mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät an zunächst drei verschiedenen Asphaltvarianten (SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich) und AC 32 T S) jeweils drei Asphalt-Probepplatten mit gleichem Standard-Verdichtungsmanagement hergestellt. Anschließend wurden am ISE an allen hergestellten Asphalt-Probepplatten verschiedene relevante Merkmale nach TP Asphalt-StB, Teil 33 (Raumdichte, Dicken- und Raumdichteverteilung) bestimmt, sodass sich die Besonderheiten jedes Geräts und Labors ermitteln ließen (Nullzustand).

Folgende Erkenntnisse konnten im Rahmen der Untersuchungen im Nullzustand gewonnen werden: Die Streuungen der Raumdichte und Dicke, die sich zwischen den Geräteherstellern beziehungsweise den Prüfstellen ergaben, waren kleiner als erwartet und können vernachlässigt werden. Die Streuungen erhöhen sich aber, je gröber das Asphaltmischgut ist. Die mit der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 vorgegebenen Verdichtungsfunktion erreichten Verdichtungsgrade aller Asphalt-Probepplatten und Asphaltvarianten sind vergleichsweise hoch. Die Untersuchung der Raumdichteverteilung zeigt, dass sich in den Randbereichen der Asphalt-Probepplatten erwartungsgemäß geringere Raumdichten ergeben als im inneren Bereich der Asphalt-Probepplatten.

Im Anschluss an diesen Bearbeitungsschritt wurden von den 12 Prüfstellen Asphalt-Probepplatten aus den drei o. g. sowie an drei weiteren Asphaltvarianten (AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA) für die Performance-Prüfungen hergestellt. Da-

raufhin erfolgte die Raumdichte-Bestimmung an den Asphalt-Probepplatten am ISE. Hierbei zeigte sich, wie im Schritt Nullzustand, dass die Asphalt-Probepplatten vergleichsweise hohe Raumdichten im Vergleich zu den Raumdichten der MPK erreichten und sich somit hohe Verdichtungsgrade mit dem Standard-Verdichtungsmanagement ergaben.

Die Herstellung der Probekörper sowie die Durchführung der Performance-Prüfungen erfolgten am ISE, sodass zusätzliche Einflüsse wie zum Beispiel unterschiedliche Versuchseinrichtungen in den jeweiligen Prüfstellen ausgeschlossen werden konnten.

An den Asphaltvarianten wurden Performance-Prüfungen zum Verformungsverhalten, Ermüdungsverhalten, Kälteverhalten und der Wasserempfindlichkeit durchgeführt:

- Spurbildungsversuch: SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich), AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA
- Druck-Schwellversuch: SMA 8 S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA
- Spaltzug-Schwellversuch bei 20 °C und einer einheitlichen Oberspannung: SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich), AC 32 T S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA
- Zentrischer Zugversuch vor und nach Wasserlagerung: SMA 8 S
- Abkühlversuch: SMA 8 S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA
- Zugversuch bei -10 °C: AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA

Die Beurteilung, ob die Asphalt-Probepplatten beziehungsweise die daraus hergestellten Probekörper für die performance-basierten Asphaltprüfungen geeignet sind beziehungsweise einheitliche Ergebnisse liefern, obwohl diese in verschiedenen Prüfstellen mit verschiedenen WSV-Geräten hergestellt werden, erfolgt anhand von Performance-Prüfungen. Hierbei wird einerseits über statistische Auswertungen geprüft, ob die Ergebnisse der Performance-Prüfungen signifikante Unterschiede aufweisen und andererseits, soweit vorliegend, werden die Präzisionsdaten aus den jeweiligen TP herangezogen. Sind diese eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass unabhängig von WSV-Gerät sowie Prüfstelle Asphalt-Probepplatten beziehungsweise -Probekörper hergestellt werden können, die verträgliche und somit als gleich anzusehende Ergebnisse in den Performance-Prüfungen liefern.

Um die im "Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen – Teil 1" beschriebene Wiederhol- und Vergleichspräzision zu überprüfen, müssen die Wiederholbedingungen beziehungsweise die Vergleichsbedingungen eingehalten werden. Diese Bedingungen weichen allerdings von der hier angewendeten Vorgehensweise ab: Die Asphalt-Probepplatten, die in den einzelnen Prüfstellen hergestellt wurden, sind am ISE zu Probekörpern verarbeitet und dann in jeweils denselben Prüfanlagen und von denselben Bedienern geprüft worden.

Dennoch wurden diese beiden Parameter zur Einschätzung der Ergebnisse – natürlich auf Basis von 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen anstelle von zwei Prüfstellen – herangezogen.

## 2.1 Asphalt-Probepplatten für Performance-Prüfungen

Trotz der zwei Herstellungszyklen (Nullzustand und Performance-Platten) der Asphalt-Probepplatten aus SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich) und AC 32 T S zeigten sich bei allen Prüfstellen vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Raumdichten der Asphalt-Probepplatten.

Die Asphalt-Probepplatten weisen im Mittel eine um 0,022 g/cm<sup>3</sup> höhere Raumdichte als die zugehörigen MPK auf, somit liegen die Mittelwerte der Verdichtungsgrade im Bereich von 100,2 bis 101,1 % (Tabelle 1). Die Standardabweichung der Raumdichte aller Asphaltvarianten liegt bei maximal 0,011 g/cm<sup>3</sup> (AC 16 B S). Die Mittelwertvergleiche für die Raumdichte zwischen den beiden Geräteherstellern ergaben bis auf den AC 32 T S keine signifikanten Unterschiede. Somit ist davon auszugehen, dass der Gerätehersteller keinen Einfluss auf die Raumdichten der Asphalt-Probepplatten hat. Beim Mittelwertvergleich der Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte zeigte sich allerdings bei allen Asphaltvarianten statistisch ein signifikanter Unterschied. Die Spannweiten für alle 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen lagen aber maximal bei 0,043 g/cm<sup>3</sup> (AC 32 T S) und somit zum Beispiel innerhalb der kritischen Spannweite für

11 beziehungsweise 12 Marshall-Probekörper nach TP Asphalt-StB, Teil 6.

## 2.2 Spurbildungsversuche

Die Mittelwertvergleiche der Spurrinnentiefe zwischen den Geräteherstellern zeigen für die fünf Asphaltvarianten bis auf den AC 11 D S, dass die Ergebnisse keinen signifikanten Unterschied aufweisen (Tabelle 2). Es ist also davon auszugehen, dass der Gerätehersteller keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Spurbildungsversuche hat. Der Mittelwertvergleich zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte zeigt kein eindeutiges Ergebnis: Bei drei der fünf Asphaltvarianten lässt sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Spurrinnentiefe feststellen. Die Wiederholpräzision bezogen auf 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen ist bei drei der fünf Asphaltvarianten eingehalten, die Vergleichspräzision nur bei zwei. Aufgrund dessen wurden weitere Prüfungen bezüglich der Präzision durchgeführt. Zum einen wurden die zugehörigen Spurrinnentiefen der Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte bezüglich der Einhaltung der Präzisionen geprüft, zum anderen die Prüfstellen mit minimaler und maximaler Spurrinnentiefe (siehe Tabelle 2). Die einzige Asphaltvariante, bei der alle Präzisionen eingehalten wurde, ist der AC 16 B S. Bei allen anderen sind die Präzisionen teilweise eingehalten, teilweise nicht.

**Tabelle 1: Zusammenstellung der Ergebnisse der Raumdichte, Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt der Asphalt-Probepplatten aller Asphaltvarianten und für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen**

		Einheit	SMA 8 S	AC 16 B S (hohlraumreich)	AC 32 T S	AC 11 D S	AC 16 B S	AC 22 B S – Typ SMA
Raumdichte	Mittelwert	g/cm <sup>3</sup>	2,362	2,317	2,428	2,358	2,335	2,413
	Standardabweichung	g/cm <sup>3</sup>	0,004	0,008	0,010	0,006	0,011	0,007
	Spannweite	g/cm <sup>3</sup>	0,010	0,024	0,043	0,018	0,033	0,021
	signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	-	nein	nein	ja	nein	nein	nein
	signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte vorhanden?	-	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	Differenz der Mittelwerte der Raumdichten der Fa. Freundl und Fa. infraTest	g/cm <sup>3</sup>	0,002	0,004	0,014	0,001	0,006	0,001
Verdichtungsgrad	Mittelwert	%	100,9	100,7	100,2	100,4	101,0	101,1
	Standardabweichung	%	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3
	Spannweite	%	0,9	1,7	1,6	0,8	2,2	1,3
Hohlraumgehalt	Mittelwert	Vol.-%	0,4	7,3	3,8	2,0	3,6	1,3
	Standardabweichung	Vol.-%	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3
	Spannweite	Vol.-%	1,0	1,5	1,5	0,8	2,1	1,2

**Tabelle 2: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Spurrinnentiefe der Spurbildungsversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen**

	SMA 8 S		AC 16 B S (hohlraumreich)		AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – Typ SMA	
	Raum-dichte	Spurrinnen-tiefe (SPT)	Raum-dichte	Spurrinnen-tiefe (SPT)	Raum-dichte	Spurrinnen-tiefe (SPT)	Raum-dichte	Spurrinnen-tiefe (SPT)	Raum-dichte	Spurrinnen-tiefe (SPT)
	g/cm <sup>3</sup>	mm	g/cm <sup>3</sup>	mm	g/cm <sup>3</sup>	mm	g/cm <sup>3</sup>	mm	g/cm <sup>3</sup>	mm
Mittelwert	2,362	2,5	2,317	1,6	2,361	3,7	2,337	1,8	2,412	2,2
Standardabweichung	0,004	0,5	0,007	0,2	0,010	1,2	0,006	0,1	0,007	0,3
Spannweite	0,011	1,9	0,031	0,6	0,021	3,7	0,021	0,3	0,028	1,2
signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja	nein
signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raum-dichte?	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein	ja	ja
Wiederholpräzision eingehalten?		nein		ja		nein		ja		nein
Vergleichspräzision eingehalten?		nein		ja		nein		ja		ja
Wiederholpräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale Raum-dichte)		nein		ja		nein		ja		ja
Vergleichspräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale Raum-dichte)		nein		ja		ja		ja		ja
Wiederholpräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale SPT)		nein		nein		nein		ja		nein
Vergleichspräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale SPT)		nein		ja		nein		ja		nein

2.3 Druck-Schwellversuche

Da sich beim AC 11 D S und beim AC 16 B S nur für einige Probekörper Wendepunkte einstellten, mussten die Dehnung und die Dehnungsrate bei einer bestimmten Lastwechselzahl betrachtet werden, um einen Vergleich zwischen den Ergebnissen ziehen zu können, bis zu der bei keinem Probekörper ein Wendepunkt erreicht wurde.

Für die Beurteilung der Ergebnisse wurden auch hier die Mittelwertvergleiche und die Wiederhol- und Vergleichspräzision der TP – wie oben bereits beschrieben – herangezogen.

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Geräteherstellern bezüglich der Dehnungsrate am Ende des Versuchs ergaben bis auf den SMA 8 S keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 3). Auch hier ist daher davon auszugehen, dass der Gerätehersteller der WSV-Geräte keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche hat. Die Überprüfung der Mittelwertvergleiche zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raum-dichte ergab mit Ausnahme des SMA 8 S signifikante Unterschiede.

Die Wiederhol- beziehungsweise Vergleichspräzision ist mit Ausnahme des AC 16 B S bei den anderen drei Asphaltvarianten eingehalten. Dies gilt ebenso für den Vergleich der Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raum-dichte. Beim AC 16 B S wurde mit Abstand die größte Standardabweichung sowie die größte Spannweite bei der Raum-dichte ermittelt. Hier wichen die Dehnungsraten voneinander ab.

Der Vergleich der minimalen und maximalen Dehnungsrate zeigt, dass diese mit Ausnahme der Vergleichspräzision beim AC 22 B S – Typ SMA nicht eingehalten werden.

2.4 Spaltzug-Schwellversuche

Bei der Beurteilung der Spaltzug-Schwellversuche kann nicht auf eine Präzision aus einem Regelwerk zurückgegriffen werden. Die Ergebnisse können lediglich über statistische Auswertungen oder Sensitivitätsanalysen bewertet werden.

Die Kenngrößen, die bei diesem Versuch ermittelt wurden, sind die anfängliche elastische Dehnung, die Lastwechselzahl  $N_{makro}$  sowie das Steifigkeitsmodul, das über die anfängliche elastische Dehnung berechnet wurde.

Die Bewertung der Versuche über die Lastwechselzahl  $N_{makro}$  stellt sich als schwierig dar, da normalerweise zur Ermittlung einer Ermüdungsfunktion Versuche bei zwei weiteren Ober-spannungen durchgeführt werden. Hierdurch ergibt sich eine Ermüdungsfunktion, die auf neun Einzelwerten basiert und somit Streuungen der einzelnen Zahlenwerte "dämpft". Im Rahmen dieses Projekts konnte aber nur ein Punkt der Ermüdungsfunktion bei einer mittleren Ober-spannung mit drei Einzelwerten ermittelt werden, sodass eine Bewertung der Streuungen der Lastwechselzahlen  $N_{makro}$  nicht sinnvoll ist, da diese Kenngröße erfahrungsgemäß sehr sensitiv reagiert.

Die ermittelte anfängliche elastische Dehnung und das damit zusammenhängende Steifigkeitsmodul eignen sich besser zur Einordnung der Ergebnisse und liegen daher der Auswertung zugrunde.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt bezüglich der Dehnung nur beim AC 32 T S einen signifikanten Unterschied, das Steifigkeitsmodul nur beim SMA 8 S (Tabelle 4). Aufgrund der Ergebnisse lässt sich feststellen, dass auch bei diesem Versuch der Gerätehersteller keinen Einfluss auf die

Ergebnisse im Spaltzug-Schwellversuch hat. Die Überprüfung zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte der Probekörper hingegen zeigt kein so ein einheitliches Bild. Für die Raumdichte ergeben sich signifikante Unterschiede bei allen Varianten, bei den Kenngrößen im Spaltzug-Schwellversuch sind wenige signifikante aber überwiegend nicht signifikante Unterschiede ermittelt worden. Das heißt, dass hier davon ausgegangen werden muss, dass die Probekörper aus den Asphalt-Probepplatten verschiedener Prüfstellen dieselben Ergebnisse liefern.

**Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Dehnungsraten aus dem Druck-Schwellversuch für alle Asphaltvarianten und für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen**

	SMA 8 S		AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – Typ SMA	
	Raumdicke	Dehnungsrate	Raumdicke	Dehnungsrate	Raumdicke	Dehnungsrate	Raumdicke	Dehnungsrate
	g/cm <sup>3</sup>	$\frac{\% \cdot 10^{-4}}{n}$	g/cm <sup>3</sup>	$\frac{\% \cdot 10^{-4}}{n}$	g/cm <sup>3</sup>	$\frac{\% \cdot 10^{-4}}{n}$	g/cm <sup>3</sup>	$\frac{\% \cdot 10^{-4}}{n}$
Mittelwert	2,372	8,4	2,371	18,4	2,355	27,5	2,429	4,3
Standardabweichung	0,003	1,5	0,007	4,7	0,022	12,6	0,007	0,7
Spannweite	0,009	4,3	0,028	16,3	0,075	44,8	0,021	2,1
signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte?	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wiederholpräzision eingehalten?		ja		ja		nein		ja
Vergleichspräzision eingehalten?		ja		ja		nein		ja
Wiederholpräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale Raumdichte)		ja		ja		nein		ja
Vergleichspräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale Raumdichte)		ja		ja		nein		ja
Wiederholpräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale SPT)		nein		nein		nein		nein
Vergleichspräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale SPT)		nein		nein		nein		ja

## 2.5 Abkühlversuche

Für die Abkühlversuche sind noch keine Präzisionsdaten ermittelt worden, die hier zur Bewertung herangezogen werden konnten. Es liegt lediglich eine Präzision vor, die die Verträglichkeit von Einzelwerten beschreibt.

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Geräteherstellern zeigen keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Kenngrößen Raumdichte der Probekörper, Bruchtemperatur und Bruchspannung bei allen Asphaltvarianten (Tabelle 5). Eine Ausnahme ist allerdings die Bruchtemperatur beim SMA 8 S, hier wurde ein signifikanter Unterschied ermittelt. Trotzdem ist aufgrund der Gesamtheit der Ergebnisse davon auszugehen, dass der Gerätehersteller keinen Einfluss auf die Performance-Prüfungen hat. Beim Mittelwertvergleich zwischen den Prüfstellen mit minimalen und maximalen Raumdichten ergibt sich für die Raumdichte immer ein signifikanter Unterschied, bei den Bruchtemperaturen und den Bruchspannungen, bis auf eine Ausnahme, hingegen keiner.

Als weitere Möglichkeit der Bewertung der Bruchtemperaturen wurde die im Arbeitspapier vorgeschlagene Einordnung der Bruchtemperaturen in Kategorien in Abhängigkeit der Asphaltart zu Frosteinwirkungszonen der RStO 01 herangezogen.

Bis auf den AC 16 B S liegen die Bruchtemperaturen der anderen drei Asphaltvarianten jeweils in einer Kategorie, sodass die Ergebnisse bezüglich dessen als gleich anzusehen sind. Beim AC 16 B S ist die maximale Spannweite kleiner 5 °C (Ist: 4,5 °C) und somit ebenfalls kleiner als die Spannweite der Kategorien.

Bei der Bruchspannung ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern. Dies gilt ebenso, mit Ausnahme des AC 16 B S, für den Vergleich mit minimaler und maximaler Raumdichte. Beim AC 16 B S wurde allerdings auch die größte Spannweite der Raumdichten ermittelt, die mit 0,056 g/cm<sup>3</sup> deutlich über den Spannweiten der drei anderen Varianten lag.

2.6 Zugversuche bei -10 °C

Für Zugversuche liegen auch noch keine Präzisionsdaten vor. Durch statistische Auswertungen lässt sich aber feststellen, dass wie bei den anderen Performance-Prüfungen bereits ermittelt, der Gerätehersteller keinen Einfluss auf die Ergebnisse zu haben scheint.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte und Zugfestigkeit der Probekörper zeigte aber, dass die Ergebnisse sich signifikant unterscheiden (Tabelle 5).

**Tabelle 4: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Dehnung und des Steifigkeitsmoduls der Spaltzug-Schwellversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen**

	SMA 8 S			AC 16 B S (hohlraumreich)			AC 32 T S		
	Raumdicke	Dehnung	Steifigkeitsmodul	Raumdicke	Dehnung	Steifigkeitsmodul	Raumdicke	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm³	‰	MPa	g/cm³	‰	MPa	g/cm³	‰	MPa
Mittelwert	2,370	0,113	6.241	2,334	0,107	6.727	2,447	0,074	12.168
Standardabweichung	0,005	0,007	348	0,012	0,013	584	0,006	0,005	832
Spannweite	0,16	0,021	1.140	0,042	0,046	2.125	0,020	0,015	2.603
signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte?	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja	ja

	AC 11 D S			AC 16 B S			AC 22 B S – Typ SMA		
	Raumdicke	Dehnung	Steifigkeitsmodul	Raumdicke	Dehnung	Steifigkeitsmodul	Raumdicke	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm³	‰	MPa	g/cm³	‰	MPa	g/cm³	‰	MPa
Mittelwert	2,372	0,095	7.305	2,353	0,085	8.145	2,427	0,090	9.931
Standardabweichung	0,007	0,007	484	0,017	0,007	635	0,005	0,005	590
Spannweite	0,026	0,023	1.772	0,066	0,021	2.269	0,017	0,011	1.401
signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte?	ja	ja	ja	ja	nein	nein	ja	nein	nein

2.7 Zentrischer Zugversuch

Bei den lediglich am SMA 8 S durchgeführten zentrischen Zugversuchen ließ sich keine eindeutige Tendenz erkennen. Teilweise verbesserte sich die Zugfestigkeit nach der Wasserlagerung. Das Verhältnis der Zugfestigkeiten vor und nach Wasserlagerung liegt im Mittel bei 97 %, das heißt, eine Auswirkung der Wasserlagerung auf die Zugfestigkeit ist nicht festzustellen, was auf die sehr dichten Probekörper zurückzuführen sein könnte.

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Geräteherstellern bezüglich der Höchstkräfte und der Verhältnisse der Zugfestigkeiten ergaben keine signifikanten Unterschiede. Bei den Raumdichten wurden allerdings signifikante Unterschiede ermittelt.

**3 Schlussfolgerungen**

Die Raumdichten der hergestellten Asphalt-Probepplatten der Asphaltvarianten SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich), AC 11

D S und AC 22 B S – Typ SMA sind als gleich anzusehen, da sie zum Beispiel eine maximale Spannweite von nur 0,024 g/cm³ für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen aufweisen. Lediglich beim AC 32 T S und AC 16 B S wurden höhere Spannweiten ermittelt, die aber zum Beispiel immer noch innerhalb der kritischen Spannweite für 11 beziehungsweise 12 Marshall-Probekörper nach TP Asphalt-StB, Teil 6 liegen. Die statistischen Auswertungen haben ergeben, dass zwischen den Geräteherstellern kein signifikanter Unterschied bei den Raumdichten besteht. Beim Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte konnten dagegen signifikante Unterschiede ermittelt werden.

Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche, Druck-Schwellversuche und Zugversuche haben gezeigt, dass die Asphalt-Probepplatten zwar ähnliche Raumdichten aufweisen, dies führt allerdings nicht zwangsläufig zu verträglichen Ergebnissen im Versuch. Das heißt, dass sich mit den Asphalt-Probepplatten aus

Walzsektor-Verdichtungsgeräten verschiedener Prüfstellen keine vergleichbaren Ergebnisse für diese Versuche ermitteln lassen.

Die statistischen Auswertungen der Spaltzug-Schwellversuche zeigten, dass die Probekörper aus den Asphalt-Probepplatten verschiedener Prüfstellen überwiegend dieselben Ergebnisse hinsichtlich Dehnung und Steifigkeitsmodul liefern.

Bei den Abkühlversuchen ergab die statistische Auswertung, mit einer Ausnahme der Bruchspannung beim AC 16 B S, dass sich die Kenngrößen Bruchtemperatur und Bruchspannung nicht signifikant unterscheiden. Weiterhin zeigte sich, dass die ermittelten Bruchtemperaturen relativ unempfindlich auf die unterschiedlichen Probekörper reagieren. So ist zum Beispiel davon auszugehen, dass die ermittelten Bruchtemperaturen trotz geringfügiger Unterschiede in der gleichen Kategorie zur Bewertung der Kälteeigenschaften eingeordnet werden. Die statistischen Auswertungen bezüglich der Bruchspannungen zeigen dasselbe Ergebnis.

Für keine der ermittelten Kenngrößen der Performance-Prüfungen ließen sich Zusammenhänge mit der Raumdichte ermitteln. Somit lässt sich die Größe der Ergebnisse bei den Versuchen nicht auf unterschiedliche Größen der Raumdichten der Probekörper zurückführen.

Ob sich diese Streuungen der Versuchsergebnisse durch die Versuchsdurchführung an sich ergeben oder auf andere Probekörpereigenschaften als die Raumdichte zurückzuführen sind, ließ sich mit der hier durchgeführten Untersuchungssystematik nicht ermitteln. Die Raumdichte zumindest scheint, wenn die Streuungen nicht aus den Prüfverfahren selbst sondern aus den Asphalt-Probepplatten kommen, keine adäquate Kenngröße zur Beschreibung der Einheitlichkeit/Homogenität von Asphalt-Probepplatten aus dem Walzsektor-Verdichtungsgerät für Performance-Prüfungen zu sein. Hierzu müssten neue, nicht vor-

liegende Verfahren (zum Beispiel Bestimmung der Kornausrichtung) entwickelt und herangezogen werden.

Das Verfahren zur Herstellung von Probekörpern für Performance-Prüfungen aus Asphalt-Probepplatten, die mit dem WSV hergestellt wurden, scheint aufgrund der Gesamtheit der an den Asphalt-Probepplatten mit den vorliegenden Laborprüfungen ermittelten Kenngrößen (Raumdichte etc.), deren Aussehen und den Erkenntnissen aus dem Verfahrensaudit das richtige Verfahren zu sein.

Da sich die Raumdichten der Asphalt-Probepplatten, wie nach dem durchgeführten Verfahrens-Audit erwartet, nur gering unterscheiden, sich aber in ausgewählten Performance-Untersuchungen Unterschiede zeigen, ist davon auszugehen, dass die Streuungen in diesen Performance-Prüfungen vornehmlich auf die Sensitivität der Versuche zurückzuführen sind.

Die hier ermittelten Ergebnisse zeigen, dass es durchaus möglich ist, Asphalt-Probepplatten mit annähernd gleicher sowie verträglicher Raumdichte in unterschiedlichen WSV-Geräten sowie verschiedenen Prüfstellen herzustellen.

Eine Möglichkeit, die Herstellung der Asphalt-Probepplatten zu überwachen, ist sicherlich die Datenaufzeichnung während der Herstellung. Wie beschrieben können dann Fehler im Verdichtungsmanagement erkannt werden, die gegebenenfalls zwar keine Auswirkungen auf die Raumdichte, aber eventuell auf die Ergebnisse der Performance-Prüfung haben. Daher wird empfohlen, jedes WSV-Gerät zur Qualitätssicherung mit einer Datenaufzeichnung zu versehen und bei jeder Asphalt-Probepplatten-Herstellung diese Aufzeichnung zu überprüfen, sodass zumindest keine fehlerhaften oder unterschiedlich hergestellten Asphalt-Probepplatten für Performance-Prüfungen eingesetzt werden und eine mögliche Fehlerquelle ausgeschlossen werden kann.

**Tabelle 5: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Bruchtemperatur und Bruchspannung der Abkühlversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen**

	SMA 8 S			AC 11 D S			AC 16 B S			AC 22 B S – Typ SMA		
	Raum-dichte	Bruch-temperatur	Bruch-spannung	Raum-dichte	Bruch-temperatur	Bruch-spannung	Raum-dichte	Bruch-temperatur	Bruch-spannung	Raum-dichte	Bruch-temperatur	Bruch-spannung
	g/cm <sup>3</sup>	°C	MPa	g/cm <sup>3</sup>	°C	MPa	g/cm <sup>3</sup>	°C	MPa	g/cm <sup>3</sup>	°C	MPa
Mittelwert	2,372	-22,2	4,676	2,372	-23,3	4,911	2,358	-21,4	3,566	2,429	-29,3	3,736
Standardabweichung	0,004	0,9	0,201	0,006	0,7	0,230	0,015	1,6	0,374	0,006	2,4	0,239
Spannweite	0,011	2,5	0,580	0,018	2,2	0,761	0,056	4,5	1,1	0,021	6,7	0,8
signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte?	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja	ja	nein	nein
Bruchtemperatur in einer Kategorie? II (≤ -20°C) III (≤ -25 °C)		ja (II)			ja (II)			nein			ja (III)	

**Tabelle 6: Zusammenstellung der Ergebnisse der Zugversuche aller Asphaltvarianten und für 11 beziehungsweise 12 Prüfstellen**

	AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – Typ SMA	
	Raumdicke	Zugfestigkeit	Raumdicke	Zugfestigkeit	Raumdicke	Zugfestigkeit
	g/cm <sup>3</sup>	Mpa	g/cm <sup>3</sup>	Mpa	g/cm <sup>3</sup>	Mpa
Mittelwert	2,374	5,468	2,362	3,890	2,430	5,352
Standardabweichung	0,010	0,346	0,014	0,491	0,007	0,457
Spannweite	0,034	0,995	0,047	1,656	0,021	1,553
signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	ja	nein	nein	nein
signifikanter Unterschied zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdicke?	ja	ja	ja	ja	ja	ja