

Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 100

bast

Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

von

Ralf Roos
Carsten Karcher
Anne Wittenberg

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 100

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE-Nr. 07.0238/2010/EGB:
Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

Fachbetreuung
Franz Bommert

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-266-7

Bergisch Gladbach, September 2016

Kurzfassung – Abstract

Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen

Ziel des Forschungsvorhabens war es zu untersuchen, ob in verschiedenen Prüfstellen mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellte Asphalt-Probepplatten gleiche Eigenschaften aufweisen, damit z. B. verträgliche Ergebnisse für Performance-Prüfungen ermittelt werden können.

Dazu wurde in 12 Prüfstellen ein Verfahrens-Audit durchgeführt, um eine einheitliche Vorgehensweise bei der Herstellung dieser Platten zu gewährleisten.

Anschließend wurden aus verschiedenen Asphaltvarianten WSV-Platten hergestellt und an daraus gewonnenen Probekörpern umfangreiche Performance-Prüfungen durchgeführt.

Die ermittelten Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist WSV-Platten mit verträglicher Raumdichte in unterschiedlichen WSV-Geräten sowie verschiedenen Prüfstellen herzustellen.

Die Ergebnisse der Spurbildungs-, Druck-Schwell- und Zugversuche haben gezeigt, dass die WSV-Platten trotz ähnlicher Raumdichten nicht zwangsläufig verträgliche Ergebnisse im Versuch aufweisen und sich daher in verschiedenen Prüfstellen keine vergleichbaren Ergebnisse für diese Versuche ermitteln lassen. Lediglich bei den Abkühl- und Spaltzug-Schwellversuchen konnten verträgliche Ergebnisse erzielt werden.

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.

Da sich trotz geringer Unterschiede in den Raumdichten nur in ausgewählten Performance-Untersuchungen Unterschiede zeigen, ist davon auszugehen, dass die Streuungen in den Performance-Untersuchungen vornehmlich auf die Sensitivität dieser Versuche zurückzuführen sind.

Das Verfahren zur Herstellung von Probekörpern für Performance-Prüfungen aus WSV-Platten scheint aufgrund der Gesamtheit der ermittelten Kenngrößen (Raumdichte etc.), deren Aussehen, den

Erkenntnissen aus dem Verfahrensaudit sowie der Performance-Prüfungen das richtige Verfahren zu sein.

Specimen production for performance-based asphalt tests

The research project was conducted to study whether asphalt slabs manufactured with a roller compactor by different testing laboratories had the same properties, thus allowing compatible findings to be made for the performance tests.

Twelve testing laboratories were chosen for the project and a process audit determining and analyzing the approach taken in manufacturing asphalt slabs was conducted.

Afterwards asphalt slabs of different asphalt variants were manufactured with the roller compactor and the gained specimens were used for performance tests.

The results show the possibility to create roller compacted slabs in different testing laboratories with different roller compactors with results comparable with respect to the bulk densities.

The results of the wheel tracking tests, Cyclic compression test with no confinement and Uniaxial Tension Stress Test showed the asphalt slabs to have similar bulk densities which, however, does not necessarily result in compatible findings in the test. This means that the asphalt slabs made by roller compactor of various testing laboratories do not allow comparable results to be obtained for these tests. Only the Thermal Stress Restrained Specimen Tests and the Cyclic Indirect Tensile Tests show compatible results.

No correlations with bulk density were found for any of the characteristics of the performance tests. Consequently, the magnitude of the test results cannot be attributed to different levels of bulk densities of the test specimens.

As the bulk densities of the asphalt slabs differ only slightly, as was to be expected from the process audit, while there are differences in selected performance studies, it must be assumed that the

variation in these performance tests is mainly due to the sensitivity of the tests.

The manufacturing method of specimens for performance tests gained from roller compacted slabs seems to be the right procedure, due to the results of determined values (e.g. bulk density), their appearance as well as the obtained knowledge of the process audit and performance testing.

Summary

Specimen production for performance-based asphalt tests

The research project was conducted to study whether asphalt slabs manufactured with a roller compactor by different testing laboratories had the same properties, thus allowing compatible findings to be made for the performance tests.

Eleven testing laboratories, in addition to this one, were chosen for the project. The two manufacturers of roller compactors established on the German market were taken into account with six machines each.

At the beginning of the project the ISE conducted a process audit determining and analyzing the approach taken in manufacturing asphalt slabs. On the basis of these findings working instructions supplementary to the "Technische Prüfvorschrift, Teil 33" (German test specifications, Part 33) were written with precise information, footnotes and comments to ensure identical procedures in manufacturing the asphalt slabs at the testing laboratories.

The twelve participating testing laboratories manufactured with the roller compactor initially three asphalt slabs each of three different asphalt variants (SMA 8 S, AC 16 B S (high void content), and AC 32 T S) using the same standard compaction management. Subsequently various relevant characteristics of all asphalt slabs as listed in test specifications, Part 33 (bulk density, distribution of thickness and bulk density) were determined at the ISE, in this way allowing the special features of each roller compactor and laboratory to be identified (zero-condition).

The following findings were made in the studies conducted in the zero condition: The variations in bulk density and thickness found among equipment manufacturers and testing laboratories, respectively, were smaller than expected and thus were negligible. However, variation increases as a function of the coarseness of the asphalt mix. The compaction degrees of all asphalt slabs and asphalt variants obtained in accordance with the compaction management set out in the German test specifications Asphalt-StB, Part 33, are comparatively high. Studies of bulk density

distribution show that the edge zones of the asphalt slabs have lower bulk densities than the inner parts, which was to be expected.

After this processing step, the twelve testing laboratories manufactured asphalt slabs out of the three asphalt variants referred to above and three more asphalt variants (AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – type SMA) for the performance tests. Next the bulk densities of the asphalt slabs were determined at the ISE. It was found that the asphalt slabs, same as in the zero-condition step, had comparatively high bulk densities compared to the bulk densities of specimen produced with the marshall compactor (MPK) and, as a consequence, high compaction degrees when using standard compaction management.

The test specimens were made and the performance tests conducted at the ISE to avoid additional influences as different test devices in the different testing laboratories.

The asphalt variants were subjected to performance tests to determine deformation behavior, fatigue behavior, low-temperature behavior, and sensitivity to water:

- Wheel Tracking Test: SMA 8 S, AC 16 B S (high void content), AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – type SMA.
- Cyclic compression test with no confinement: SMA 8 S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – type SMA.
- Cyclic Indirect Tensile Test (CITT) at 20 °C and at the same stress: SMA 8 S, AC 16 B S (high void content), AC 32 T S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – type SMA.
- Uniaxial Tension Stress Test (UTST) before and after immersion in water: SMA 8 S.
- Thermal Stress Restrained Specimen test (TSRST): SMA 8 S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – type SMA.
- Uniaxial Tension Stress Test (UTST) at -10°C: AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – type SMA.

Performance tests are conducted to assess whether the asphalt slabs and the test specimens produced from them, respectively, are suitable for the performance-based asphalt tests and produce uniform results, despite their production in different testing laboratories on different roller compactors.

Statistical evaluations are carried out to see whether the results of the performance tests show significant differences: Where available, the precision data from the respective test specifications are used. If these data are observed, it can be assumed that asphalt slabs and test specimens can be manufactured which will lead to findings in the performance tests, irrespective of the roller compactor and the testing labs, which are compatible and can be considered identical.

To verify the repeat and comparative precisions described in the „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen – Teil 1“ the conditions of repetition and comparison, respectively, must be met. However, those conditions differ from the approach used here. The asphalt slabs manufactured by the different testing laboratories were processed into test specimens at the ISE and then tested in the same test facilities and by the same operators. Yet, these two parameters were used to assess the findings, of course on the basis of eleven and twelve, respectively, instead of two testing laboratories.

Asphalt Slabs for Performance Tests

Despite the two manufacturing cycles (zero-condition and performance slabs) of the asphalt test slabs made out of SMA 8 S, AC 16 B S

(high void content), and AC 32 T S, all testing laboratories produced results comparable with respect to the bulk densities of the asphalt slabs.

On the average, the asphalt slabs show a bulk density higher by 0.022 g/cm³ than the respective MPK. Consequently, the mean values of the degrees of compaction are in the range of 100.2 to 101.1% (Table 1). The standard deviation of bulk density of all asphalt variants is a maximum of 0.011 g/cm³ (AC 16 B S). Comparisons of the mean values of bulk density between the two equipment manufacturers showed no significant differences except for AC 32 T S. It can thus be assumed that equipment manufacturers have no influence on the bulk densities of the asphalt slabs. However, comparison of mean values of the testing laboratories with minimum and maximum bulk densities showed a statistically significant difference for all asphalt variants. The ranges for all eleven respectively twelve testing laboratories, reached a maximum at 0.043 g/cm³ (AC 32 T S) and thus were within the critical range, for instance, for eleven respectively twelve MPK according to German test specifications, Part 6.

Wheel Tracking Tests

Comparisons of the mean values of rut depths among equipment manufacturers indicate for the

		unit	SMA 8 S	AC 16 B S (high void content)	AC 32 T S	AC 11 D S	AC 16 B S	AC 22 B S – type SMA
bulk density	Mean value	g/cm ³	2.362	2.317	2.428	2.358	2.335	2.413
	Standard deviation	g/cm ³	0.004	0.008	0.01	0.006	0.011	0.007
	Range	g/cm ³	0.01	0.024	0.043	0.018	0.033	0.021
	Significant difference among equipment manufacturers?	-	no	no	yes	no	no	no
	Significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	-	yes	yes	yes	yes	yes	yes
	Difference of mean value of bulk densities of Freundl and infraTest	g/cm ³	0.002	0.004	0.014	0.001	0.006	0.001
compaction degree	Mean value	%	100.9	100.7	100.2	100.4	101.0	101.1
	Standard deviation	%	0.2	0.3	0.4	0.2	0.5	0.3
	Range	%	0.9	1.7	1.6	0.8	2.2	1.3
void content	Mean value	vol.-%	0.4	7.3	3.8	2.0	3.6	1.3
	Standard deviation	vol.-%	0.2	0.3	0.4	0.2	0.5	0.3
	Range	vol.-%	1	1.5	1.5	0.8	2.1	1.2

Tab. 1: List of results for volume density, degree of compaction, and void content of the asphalt slabs of all asphalt variants and for eleven and twelve test agencies, respectively

	SMA 8 S		AC 16 B S (high void content)		AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – type SMA	
	bulk density	rut depth	bulk density	rut depth	bulk density	rut depth	bulk density	rut depth	bulk density	rut depth
	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm
Mean value	2.362	2.5	2.317	1.6	2.361	3.7	2.337	1.8	2.412	2.2
Standard deviation	0.004	0.5	0.007	0.2	0.01	1.2	0.006	0.1	0.007	0.3
Range	0.011	1.9	0.031	0.6	0.021	3.7	0.021	0.3	0.028	1.2
Significant difference among equipment manufacturers?	no	no	no	no	no	yes	yes	no	yes	no
Significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	yes	no	yes	no	yes	yes	yes	no	yes	yes
Met repeatability?		no		yes		no		yes		no
Met reproducibility?		no		yes		no		yes		yes
Met repeatability? (comparison of minimum and maximum bulk densities)		no		yes		no		yes		yes
Met reproducibility? (comparison of minimum and maximum bulk densities)		no		yes		yes		yes		yes
Wiederholpräzision eingehalten? (comparison of minimum and maximum rut depth)		no		no		no		yes		no
Met reproducibility? (comparison of minimum and maximum rut depth)		no		yes		no		yes		no

Tab. 2: List of results and statistical evaluation of rut depths in the Wheel Tracking Tests for all asphalt variants and for eleven and twelve test agencies, respectively

five asphalt variants, except for AC 11 D S, that the results show no significant difference (Table 2). It can thus be assumed that equipment manufacturers have no influence on the results of wheel tracking tests. Comparison of the mean values among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities shows no unequivocal result: For three out of the five asphalt variants no significant difference can be found with respect to rut depth. Repeatability based on eleven respectively twelve testing laboratories, is observed in three out of five asphalt variants, while reproducibility is met only in two cases. As a consequence, additional tests were conducted with respect to precision. On the one hand the respective rut depths of the testing laboratories with minimum and maximum bulk densities were examined for compliance with precisions while, on the other hand, the testing laboratories with minimum and maximum rut depths (see Table 2) were compared. The only asphalt variant for which all precisions were met is AC 16 B S. In all other cases, precisions are partly met, partly not.

Cyclic compression test with no confinement

As turning points were found for only a few test specimens of AC 11 D S and AC 16 B S, the strain and strain rate had to be considered for a specific

number of load cycles where no test specimen reached a turning point, to allow a comparison between the results at this number of load cycles.

Again, comparison of the mean values and repeat and comparison precisions of the test specifications, as described above, were used to assess the findings.

Comparison of mean values among the equipment manufactures with respect to the strain rate at the end of the test showed no significant difference, except for SMA 8 S (Table 3). Again it must be assumed that the manufacturers of the roller compactors have no influence on the outcome of the Cyclic compression tests with no confinement. Examination of the comparisons of mean values among the testing laboratories with minimum and maximum bulk densities indicated significant differences, except for SMA 8 S.

Repeatability and reproducibility, respectively, are observed with the three asphalt variants, the exception being AC 16 B S. This also applies to the comparison of testing laboratories with minimum and maximum bulk densities. For AC 16 B S, by far the highest standard deviation and the greatest range in bulk density were determined. The strain rates differed from each other in this case. Comparison of the minimum and maximum strain

	SMA 8 S		AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – type SMA	
	bulk density	strain rate	bulk density	strain rate	bulk density	strain rate	bulk density	strain rate
	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n
Mean value	2.372	8.4	2.371	18.4	2.355	27.5	2.429	4.3
Standard deviation	0.003	1.5	0.007	4.7	0.022	12.6	0.007	0.7
Range	0.009	4.3	0.028	16.3	0.075	44.8	0.021	2.1
Significant difference among equipment manufacturers?	no	yes	no	no	no	no	no	no
Significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Met repeatability?		yes		yes		no		yes
Met reproducibility?		yes		yes		no		yes
Met repeatability? (comparison of minimum and maximum bulk densities)		yes		yes		no		yes
Met reproducibility? (comparison of minimum and maximum bulk densities)		yes		yes		no		yes
Met repeatability? (comparison of minimum and maximum strain rate)		no		no		no		no
Met reproducibility? (comparison of minimum and maximum strain rate)		no		no		no		yes

Tab. 3: List of results and statistical evaluation of strain rates in the Cyclic compression test with no confinement for all asphalt variants and for eleven and twelve test agencies, respectively

rates shows that they are not observed, except for the comparative precision with AC 22 B S – type SMA.

Cyclic Indirect Tensile Test (CITT)

No reference to precision taken from technical specifications is available to assess the Cyclic Indirect Tensile Test. The results can be assessed only through statistical evaluations or sensitivity analyses.

The characteristics determined in this test are the initial elastic strain, the number of load cycles N_{macro} , and the stiffness modulus calculated by way of the initial elastic strain.

Evaluation of the tests via the number of load cycles N_{macro} turns out to be difficult because usually experiments with two additional stresses are conducted to determine a fatigue function. In this way, a fatigue function is found which is based on nine individual values, thus “damping” variation of the individual numbers. However, within this project, only one point in the fatigue function was determined at a medium stress level with three individual values, which makes any

evaluation of variance in the number of load cycles, N_{macro} , meaningless because this characteristic is known from experience to respond very sensitively.

The initial elastic strain determined and the associated stiffness modulus are more suitable for a classification of findings and for that reason are the basis of this evaluation.

Comparison of mean values among equipment manufacturers shows a significant difference with respect to strain only for AC 32 T S, the stiffness modulus only for SMA 8 S (Table 4). On the basis of the findings it can be stated that equipment manufacturers also in this test have no influence on the results of the CITT. On the other hand, verification among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities of the test specimens shows a less uniform pattern. For the bulk density, significant differences occur in all variants; for the characteristics in the CITT, a few significant, but mostly non-significant, differences were determined. As a consequence, it must be assumed that the test specimens made out of the asphalt slabs of various testing laboratories furnish the same results.

	SMA 8 S			AC 16 B S (high void content)			AC 32 T S		
	bulk density	strain	stiffness modulus	bulk density	strain	stiffness modulus	bulk density	strain	stiffness modulus
	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	MPa
Mean value	2.37	0.113	6.241	2.334	0.107	6.727	2.447	0.074	12.168
Standard deviation	0.005	0.007	348	0.012	0.013	584	0.006	0.005	832
Range	0.016	0.021	1.140	0.042	0.046	2.125	0.02	0.015	2.603
Significant difference among equipment manufacturers?	no	no	yes	no	no	no	no	yes	no
Significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	yes	no	no	yes	no	no	yes	yes	yes
	AC 11 D S			AC 16 B S			AC 22 B S – Type SMA		
	bulk density	strain	stiffness modulus	bulk density	strain	stiffness modulus	bulk density	strain	stiffness modulus
	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	MPa
Mean value	2.372	0.095	7.305	2.353	0.085	8.145	2.427	0.09	9.931
Standard deviation	0.007	0.007	484	0.017	0.007	635	0.005	0.005	590
Range	0.026	0.023	1.772	0.066	0.021	2.269	0.017	0.011	1.401
Significant difference among equipment manufacturers?	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	yes	yes	yes	yes	no	no	yes	no	no

Tab. 4: List of results and statistical evaluation of strain and of the stiffness modulus in the Cyclic Indirect Tensile Test for all asphalt variants and for eleven and twelve test agencies, respectively

Thermal Stress Restrained Specimen test (TSRST)

For the Thermal Stress Restrained Specimen tests, no precision data have as yet been determined for evaluation at this point. There is only one precision which describes the compatibility of single values.

Comparisons of mean values among equipment manufacturers show no significant difference in bulk density of the test specimens, failure temperature, and failure stress for all asphalt variants (Table 5). However, there is one exception, namely the failure temperature for SMA 8 S, where a significant difference was found. Nevertheless, in the light of the accumulated findings it must be assumed that equipment manufacturers have no influence on the performance tests. Comparison of mean values among the testing laboratories with minimum and maximum bulk densities always indicated a significant difference for the bulk density, but not so for the failure temperatures and failure stresses, with one exception.

Another possibility of evaluating failure temperatures, as proposed in the “Arbeitspapier Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche” (german working paper), was the classification of failure temperatures in categories according to the the type of asphalt, into frost impact zones in the “German Regulations for the Standardization of Road Pavements” (RStO 01). With the exception of AC 16 B S, the failure temperatures of the three other asphalt variants are in the same category; so the results can be considered identical with respect to this factor. In AC 16 B S, the maximum range is less than 5 °C (actual: 4.5 °C), which is also less than the range of categories.

As far as failure stress is concerned, there was no significant difference among equipment manufacturers. With the exception of AC 16 B S, this also applies to the comparison with minimum and maximum bulk densities. However, for AC 16 B S, also the largest range in bulk densities was determined to be 0.056 g/cm³, which was clearly above the ranges of the three other variants.

Uniaxial Tension Stress Test (UTST) at -10°C

No precision data are yet available for Uniaxial Tension Stress Tests. However, statistical evaluations show, as determined in the other performance tests, that equipment manufacturers appear to have no influence on the results.

Comparison of mean values among the testing laboratories with minimum and maximum bulk densities and tensile strengths of the test specimens however showed that the results differ significantly (Table 5).

Uniaxial Tension Stress Test before and after immersion in water

The centric tensile tests performed only on SMA 8 S showed no unequivocal trend. Sometimes the tensile strength improved after immersion in

water. The ratio of tensile strengths before and after immersion in water is an average of 97%, i.e. no effect of immersion on tensile strength can be found, which could be due to the high bulk density of the test specimens.

Comparisons of mean values among equipment manufacturers with respect to maximum forces and ratios of tensile strengths did not indicate any significant differences. However, there were significant differences in bulk densities.

Conclusions

The bulk densities of the asphalt slabs manufactured out of the asphalt variants SMA 8 S, AC 16 B S (high void content), AC 11 D S, and AC 22 B S – type SMA, must be considered identical as they exhibit, e.g., a maximum range of only 0.024 g/cm³ for eleven and twelve testing

	SMA 8 S			AC 11 D S			AC 16 B S			AC 22 B S – type SMA		
	bulk density	failure temperature	failure stress	bulk density	failure temperature	failure stress	bulk density	failure temperature	failure stress	bulk density	failure temperature	failure stress
	g/cm ³	°C	MPa	g/cm ³	°C	MPa	g/cm ³	°C	MPa	g/cm ³	°C	MPa
Mean value	2.372	-22.2	4.676	2.372	-23.3	4.911	2.358	-21.4	3.566	2.429	-29.3	3.736
Standard deviation	0.004	0.9	0.201	0.006	0.7	0.23	0.015	1.6	0.374	0.006	2.4	0.239
Range	0.011	2.5	0.58	0.018	2.2	0.076	0.056	4.5	1.123	0.021	6.7	0.759
significant difference among equipment manufacturers?	no	yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	yes	no	no	yes	no	no	yes	no	yes	yes	no	no
failure temperature in one category? II (≤ -20 °C) III (≤ -25 °C)		yes (II)			yes (II)			no			yes (II)	

Tab. 5: List of results and statistical evaluation of failure temperature and failure stress in the Thermal Stress Restrained Specimen test for all asphalt variants and for eleven and twelve test agencies, respectively

	AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – type SMA	
	bulk density	tensile strength	bulk density	tensile strength	bulk density	tensile strength
	g/cm ³	MPa	g/cm ³	MPa	g/cm ³	MPa
Mean value	2.374	5.468	2.362	3.89	2.43	5.352
Standard deviation	0.01	0.346	0.014	0.491	0.007	0.457
Range	0.034	0.995	0.047	1.656	0.021	1.553
Significant difference among equipment manufacturers?	no	no	yes	no	no	no
Significant difference among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities?	yes	yes	yes	yes	yes	yes

Tab. 6: List of results and statistical evaluation in the Uniaxial Tension Stress Tests at -10 °C of all asphalt variants and for eleven and twelve test agencies, respectively

laboratories, respectively. Higher ranges were found only for AC 32 T S and AC 16 B S which however are still within the critical range for eleven and twelve Marshall specimens, respectively, according to German test specifications, Part 6. Statistical evaluations indicated no significant difference in bulk densities among equipment manufacturers. On the other hand, comparisons of mean values among testing laboratories with minimum and maximum bulk densities did show significant differences.

The results of the wheel tracking tests, Cyclic compression test with no confinement and Uniaxial Tension Stress Test showed the asphalt slabs to have similar bulk densities which, however, does not necessarily result in compatible findings in the test. This means that the asphalt slabs made by roller compactor of various testing laboratories do not allow comparable results to be obtained for these tests.

Statistical evaluation of the Cyclic Indirect Tensile Tests showed the test specimens of the asphalt slabs from various testing laboratories to furnish mostly the same results in terms of strain and stiffness modulus.

In the Thermal Stress Restrained Specimen tests statistical evaluation, with one exception of failure stress in AC 16 B S, showed that the failure temperature and failure stress do not differ significantly. It was also seen that the determined failure temperatures respond to the different test specimens relatively insensitively. Thus, for instance, it must be assumed that the failure temperatures determined are classified in the same category of evaluation of low-temperature properties despite minor differences. Statistical evaluations for the failure stresses show the same result.

No correlations with bulk density were found for any of the characteristics of the performance tests. Consequently, the magnitude of the test results cannot be attributed to different levels of bulk densities of the test specimens.

Whether this variance of test results is due to the test procedure as such or due to properties of the test specimens other than bulk density could not be determined by the system of investigations used here. If the variation is not due to the test method but to the asphalt slabs, bulk density does not appear to be an adequate characteristic to describe

the uniformity/ homogeneity of asphalt slabs made by the roller compactor for performance tests. For this purpose new procedures (e.g. determination of aggregate orientation) would have to be developed and used.

Manufacturing test specimens for performance tests out of asphalt slabs manufactured by roller compactor seems to be the right method as proved by the accumulated characteristics (bulk density etc.), their appearance and the findings obtained in the process audit.

As the bulk densities of the asphalt slabs differ only slightly, as was to be expected from the process audit, while there are differences in selected performance studies, it must be assumed that the variation in these performance tests is mainly due to the sensitivity of the tests.

The results obtained show that it is quite possible to manufacture asphalt slabs with approximately identical and compatible bulk densities by means of different roller compactors and in different testing laboratories.

One possibility of monitoring the production of asphalt slabs certainly is data recording during manufacture. As described above, this would allow errors in compaction management to be detected which may not have any impact on bulk density, but could have an impact on the results of the performance test. Consequently, it is recommended that each roller compactor has to be equipped with a data recording system for quality assurance, and that the record so produced is inspected whenever asphalt slab is manufactured to ensure that at least no faulty asphalt slabs, or slabs manufactured in different ways, are used for performance tests. This would exclude one potential source of error.

Inhalt

1	Einführung in das Forschungsthema	15	3	Untersuchungsergebnisse Audit und 1. Untersuchungs- schritt	22
1.1	Aufgabenstellung und Stand der Wissenschaft	15	3.1	Verfahrens-Audit	22
1.2	Forschungsziel	16	3.1.1	Anlass und Vorgehen	22
2	Vorgehensweise und Untersuchungen	16	3.1.2	Erkenntnisse des Verfahrens-Audits ...	23
2.1	Vorgehensweise	16	3.1.3	Untersuchungsergebnisse der Asphalt-Probepplatten	23
2.2	Vorbereitung der Untersuchungen	17	3.1.4	Analyse und Arbeitsanleitung	25
2.2.1	Auswahl der Prüfstellen	17	3.2	Untersuchungen im Nullzustand	25
2.2.2	Auswahl des Asphalt- mischgutes	17	3.2.1	Untersuchungsgegenstand SMA 8 S	25
2.2.3	Herstellung des Asphalt- mischgutes	18	3.2.2	Untersuchungsgegenstand AC 16 B S	27
2.2.4	Eigenschaften des Asphalt- mischgutes	18	3.2.3	Untersuchungsgegenstand AC 32 T S	29
2.3	Herstellung und Untersuchung der Asphalt-Probepplatten	18	3.2.4	Erkenntnisse und Folgerungen	33
2.3.1	Herstellung der Asphalt- Probepplatten	18	4	Untersuchungsergebnisse der Performance-Prüfungen	33
2.3.2	Bestimmung der Raumdichte	19	4.1	Splittmastixasphalt SMA 8 S	34
2.3.3	Raumdichte- und Dickenverteilung	19	4.1.1	Asphalt-Probepplatten	34
2.4	Prüfung der Gebrauchs- eigenschaften	19	4.1.2	Performance-Prüfungen	35
2.4.1	Herstellung der Probekörper	19	4.2	Asphaltbinder AC 16 B S (hohlraumreich)	40
2.4.2	Druck-Schwellversuch	19	4.2.1	Asphalt-Probepplatten	40
2.4.3	Spaltzug-Schwellversuch	20	4.2.2	Performance-Prüfungen	40
2.4.4	Spurbildungsversuch	20	4.3	Asphalttragschicht AC 32 T S	43
2.4.5	Zentrischer Zugversuch	21	4.3.1	Asphalt-Probepplatten	43
2.4.6	Abkühl- und Zugversuch	21	4.3.2	Performance-Prüfungen	44
2.5	Verfahren zur stochastischen Analyse	22	4.4	Asphaltbetondeckschicht AC 11 D S	45
			4.4.1	Asphalt-Probepplatten	45
			4.4.2	Performance-Prüfungen	45

4.5	Asphaltbinder AC 16 B S	49
4.5.1	Asphalt-Probepplatten	49
4.5.2	Performance-Prüfungen	49
4.6	Asphaltbinder AC 22 B S – Typ SMA	54
4.6.1	Asphalt-Probepplatten	54
4.6.2	Performance-Prüfungen	54
5	Zusammenstellung der Unter- suchungsergebnisse und Schlussfolgerungen	59
6	Zusammenfassung und Ausblick.	66
6.1	Zusammenfassung	66
6.2	Ausblick	68
7	Literatur	69

Anlagen

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen
BAST-Archiv ELBA unter:

<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar

1 Einführung in das Forschungsthema

1.1 Aufgabenstellung und Stand der Wissenschaft

In Deutschland werden die Probekörper zur Untersuchung der Gebrauchseigenschaften von Asphalt überwiegend mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV-Gerät) nach TP Asphalt-StB, Teil 33 [1] hergestellt.

Die Entwicklung des WSV-Gerätes erfolgte in den 1990er Jahren im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben an der TU Braunschweig mit dem Ziel Asphalt-Probekörper bzw. -Probekörper im Laboratorium herzustellen, die gleiche mechanische Eigenschaften aufweisen wie feldverdichtete Asphalte [2]. Unter Variation der verschiedenen Herstellungsparameter wie Größe der Belastung und Anzahl der last- und/oder weggeregelten Walzübergänge, Herstellungstemperatur, Walzsektor-Geschwindigkeit und Pausenzeiten wurden diese optimiert. Die Herstellung der Asphalt-Probekörper erfolgte an Deckschicht-Mischgut aus Asphaltbeton AB 0/8, AB 0/11 N und AB 0/11 S. Der Vergleich der mechanischen Eigenschaften von in situ verdichteten Asphalten und den im Labor hergestellten Asphalt-Probekörpern zeigte im Rahmen dieses Forschungsprojektes, dass die Asphalt-Probekörper praxisadäquate mechanische Eigenschaften aufweisen. Zur Ermittlung dieser wurden der Spurbildungsversuch sowie Untersuchungen zur Rissresistenz (Abkühl- und Zugversuche) bei tiefen Temperaturen herangezogen.

Praktische Erfahrungen bei der Prüfung von Gebrauchseigenschaften, auch im Rahmen von For-

schungsprojekten, haben gezeigt, dass die verschiedenen in Deutschland eingesetzten WSV-Geräte trotz Anwendung des gleichen Verdichtungsmanagements zu erheblichen Abweichungen der erreichten Raumdichten und somit der Hohlraumgehalte/Verdichtungsgrade der zugrundeliegenden Probekörper führen können. Bisher gab es in Deutschland keine gezielten Untersuchungen durch welche die Unterschiede hätten quantifiziert werden können. Es wurde davon ausgegangen, dass die Geräte, die von einem Hersteller sowie von verschiedenen Herstellern geliefert wurden, grundsätzlich identisch sind und diese Annahme keiner Überprüfung bedarf. Des Weiteren ging man davon aus, dass die ehemalige Arbeitsanleitung bzw. die neu veröffentlichte Technische Prüfvorschrift die Vorbereitung des Mischgutes, den Einfüll- und Verdichtungsprozess so ausführlich und in so engen Grenzen beschreibt, dass in verschiedenen Prüfstellen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können [3].

Das in der TP Asphalt-StB [1] vorgegebene, in umfangreichen Untersuchungen ermittelte [4] Verdichtungsmanagement wurde in einzelnen Labors gelegentlich auch durch ein vermeintlich praktikableres, aber nicht vergleichbares weggeregeltes Verdichtungssystem ersetzt oder die Anwendung einer „Variation“ der Übergänge/Lasten wie im Anhang 1 der TP Asphalt-StB beschrieben nicht konsequent oder einheitlich umgesetzt.

Das Problem ist insofern von grundlegender Bedeutung, weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Herstellung der Probekörper aus Asphalt-Probekörpern, die mit verschiedenen Walzsektor-Verdichtungsgeräten oder angewendeten Verdichtungsregimen verdichtet wurden, zu diesbezüg-

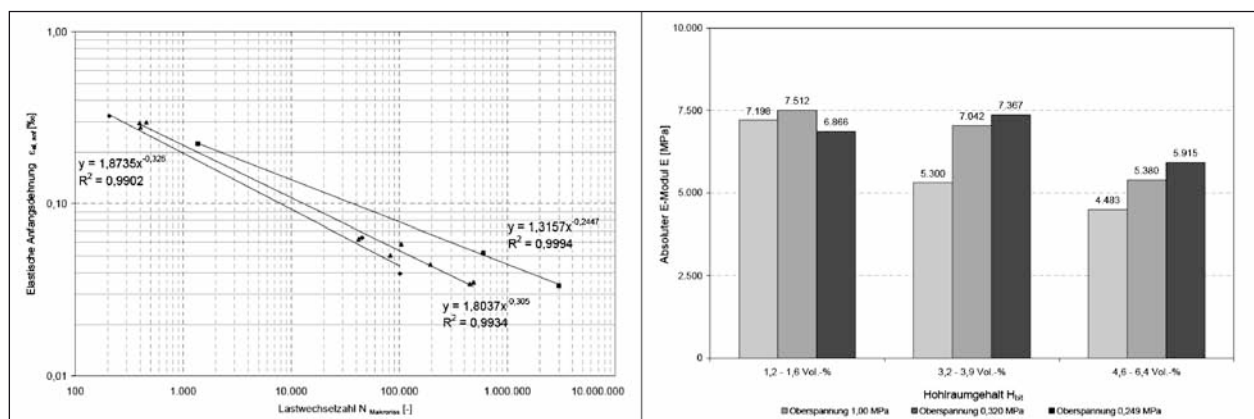


Bild 1: Einfluss des Hohlraumgehaltes auf das Ermüdungsverhalten (links) und den Absoluten E-Modul (rechts) am Beispiel eines SMA für drei verschiedene Hohlraumgehalts-Bereiche [5]

lichen unterschiedlichen Ergebnissen für die Gebrauchseigenschaften führt.

So konnte bei Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes [5] u. a. der große Einfluss des Hohlraumgehaltes auf Ermüdungsfunktionen sowie den Absoluten E-Modul gezeigt werden (Bild 1).

Beim Druck-Schwellversuch wurden die Auswirkungen ebenso erkannt [6], und bereits in der entsprechenden TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 in einer Anmerkung der Einschränkung der Raumdichte berücksichtigt [7]. Analogien hierzu, die auf herstellungsbedingte Unterschiede der Asphalt-Probeplatten im WSV zurückgeführt werden, konnten beim Spurbildungsversuch festgestellt werden [3].

1.2 Forschungsziel

Für das Verdichtungsverfahren mit dem WSV ergaben sich folgende offene Fragen, die in Rahmen dieses Forschungsprojektes zu klären waren:

- Gibt es Unterschiede im Verfahren zwischen verschiedenen Geräteherstellern und Geräten eines Herstellers, sind diese relevant und wie können diese ggf. beseitigt werden?
- Ist die TP Asphalt-StB, Teil 33 ausreichend präzise formuliert und wird das Verfahren in den Prüfstellen richtig umgesetzt?
- Ergeben sich in den Performance-Prüfungen unterschiedliche Ergebnisse aufgrund der Herstellung der Probekörper mit verschiedenen

WSV-Geräten bei gleichem Verdichtungsmanagement?

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

2 Vorgehensweise und Untersuchungen

2.1 Vorgehensweise

In 12 teilnehmenden Prüfstellen wurden mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät an zunächst drei verschiedenen Asphaltvarianten jeweils drei Asphalt-Probeplatten mit gleichem Standard-Verdichtungsmanagement hergestellt (Nullzustand). Ein vorab durch das Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) des Karlsruher Institutes für Technologie durchgeführtes Verfahrens-Audit in den Prüfstellen gewährte dort eine einheitliche Vorgehensweise bei der Herstellung von Asphalt-Probeplatten mit dem WSV-Gerät. Anschließend wurden am ISE an allen hergestellten Asphalt-Probeplatten verschiedene relevante Merkmale nach TP Asphalt-StB, Teil 33 (Raumdichte, Dicken- und Raumdichteverteilung) bestimmt, sodass sich die Besonderheiten jedes Gerätes und Labors ermitteln ließen (Nullzustand). Nach Auswertung und Analyse dieser Ergebnisse wurden in einem weite-

Prüfstellennummer	Hersteller WSV-Gerät	Baujahr	Abmessungen der Verdichtungsform [mm]	Datenaufzeichnung	Gerät kalibriert
1	Freundl	1997	320 x 260 x 120	ja	2011
2	Freundl	1998	320 x 260 x 120	ja	nein
3	infraTest	2008	320 x 261 x 239	ja	nein
4	Freundl	1997	320 x 260 x 120	ja	2003
5	infraTest	2009	320 x 260 x 120	ja	2010
6	infraTest	2010	320 x 260 x 120	ja	2010
7	Freundl	2000	320 x 260 x 120	ja	2011
8	infraTest	1997	410 x 260 x 120	ja	2010
9	Freundl	2000	320 x 260 x 145	nein	nein
10	infraTest	2000	313 x 251 x 95 (Innenmaße)	nein	nein
11	infraTest	2007	320 x 260 x 120	ja	nein
12	Freundl	2000	320 x 260 x 120	nein	2011

Tab. 1: Übersicht über die Kenndaten (Hersteller, Baujahr, Abmessungen, Datenaufzeichnung) der WSV-Geräte

ren Schritt entsprechend einer Untersuchungsmatrix in den Prüfstellen zunächst an drei Asphaltvarianten SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich) und AC 32 T S (1. Untersuchungsschritt) sowie im 2. Untersuchungsschritt jeweils aus einem AC 11 D S, AC 16 B S und AC 22 B S – Typ SMA weitere Asphalt-Probepplatten hergestellt. Aus diesen Asphalt-Probepplatten wurden wiederum am ISE Probekörper gewonnen und Untersuchungen zum Ermüdungs- und Verformungsverhalten, zum Kälteverhalten sowie zur Wasserempfindlichkeit durchgeführt, um die Auswirkungen der Probekörperherstellung bzw. der Raumdichte auf diese Eigenschaften zu ermitteln.

2.2 Vorbereitung der Untersuchungen

2.2.1 Auswahl der Prüfstellen

Um die Untersuchungen auf eine breite Basis bezüglich der WSV-Geräte zu stellen, wurden jeweils sechs Geräte unterschiedlicher Baureihen der Fa. Freundl, Wennigsen und sechs der Fa. infraTest, Brackenheim ausgewählt.

Eine Übersicht über die Kenndaten der 12 WSV-Geräte zeigt Tabelle 1. Um eine korrekte Funktionsweise der Geräte zu gewährleisten, wurden die Prüfstellen vor Beginn der Untersuchungen gebeten, die Geräte vom Hersteller bezüglich Kraft, Weg und Temperatur kalibrieren zu lassen, was auch überwiegend erfolgte.

Die folgenden 12 Prüfstellen erklärten sich bereit an den Untersuchungen teilzunehmen:

- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (Forschungsnehmer),
- TU München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung,
- RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen,
- TU Darmstadt, Fachgebiet Straßenwesen,
- TU Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau,
- Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach,
- Aalener Baustoffprüfungsinstitut,
- asphalt labor, NL Schwerin,
- Bayerische Asphalt-Mischwerke, Hofolding,

- BP, Gelsenkirchen,
- Heiden Labor, Roggentin,
- iFB Gauer, Regenstauf.

Das Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen bedankt sich bei allen Prüfstellen für ihre hervorragende Unterstützung im Rahmen dieses Projektes.

2.2.2 Auswahl des Asphaltmischgutes

Langjährige eigene Erfahrungen zeigen, dass das Verdichtungsmanagement für verschiedene Asphalte (Arten, Sorten und Bitumen) unterschiedlich gut funktioniert, um einen anvisierten Verdichtungsgrad von 100 % bezogen auf die Marshall-Raumdichte zu erhalten. Daher wurden sechs unterschiedliche Asphaltvarianten (Arten und Sorten) für die Untersuchungen vorgesehen:

- Asphaltbetondeckschicht: AC 11 D S mit 25/55-55 A,
- Splittmastixasphalt: SMA 8 S mit 25/55-55 A,
- zwei Asphaltbinder: AC 16 B S mit 25/55-55 A,
- Asphaltbinder: AC 22 B S – Typ SMA mit 25/55-55 A,
- Asphalttragschicht: AC 32 T S mit 50/70.

Eine zusätzliche Variation der Zusammensetzung bezüglich der Korngrößenverteilung und der Bitumenmenge der einzelnen Varianten war im Rahmen dieses Forschungsvorhabens aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich.

Die Dicke der Asphalt-Probepplatten spielt erfahrungsgemäß eine Rolle bei der Verdichtung im WSV-Gerät. Durch die Auswahl der o. g. Varianten ergeben sich aufgrund des unterschiedlichen Größtkorns für die Untersuchungen der Gebrauchseigenschaften verschiedene Dicken der Asphalt-Probepplatten, sodass dieser Parameter Berücksichtigung fand und dessen Einfluss untersucht werden konnte.

Zur Herstellung der Asphalt-Probepplatten im Rahmen des Verfahrens-Audits (siehe Kapitel 3.1) wurde der SMA 8 S verwendet. Für den Untersuchungsschritt „Nullzustand“ (siehe Kapitel 3.2) wurden der Splittmastixasphalt SMA 8 S, der Asphaltbinder AC 16 B S (hohlraumreich) und die Asphalttragschicht AC 32 T S ausgewählt. Für die Performance-Untersuchungen wurden Asphalt-Probepplatten bzw. Probekörper an diesen drei Asphaltvarian-

ten sowie den Asphalt-Probepplatten aus AC 11 D S, AC 16 B S und AC 22 B S – Typ SMA verwendet.

2.2.3 Herstellung des Asphaltmischgutes

Die Herstellung des Mischgutes erfolgte aufgrund der großen benötigten Mengen in einem Asphaltmischwerk.

Die Probenahme wurde bei allen Mischgutsorten auf die gleiche Weise durchgeführt, um eine möglichst hohe Homogenität der Proben zu gewährleisten. Dazu wurde das Mischgut im Mischwerk nach dem Mischen ausgebreitet und in eine bestimmte Anzahl von Feldern unterteilt, die sich an der Anzahl der benötigten Einzelproben pro Prüfstation orientierte. In jedem dieser Felder wurde dann für jede Prüfstation jeweils Mischgut entnommen und in einen vorher beschrifteten Bleicheimer gefüllt.

2.2.4 Eigenschaften des Asphaltmischgutes

Die Ergebnisse aller Mischgutuntersuchungen am ISE sind der Anlage 1 zu entnehmen.

Die Korngrößenverteilung sowie Bindemittelgehalt und Bindemittleigenschaften des Splittmastix-Asphaltes zeigen keine Auffälligkeiten, wobei anzumerken ist, dass der Bindemittelgehalt um 0,2 M.-% höher liegt als in der Erstprüfung angegeben. Der Asphaltbinder weist einen um 0,3 M.-% geringeren Bindemittelgehalt auf, als in der Erstprüfung vorgesehen. Allerdings liegt die Unterschreitung noch innerhalb der von der ZTV Asphalt-StB vorgeschriebenen Toleranz von $\pm 0,5$ M.-%. Der Erweichungspunkt Ring und Kugel von 69,2 °C liegt etwas erhöht, aber noch unter dem zulässigen oberen Grenzwert nach ZTV Asphalt-StB von 71,0 °C für die Bitumensorte 25/55-55 A. Die Untersuchung des Asphalttragschichtmischgutes zeigt keine Auffälligkeiten, die Korngrößenverteilung sowie die Bindemittleigenschaften entsprechen den Vorgaben der Erstprüfung.

Die Bestimmung der Hohlraumgehalte des Asphaltmischgutes ergab, dass die Hohlraumgehalte am Marshall-Probekörper (MPK) des Splittmastix-Asphaltes sowie der Asphalttragschicht vergleichsweise niedrig lagen, wohingegen am Asphaltbinder ein höherer Hohlraumgehalt festgestellt wurde.

Aufgrund des vergleichsweise hohen Hohlraumgehaltes des AC 16 B S wurde zusätzlich ein

weiterer Asphaltbinder AC 16 B S mit einem niedrigeren Hohlraumgehalt in die Untersuchungen mit einbezogen; dieser weist einen Hohlraumgehalt am MPK von 4,6 Vol.-% auf. Die weiteren ermittelten Kenngrößen bezgl. der Zusammensetzung zeigten keine Auffälligkeiten. Dies gilt auch für den AC 11 D S und den AC 22 B S – Typ SMA.

2.3 Herstellung und Untersuchung der Asphalt-Probepplatten

2.3.1 Herstellung der Asphalt-Probepplatten

Die Herstellung der Asphalt-Probepplatten erfolgte nach den Vorgaben der TP Asphalt-StB, Teil 33. Die Vorverdichtung entsprechend als:

- Vorbelastung: Aufbringen einer Anzahl weggeregelter Walzübergänge mit einer Wegzunahme bzw. Höhenabnahme von 0,5 mm je Übergang bis eine Höchstlast von 2,6 kN erreicht wird,
- Halten: fünf Walzübergänge bei unverändertem Weg bzw. konstanter Plattendicke,
- Entlasten: Aufbringen einer Anzahl weggeregelter Walzverdichtungsübergänge bei Abnahme des Weges um 0,5 mm je Walzübergang bis die Last vollständig entfernt worden ist.

Bei der Hauptverdichtung wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Glätten: 15 lastgeregelter Walzübergänge bei einer Last von 0,52 kN,
- Verdichten: 15 lastgeregelter Walzübergänge bei Erhöhung der Belastung in gleichmäßigen Stufen bis zum Erreichen einer Höchstlast von 19,5 kN,
- Entlasten: 15 lastgeregelter Walzübergänge bei Reduzierung der Belastung in gleichmäßigen Stufen, bis die Belastung vollständig entfernt worden ist.

Das Beispiel in Bild 2 zeigt eine aufgezeichnete Verdichtungsfunktion während der Herstellung von Asphalt-Probepplatten. Dabei wurden die Walzübergänge, die Kraft und die Plattenhöhe aufgezeichnet. Es sind deutlich die beiden Verdichtungs Vorgänge „Vorverdichtung“ und „Hauptverdichtung“ zu erkennen.

2.3.2 Bestimmung der Raumdichte

Die Bestimmung der Raumdichte erfolgte an der ganzen Asphalt-Probepatte sowie an allen Probekörpern nach TP Asphalt-StB, Teil 6 [8], Verfahren B. Das für Asphalttragschichten vorgesehene Verfahren D der TP Asphalt-StB wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht eingesetzt.

2.3.3 Raumdichte- und Dickenverteilung

Für die Überprüfung des Verdichtungserfolges bei der Herstellung der Asphalt-Probepatten wurde nach TP Asphalt-StB, Teil 33 [1] die Spannweite für

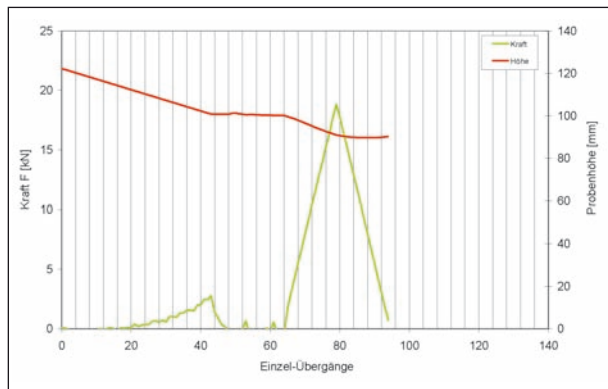


Bild 2: Verdichtungsfunktion (Walzübergänge, Kraft und Plattenhöhe) bei der Asphalt-Probepatten Herstellung im WSV-Gerät

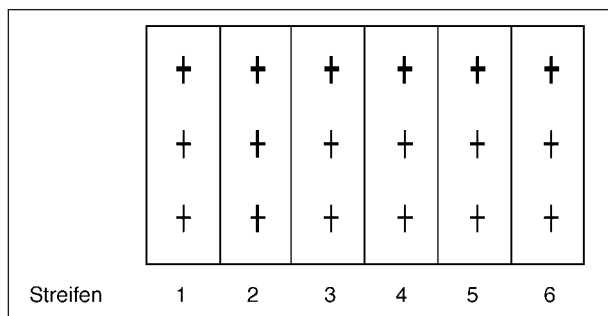


Bild 3: Schnitt- und Messschema für Dicken- und Dichtebestimmung von prismatischen Probekörpern [8]

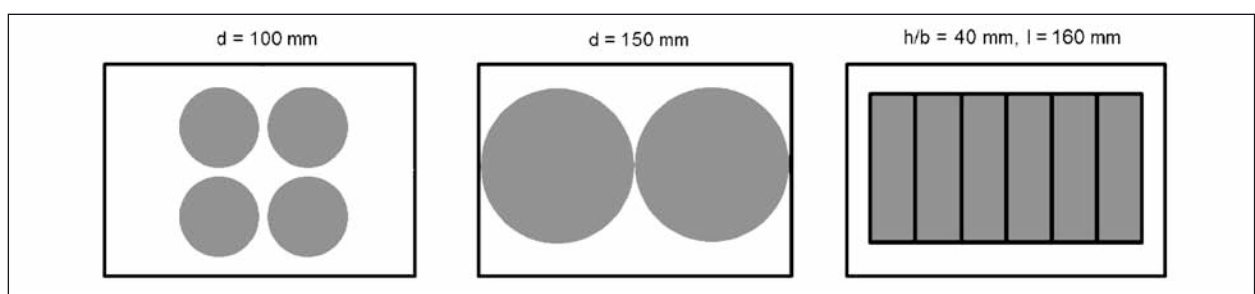


Bild 4: Bohr- bzw. Sägeplan für die Herstellung der zylindrischen und prismatischen Probekörper aus den Asphalt-Probepatten für die Performance-Untersuchungen

die Plattendicke sowie die Raumdichte herangezogen.

Hierfür wurde die Asphalt-Probepatte in sechs senkrecht zur Walzrichtung gesägte prismatische Probekörper gesägt. Die Bestimmung der Raumdichteverteilung erfolgte an allen sechs Probekörpern nach TP Asphalt-StB, Teil 6 [8]. Die Verteilung der Raumdichten darf hierbei einen Variationskoeffizienten von $v = 0,5 \%$ nicht übersteigen.

Die Dickenverteilung wurde durch Messung in den Viertelpunkten der Längsachse (in Bild 3 als Kreuze gekennzeichnet) der sechs Probekörper ermittelt. Der berechnete Variationskoeffizient darf einen Wert von $v = 2,5 \%$ nicht übersteigen.

2.4 Prüfung der Gebrauchseigenschaften

2.4.1 Herstellung der Probekörper

Die Probekörper wurden entsprechend den Vorgaben und Regelwerken der jeweiligen Performance-Prüfungen ausgebohrt bzw. -gesägt. Die zylindrischen Probekörper wurden mit Durchmessern von 100 bzw. 150 mm mittels einer Bohrkronen aus den Asphalt-Probepatten ausgebohrt. Die zylindrischen Probekörper wurden mit einer Säge auf die benötigten Höhen gesägt (Bild 4).

Die Probekörper für die Durchführung des Druck-Schwellversuches wurden zusätzlich noch an der Ober- und Unterseite orthogonal planparallel geschliffen.

2.4.2 Druck-Schwellversuch

Die Bestimmung der Verformungsbeständigkeit erfolgte mit dem einaxialen Druck-Schwellversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1 [7] (Bild 5). Im Druck-Schwellversuch wird ein zylindrischer Probe-

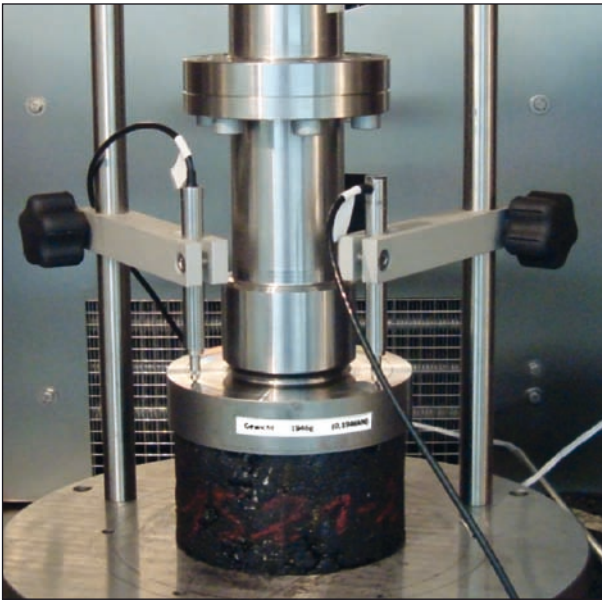


Bild 5: Prüfvorrichtung mit eingebautem Probekörper für den Druck-Schwellversuch

körper bei einer Temperatur von $+50\text{ °C}$ einer auf der Grundfläche des Probekörpers gleichmäßig verteilten haversine-impulsförmigen Druckschwellbelastung mit Lastpausen ausgesetzt. Während des Versuches werden für jeden Belastungszyklus die sich am Probekörper einstellenden axialen Verformungen aufgezeichnet. Die Kenngröße zur Bewertung des Verformungswiderstandes ist die Dehnungsrate im Wendepunkt bzw. bei Versuchsende, sowie die Dehnung und die Anzahl der Belastungszyklen.

2.4.3 Spaltzug-Schwellversuch

Die Prüfung des Ermüdungsverhaltens der Asphaltvarianten wurde mit dem Spaltzug-Schwellversuch nach der Arbeitsanleitung „Prüfverfahren für die Dimensionierung – Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens“ [9] durchgeführt. Im Spaltzug-Schwellversuch wird ein auf der Mantelfläche liegender zylindrischer Probekörper bei einer konstanten Temperatur über Lastverteilungstreifen sinusförmig beansprucht (Bild 6). Bei der Versuchsdurchführung werden die aufgebrachte Kraft sowie die horizontale Verformung des Probekörpers erfasst. Als Kenngröße des Versuchs dient die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Risskriterium. Mit diesem Verfahren lässt sich die Lastwechselzahl bis zur Entstehung eines Makrorisses ermitteln. Dabei wird die dissipierte Energie, die „Energy Ratio“, eines jeden Lastwechsels aus dem Produkt aus jeweiligem Lastwechsel und E-Modul berechnet.



Bild 6: Prüfvorrichtung mit eingebautem Probekörper für den Spaltzug-Schwellversuch

Die Prüfung des Ermüdungsverhaltens erfolgte im Rahmen dieses Projektes an drei Probekörpern bei einer einheitlichen Oberspannung, einer Frequenz von 10 Hz und einer Prüftemperatur von $+20\text{ °C}$. Die Oberspannung wird über den Vorversuch gemäß AL Sp-Asphalt 09 [9] so ausgewählt, dass sich eine anfängliche elastische Dehnung $\epsilon_{el,anf}$ im mittleren Untersuchungsbereich ergibt. Für den Vorversuch wurde ein Probekörper ausgewählt dessen Raumdichte am nächsten zum Mittelwert aller Raumdichten der Probekörper lag.

2.4.4 Spurbildungsversuch

Die Bestimmung der Verformungsbeständigkeit erfolgte ebenso mittels des Spurbildungsversuches nach TP Asphalt-StB, Teil 22 [10]. Beim Spurbildungsversuch werden zwei Probekörper gleichzeitig durch jeweils ein hin und her rollendes Prüfrad wiederholt belastet. Die Prüfung erfolgt in einem Luftbad bei $+60\text{ °C}$. Als Ergebnis dient der Mittelwert aus den zwei Einzelwerten. Ermittelt werden die absolute Spurrinnentiefe RD_{Luft} , die auf die Dicke der Asphalt-Probekörper bezogene proportionale Spurrinnentiefe PRD_{Luft} und die Spurbildungsrate WTS_{Luft} als die auf 1.000 Zyklen bezogene Veränderung der Spurrinnentiefe im Versuchsablauf zwischen 5.000 und 10.000 Zyklen.

2.4.5 Zentrischer Zugversuch

Mit dem zentrischen Zugversuch [11] erfolgte die Ansprache der Hafteigenschaften zwischen Bitumen und Gestein bei Vorhandensein von Wasser. Der Versuch wird an prismatischen Probekörpern ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$), die aus Asphalt-Probepplatten ausgesägt wurden, durchgeführt. Die Probekörper werden zwischen zwei Adapter geklebt (Bild 7).

Vor der Durchführung wird eine Hälfte der Probekörper trocken bei Raumtemperatur gelagert, während die andere Hälfte der Probekörper mit Wasser gesättigt bei einer Temperatur von 40 °C lagert. Anschließend werden die sechs Prismen bis zum Versagen mit einer bestimmten Zuggeschwindigkeit beansprucht. Abweichend zu den Versuchsbedingungen im o. g. Forschungsprojekt erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 12697-46 [12] die Durchführung bei einer Versuchstemperatur von 5 °C und einer Zuggeschwindigkeit von 1 mm/min .

Als Kenngröße wird die Zugfestigkeit nach folgender Formel bestimmt:

$$\beta_Z = \frac{F}{A} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

mit

β_Z Zugfestigkeit [N/mm²]

F Höchstkraft [N]

A Querschnittsoberfläche des Probekörpers [mm²]

Der Verhältniswert der Zugfestigkeiten vor und nach Wasserlagerung lässt sich dann über die folgende Formel ermitteln [11]:

$$\beta_{Z,R} = \frac{\beta_{Z,n}}{\beta_{Z,tr}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

$\beta_{Z,R}$ Verhältnis der Zugfestigkeiten [%]

$\beta_{Z,n}$ durchschnittliche direkte Zugfestigkeit der nassen Probekörpergruppe [kPa]

$\beta_{Z,tr}$ durchschnittliche direkte Zugfestigkeit der trockenen Probekörpergruppe [kPa]

2.4.6 Abkühl- und Zugversuch

Zur Bestimmung der Kälteflexibilität wurde der Abkühlversuch nach der Technischen Prüfvorschrift „Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen“ [13] durchgeführt. Beim Abkühlversuchen wird die

Länge des zwischen die Aufnahmeadapter geklebten prismatischen Probekörpers von 160 mm in der Prüfmaschine mithilfe einer temperaturunabhängigen Längenmessung und einem erforderlichenfalls eingreifenden Schrittmotor konstant gehalten und die Temperatur kontinuierlich mit einer Abkühlrate von $\dot{T} = 10,0 \text{ K/h}$ abgesenkt (Bild 7). Die sich bei Abkühlung infolge des behinderten Schrumpfes aufbauenden Zugspannungen im Asphaltprobekörper werden zeitabhängig registriert. Erreichen diese kryogenen Spannungen die ebenfalls temperaturabhängige Zugfestigkeit des Asphalts, so reißt der Probekörper und der Versuch ist beendet. Als materialspezifische Kenngrößen liefert der Abkühlversuch die Bruchtemperatur sowie die zugehörige Bruchspannung.

Die Durchführung des Zugversuches erfolgte ebenfalls nach der Technischen Prüfvorschrift „Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen“ [13].

Beim Zugversuch wird ein prismatischer Probekörper bei konstanter Prüftemperatur durch Aufzwingen einer mit der Zeit veränderlichen Dehnung in hinreichend großem Abstand von den Klebeflächen durch reinen Zug beansprucht. Im Regelfall beträgt die Dehngeschwindigkeit 1 mm/min , als Prüftemperaturen können $+20$, $+5$, -10 und -25 °C ausgewählt werden.

Im Projekt wurden die Zugversuche bei einer einzelnen Temperatur von -10 °C durchgeführt, um

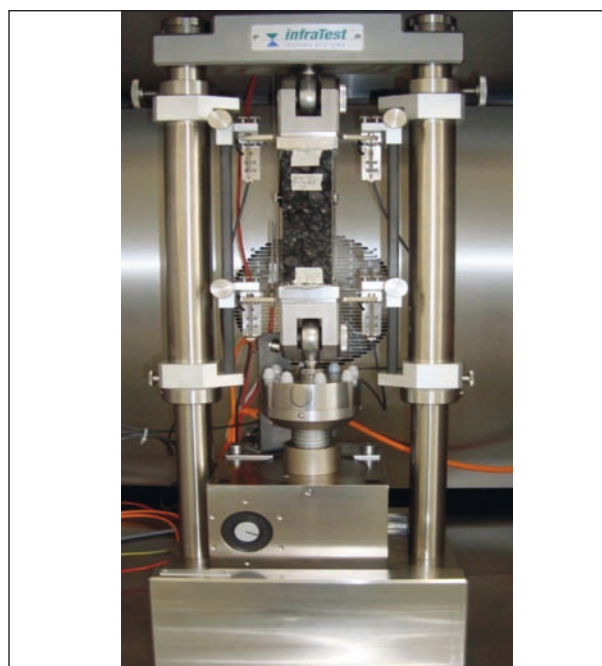


Bild 7: Prüfvorrichtung mit eingebautem Probekörper für den Abkühl- und Zugversuch

den Untersuchungsumfang aus Zeit- und Kostengründen zu reduzieren. Diese Temperatur wurde ausgewählt, da bei einem Asphalt mit einem Bitumen 25/55-55 A davon ausgegangen werden kann, dass die Zugfestigkeitsreserve im Bereich um -10 °C liegt und Orientierungswerte für die Zugfestigkeit und Bruchdehnung für diese Temperatur vorliegen [14]. Das Ergebnis des Zugversuchs ist die Zugfestigkeit in MPa und die Bruchdehnung in % [13].

2.5 Verfahren zur stochastischen Analyse

Für Vergleiche sind die grundlegenden charakteristischen statistischen Kenngrößen wie das arithmetische Mittel \bar{x} , die Standardabweichung $\pm s$ und der Variationskoeffizient v für die Untersuchungsergebnisse berechnet worden.

Die Rechenoperationen zur deskriptiven Statistik wurden hierbei der einschlägigen Fachliteratur entnommen [z. B. 15, 16].

Die Durchführung der statistischen Berechnungen erfolgte mit dem Statistik-Programm SPSS 17.0. Den Analysen wurde jeweils ein Signifikanzniveau von 5 % zugrunde gelegt.

Ausreißertest

Ein statistischer Ausreißer liegt vor, wenn die Abweichung des Wertes statistisch signifikant ist. Die Ausreißer werden über Boxplots identifiziert. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Sie wird durch das obere und das untere Quartil begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand. Werte, die zwischen den 1,5- und 3-fachen Wert der Boxenlänge vom oberen Quartilswert nach oben bzw. vom unteren Quartilswert nach unten abweichen, werden als Ausreißer detektiert [15].

Mittelwertvergleich

Mithilfe des t-Tests können die Mittelwerte zweier Vergleichsgruppen/Stichproben verglichen und ihre eventuelle Differenz auf Signifikanz getestet werden.

Die Stichproben bestehen aus Fällen, die unabhängig voneinander aus ihren Grundgesamtheiten gezogen wurden. Getestet wird bei zweiseitiger Fragestellung die Nullhypothese $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ gegen

die Alternativhypothese $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$. Vorausgesetzt werden zumindest angenähert normalverteilte Differenzen der Stichproben $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$. Die Berechnung der Prüfgröße t erfolgt abhängig von der Gleichheit der Varianzen nach [15]. Ist die Prüfgröße t größer als das Signifikanzniveau $t_{(n-1); \alpha}$ der STUDENTschen t-Verteilung, so ist die Nullhypothese auf dem α -Niveau, der Irrtumswahrscheinlichkeit α zu verwerfen [16].

Ein signifikanter Unterschied zwischen den betrachteten Vergleichsgruppen wird dann angenommen, wenn die H_1 -Hypothese auf einem Signifikanzniveau von $P \leq 5\%$ bei zweiseitiger Fragestellung angenommen wird.

3 Untersuchungsergebnisse Audit und 1. Untersuchungsschritt

3.1 Verfahrens-Audit

3.1.1 Anlass und Vorgehen

Vor Beginn der Untersuchungen dokumentierte ein Techniker/Laborant des ISE vor Ort in jeder Prüfstelle

- die Geräteeigenschaften,
- die Vorbereitung des Mischgutes,
- die Einfüllung des Mischgutes in das Walzsektor-Verdichtungsgerät sowie
- die genaue Vorgehensweise bei der Herstellung der Asphalt-Probeplatten,

um Unterschiede und Auffälligkeiten im Verfahren erfassen zu können. Im Rahmen dieses Audits wurden vom Laboranten der jeweiligen Prüfstelle zwei Asphalt-Probeplatten und anschließend durch den Techniker des ISE zwei weitere Asphalt-Probeplatten mit einer Dicke von 40 mm hergestellt und währenddessen die Vorgehensweise dokumentiert. Die Herstellung erfolgte bis auf eine Prüfstelle nach dem in der TP vorgesehenen Verdichtungsmanagement. Der für die Herstellung der Asphalt-Probeplatten im Rahmen des Audits verwendete Splittmastixasphalt SMA 8 S wurde vorab an die Prüfstellen versendet, sodass allen Prüfstellen dasselbe Mischgut zur Verfügung stand.

3.1.2 Erkenntnisse des Verfahrens-Audits

Mithilfe des Audits konnten unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Herstellung der Asphalt-Probeplatten in den Prüfstellen festgestellt werden. Es zeigte sich, dass bei einigen Prüfstellen die Berechnung der Mischguteinwaagen über die Raumdichte und die gewünschten Abmessungen der Asphalt-Probeplatte erfolgte. Weiterhin wurde bei der Mischguttemperierung im Wärmeschrank weder die Temperatur kontrolliert, noch war das Mischgut, wie nach TP gefordert, abgedeckt. Auf die Temperierung des Einlegebleches im Wärmeschrank oder direkt im WSV-Gerät wurde in einigen Prüfstellen verzichtet. Teilweise wurde die Starthöhe, die bei Geräten der Fa. Freundl vor Beginn der Herstellung zu ermitteln ist, nicht festgelegt und im Gerät eingestellt. Die nach TP geforderte Nullpunkteinstellung von Kraft und Weg erfolgt bei Geräten der Fa. infraTest automatisch, bei Geräten der Fa. Freundl muss dies manuell durchgeführt werden, erfolgte aber nicht bei allen Prüfstellen. Ein weiterer Punkt in dem sich deutliche Unterschiede zwischen den Prüfstellen zeigten, ist die Verwendung von Trennblättern oder Trennmitteln. Einige Prüfstellen verwenden keine Trennblätter, sondern Silikonspray zur Vermeidung von Anhaftungen. Bei Prüfstellen, die Trennblätter verwenden, erfolgte die Entfernung dieser entweder direkt nach der Herstellung im warmen Zustand, nach Abkühlung oder gar nicht. Auch nach der Herstellung der Asphalt-Probeplatten zeigten sich Unterschiede: Das nach TP vorgesehene Ausformen erfolgte teilweise sofort nach Herstellung der Asphalt-Probeplatten und nicht wie gefordert nach Auskühlung auf Raumtemperatur.

3.1.3 Untersuchungsergebnisse der Asphalt-Probeplatten

Die während des Audits hergestellten Asphalt-Probeplatten wurden am ISE bezüglich der Raumdichte und an ausgewählten auch bezüglich der Raumdichte- und Dickenverteilung untersucht.

Die ermittelten Raumdichten der Asphalt-Probeplatten sind aufgrund des an sich schon sehr dichten Mischgutes sehr hoch. Eine Ausnahme stellen die Ergebnisse der Prüfstelle 5 dar, diese hatte nicht das Verdichtungsmanagement nach TP angewendet, sondern ein individuelles, gerätespezifisches welches in der Prüfstelle standardmäßig für einen SMA 8 S angewendet wird. Dies führte zu einer Raumdichte der Gesamtplatte auf dem Niveau des Marshall-Probeköpers (MPK) der Erstprüfung (Bild 8).

Bei den Asphalt-Probeplatten, die vom jeweiligen Laboranten der Prüfstelle und dem Laboranten des ISE hergestellt wurden, ergeben sich bezüglich der Raumdichte nur geringe Unterschiede. Bei Prüfstellen, die das untere Trennblatt nicht entfernten, zeigen sich dagegen größere Raumdichteunterschiede. Für die Asphalt-Probeplatten mit Trennblatt wurden niedrigere Raumdichten ermittelt. Entsprechend dazu ergeben sich höhere Hohlraumgehalte und geringere Verdichtungsgrade bezogen auf die Raumdichte des MPK. Die Ergebnisse zeigen, dass die Raumdichten der Asphalt-Probeplatten aufgrund des Trennblattes verfälscht und entsprechend für den Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt der Asphalt-Probeplatte systematisch andere Werte ermittelt werden, sodass z. B. der für den Spurbildungsversuch nach TP Asphalt, Teil 22 geforderte Verdichtungsgrad von 99 bis 101 % tatsächlich „unbemerkt“ deutlich unterschritten werden kann.

Die Raumdichte der Prüfstelle 10 liegt im Bereich der Raumdichte des MPK der Mischgutuntersuchung. Eine Erklärung für die geringe Raumdichte im Vergleich zu den anderen Prüfstellen ließ sich nicht finden. Die Herstellung der Asphalt-Probeplatten erfolgte nach Angaben der Prüfstelle entsprechend des vorgegebenen Verdichtungsmanagements der TP Asphalt-StB, Teil 33.

Die angestrebte Enddicke der Asphalt-Probeplatten von 40 mm wurde bei allen Platten, bis auf die von Prüfstelle 11, überschritten. Die ermittelten Enddicken lagen aber alle im Toleranzbereich nach TP Asphalt-StB, Teil 22 von $\pm 5\%$ der angestrebten Enddicke. Die Asphalt-Probeplatten der Prüfstelle 5, welche mit dem individuellen Verdichtungsmanagement hergestellt wurden zeigten hierbei die höchste Enddicke (Bild 8).

An ausgewählten Asphalt-Probeplatten verschiedener Prüfstellen wurde zusätzlich die Raumdichteverteilung ermittelt (Bild 9). Die oben beschriebenen Unterschiede der Raumdichte ohne und mit Entfernung des Trennblattes zeigten sich dementsprechend auch hier. Weiterhin lässt sich erkennen, dass die Raumdichten der beiden äußeren Streifen 1 und 6 erfahrungsgemäß geringere Raumdichten aufweisen als die der inneren Streifen 2 bis 5. Diese Streifen zeigen eine höhere, die äußeren Streifen eine geringere Raumdichte als die Gesamtplatte. Die größten Unterschiede zwischen den inneren und äußeren Streifen ergab sich bei Prüfstelle 5, Asphalt-Probeplatte 2 mit einem maximalen Unterschied der Raumdichte von $0,038 \text{ g/cm}^3$.

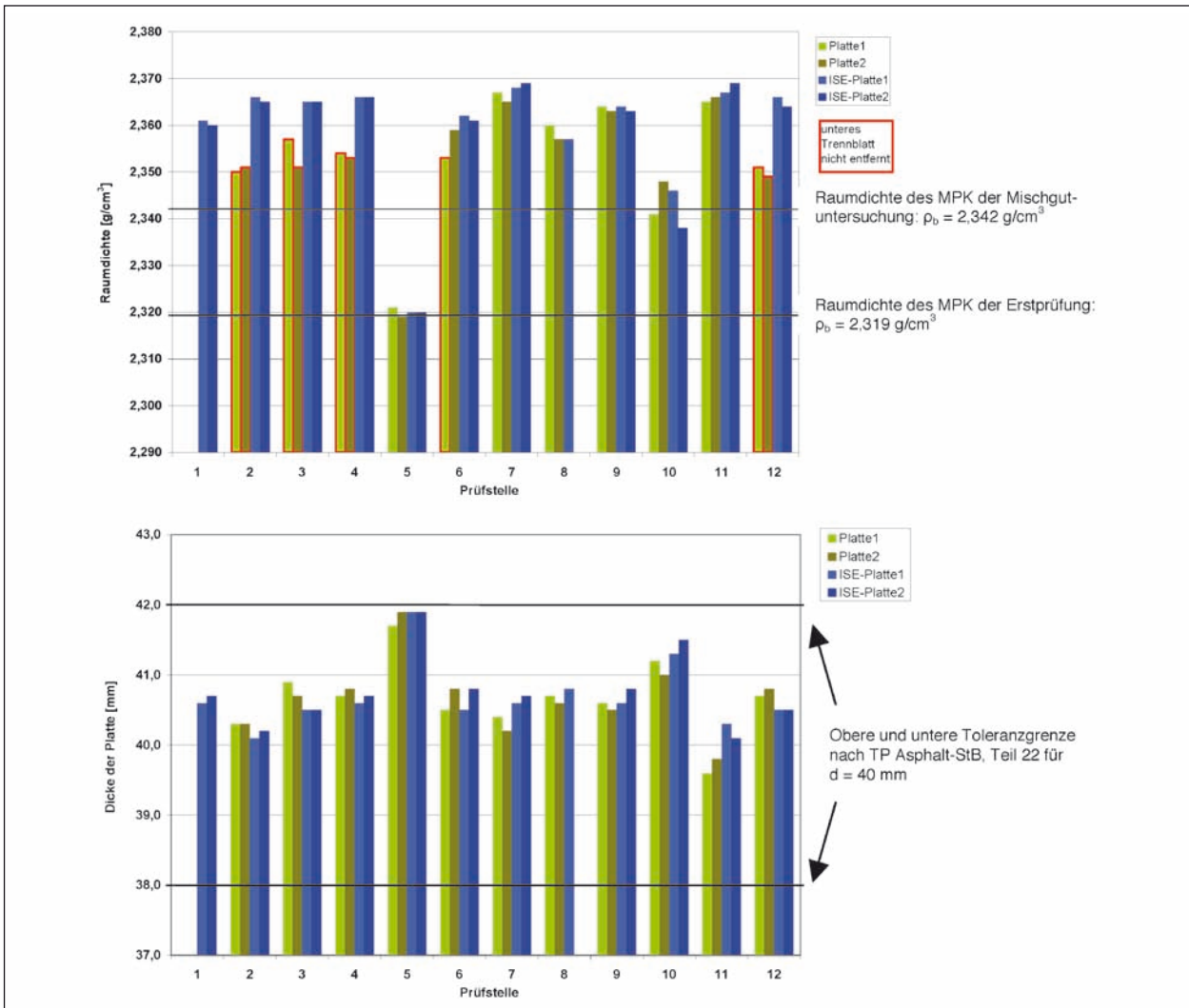


Bild 8: Raumdichten (oben) und Dicken (unten) der Asphalt-Probepplatten des Verfahrens-Audits

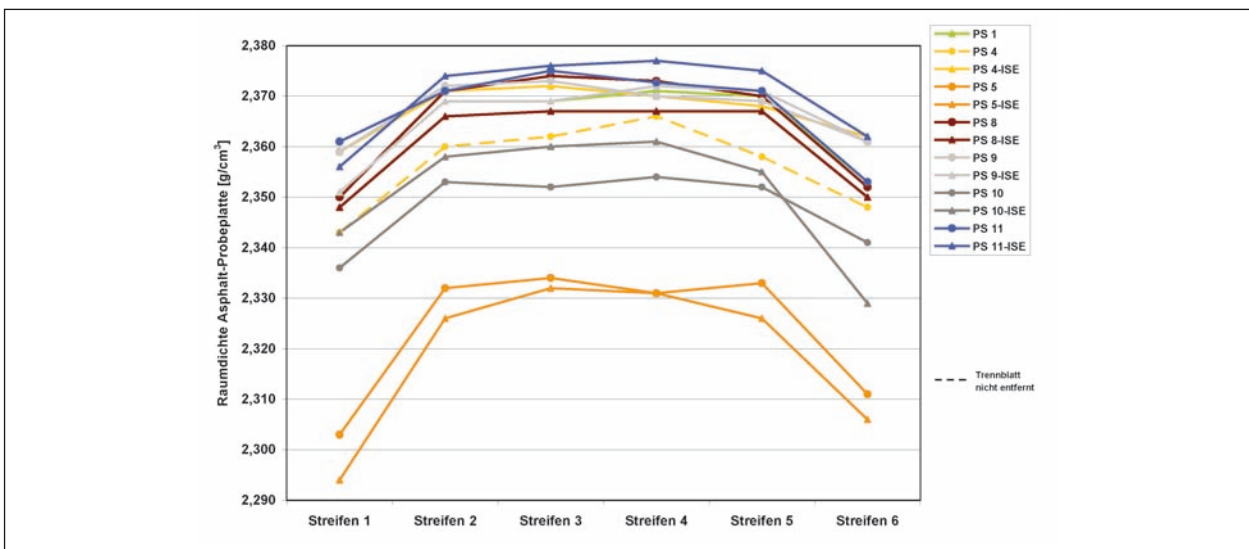


Bild 9: Raumdichteverteilung von ausgewählten Asphalt-Probepplatten des Verfahrens-Audits

3.1.4 Analyse und Arbeitsanleitung

Die beim Audit ermittelten Erkenntnisse wurden analysiert und flossen dann in eine die TP Asphalt-StB, Teil 33 ergänzende Arbeitsanleitung ein (Anlage 2). Diese wurde den einzelnen Prüfstellen übergeben, bei Bedarf telefonisch besprochen und prüfstellenspezifische Anmerkungen gegeben.

In der Arbeitsanleitung werden auf Grundlage des durchgeführten Audits die Vorgehensweise der TP ergänzt bzw. präzisiert und Anmerkungen und Hinweise gegeben, damit die Asphalt-Probepplatten in den verschiedenen Prüfstellen mit gleicher Vorbereitung und Vorgehensweise hergestellt werden. Die Gliederung der Arbeitsanleitung ist analog den TP Asphalt-StB, sodass die alleinige Anwendung der Arbeitsanleitung für die Herstellung der Asphalt-Probepplatten ausreicht.

Die Prüfstellen wurden dazu aufgefordert, Trennblätter an der oberen und unteren Seite der Asphalt-Probepplatten vollständig zu entfernen und diese nach der Herstellung bis zum Auskühlen auf Raumtemperatur unbedingt in Auskühlformen zu belassen.

Um nachvollziehen zu können, wo sich die Ober- und Unterseite der Asphalt-Probepplatten befindet, wurde die Anbringung der Beschriftungsaufkleber vereinheitlicht.

Weiterhin wurde darauf hingewiesen, zur späteren Überprüfung und ggf. Verifizierung des Verdichtungsmanagements zusätzlich die Parameter während der Herstellung aufzuzeichnen. An neun der teilnehmenden WSV-Geräte konnte dies erfolgen.

Während der Herstellung der Asphalt-Probepplatten im „Nullzustand“ mussten von den Laboranten Herstellungs-Protokolle ausgefüllt werden, in denen Angaben zu

- Temperierzeit des Mischgutes,
- Herstellungsdatum,
- Einwaage,
- Temperaturen von Segment und Verdichtungsform,
- Starthöhe,
- Enddicke laut Gerät,
- Name der Aufzeichnungsdatei,
- gegebenenfalls Bemerkungen

dokumentiert wurden. Anhand dieser Herstellungsprotokolle konnten die Aufzeichnungsdateien entsprechend zugeordnet werden.

3.2 Untersuchungen im Nullzustand

In den 12 teilnehmenden Prüfstellen wurden mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät an zunächst drei verschiedenen Asphaltvarianten jeweils drei Asphalt-Probepplatten mit gleichem Standard-Verdichtungsmanagement nach o. g. Arbeitsanleitung hergestellt (Nullzustand), um so die Besonderheiten jedes WSV-Gerätes und jeder Prüfstelle zu ermitteln. An den folgenden Asphaltvarianten wurden diese Asphalt-Probepplatten hergestellt:

- Splittmastixasphalt SMA 8 S, Dicke: 40 mm,
- Asphaltbinder AC 16 B S, Dicke: 60 mm,
- Asphalttragschicht AC 32 T S, Dicke: 90 mm.

Durch die vereinheitlichte Herangehensweise bei der Herstellung der Asphalt-Probepplatten können so Unterschiede zwischen den verschiedenen WSV-Geräten bezüglich der Raumdichte und der Raumdichte- und Dickenverteilung herausgearbeitet und unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse die weitere Vorgehensweise abgestimmt werden.

Die ans ISE übersendeten Asphalt-Probepplatten wurden dort zunächst mit einer Digitalkamera fotografiert, auf Auffälligkeiten (Kantenabbrüche, Kornausbrüche, etc.) überprüft und diese gegebenenfalls dokumentiert. Im Weiteren wurde dann die Raumdichte an der gesamten Asphalt-Probepplatte sowie anschließend die Raumdichte- und Dickenverteilung an den sechs gesägten Probekörper/Streifen bestimmt (siehe Kapitel 2.3.3). Mithilfe eines Ausreißertests wurden Ausreißer bezüglich der Raumdichte und Dicke der Asphalt-Probepplatten identifiziert. Die Ergebnisse dieses Bearbeitungsschrittes sind Anlage 4 zu entnehmen.

3.2.1 Untersuchungsgegenstand SMA 8 S

Raumdichte und Dicke

Die Raumdichte ergibt im Mittel $2,362 \text{ g/cm}^3$ mit einer sehr geringen Standardabweichung von $0,005 \text{ g/cm}^3$ (Bild 10). Es wurde lediglich ein Ausreißer identifiziert, dessen Raumdichte deutlich niedriger lag (Prüfstelle 10, Asphalt-Probepplatte 2). Die ermittelten Verdichtungsgrade der Asphalt-Probepplatten liegen aufgrund der hohen Raumdichte

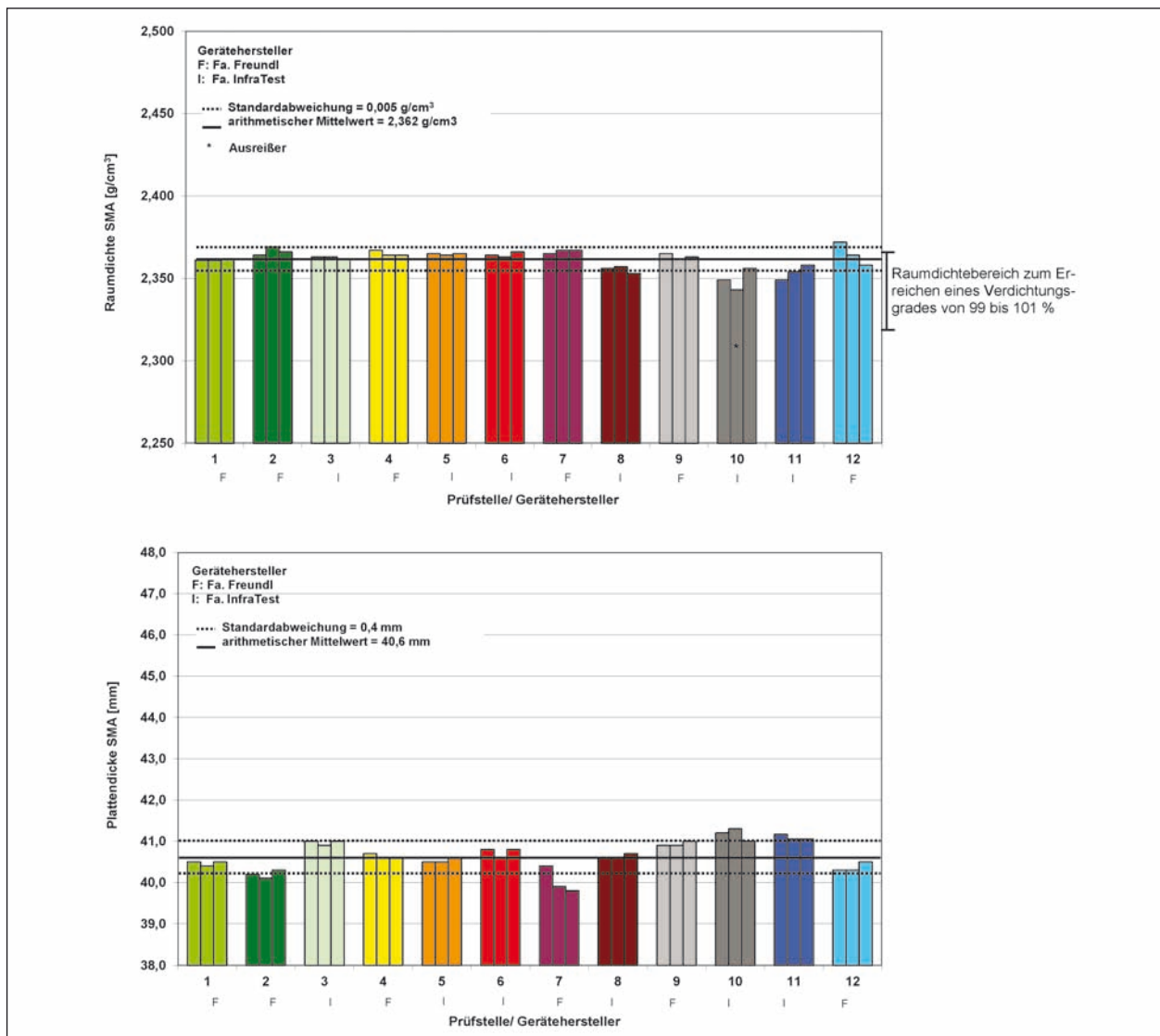


Bild 10: Raumdichte (oben) und Dicke (unten) der drei Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle aus SMA 8 S (Nullzustand)

im Durchschnitt bei 100,9 %, mit einer Spannweite von 1,0 % (zwischen 100,3 und 101,3 %).

Der Vergleich der Raumdichten zwischen den Geräteherstellern zeigt bei Fa. Freundl im Mittelwert eine um 0,006 g/cm³ höhere Raumdichte.

Der Mittelwert der Plattendicke liegt bei 40,6 mm leicht erhöht zur angestrebten Plattendicke von 40 mm, aber immer noch im Rahmen der Toleranz von ± 5 % nach TP Asphalt-StB, Teil 22 für den Spurbildungsversuch (Bild 10).

Raumdicke- und Dickenverteilung

Der für die Raumdichteverteilung zulässige Variationskoeffizient v , der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 einen Wert $\leq 0,5$ % nicht übersteigen darf, wurde bei fünf von 36 Asphalt-Probeplatten mit einem

Wert von 0,6 % geringfügig überschritten (Bild 11). In den Randbereichen der Asphalt-Probeplatten (Streifen 1 und 6) ergaben sich erwartungsgemäß geringere Raumdichten im Vergleich zum inneren Bereich (Streifen 2 bis 5) der Asphalt-Probeplatten.

Die Dickenverteilung zeigte keine Auffälligkeiten. Bei allen Asphalt-Probeplatten wurde der geforderte Variationskoeffizient v von $\leq 2,5$ % eingehalten.

Stochastische Auswertungen

Ein Mittelwertvergleich zwischen den Raumdichten der Asphalt-Probeplatten der WSV-Geräte der beiden Hersteller zeigte einen signifikanten Unterschied. Für die Verdichtungsgrade ergab sich dasselbe Ergebnis.

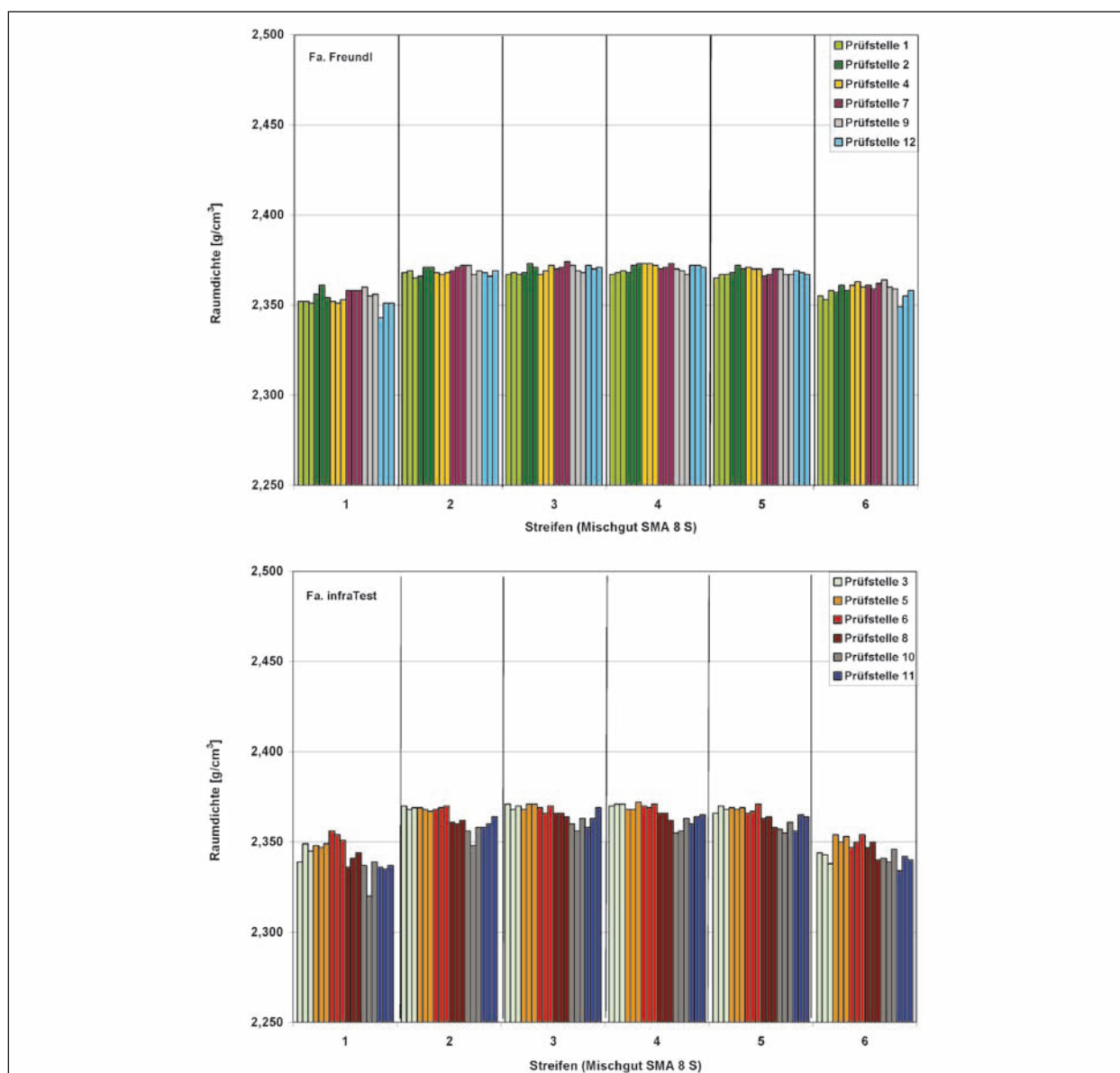


Bild 11: Raumdichteverteilung der Asphalt-Probepfatten hergestellt mit Geräten der Fa. Freundl (oben) und der Fa. infraTest (unten) aus SMA 8 S (Nullzustand)

Um eine Einschätzung über die Raumdichte-Differenz der Streifen zu erhalten, wurden multiple Mittelwertvergleiche zwischen sechs Streifen, getrennt nach Gerätehersteller, durchgeführt. Die getrennte Betrachtung nach Gerätehersteller wurde gewählt, da sich bei den Untersuchungen der Raumdichte der Gesamtplatten zeigte, dass diese signifikant unterschiedlich sind. Die statistische Untersuchung ergab, dass die Raumdichten der Randstreifen 1 und 6 bei Asphalt-Probepfatten der Fa. Freundl signifikant unterschiedlich, bei Fa. infraTest dagegen nicht signifikant unterschiedlich, sind. Der Vergleich der inneren Streifen 2 bis 5 ergab bei beiden Herstellern keinen signifikanten Unterschied, aber einen signifikanten Unterschied

gegenüber den Randstreifen 1 und 6 (Tabelle 2). Die Raumdichten der Asphalt-Probepfatten sind im inneren Bereich statistisch gesehen als gleich anzusehen.

3.2.2 Untersuchungsgegenstand AC 16 B S

Raumdichte und Dicke

Der arithmetische Mittelwert der Raumdichten der Asphalt-Probepfatten des sehr hohlraumreichen Asphaltbinders AC 16 B S ($V = 7,3$ Vol.-%) ergab sich zu $2,318 \text{ g/cm}^3$ mit einer Standardabweichung von $0,011 \text{ g/cm}^3$ (Bild 12). Diese Streuungen zwischen den Prüfstellen ist angesichts des hohen

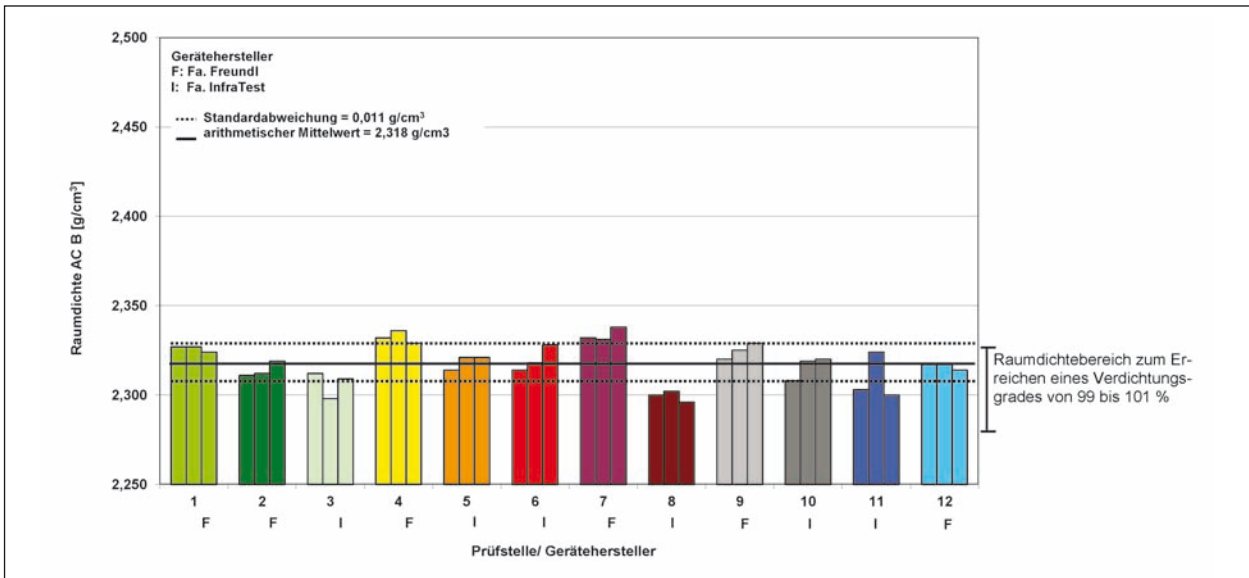


Bild 12: Raumdichte der drei Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle aus AC 16 B S (Nullzustand)

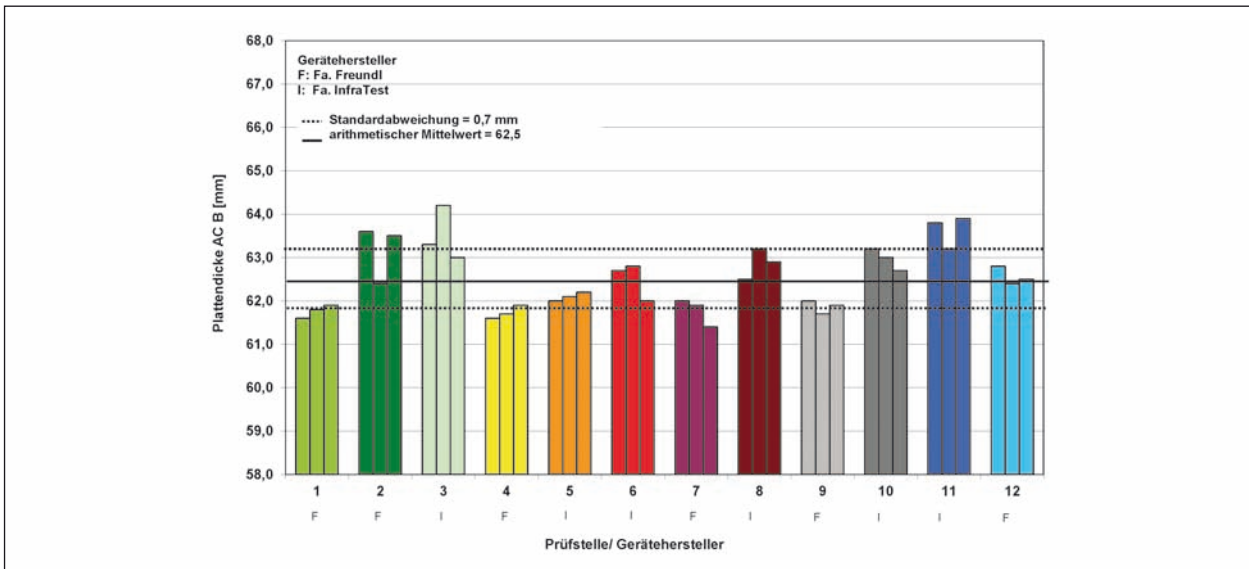


Bild 13: Dicke der drei Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle aus AC 16 B S (Nullzustand)

Hohlraumgehaltes als gering zu bewerten. Ausreißer bezüglich der Raumdichte wurden nicht identifiziert. Der Vergleich der Raumdichten zwischen den Geräteherstellern ergibt bei Asphalt-Probeplatten, die mit Geräten der Fa. Freundl hergestellt wurden, im Mittel eine um 0,012 g/cm³ höhere Raumdichte.

Die ermittelten Verdichtungsgrade liegen im Mittel bei 100,7 %. Die Asphalt-Probeplatten von vier Prüfstellen erreichten Verdichtungsgrade von über 101,0 %.

Erwartungsgemäß ergibt sich auch bei der Plattendicke im Mittel von 62,5 mm eine höhere Standardabweichung $s = 0,7$ mm als beim Splittmastixasphalt (Bild 13).

Bei einigen Asphalt-Probeplatten kam es aufgrund des vergleichsweise hohlraumreichen Mischgutes zu Kantenabbrüchen.

Raumdicke- und Dickenverteilung

Die Untersuchung der Raumdichteverteilung zeigte eine Überschreitung des vorgeschriebenen Varia-

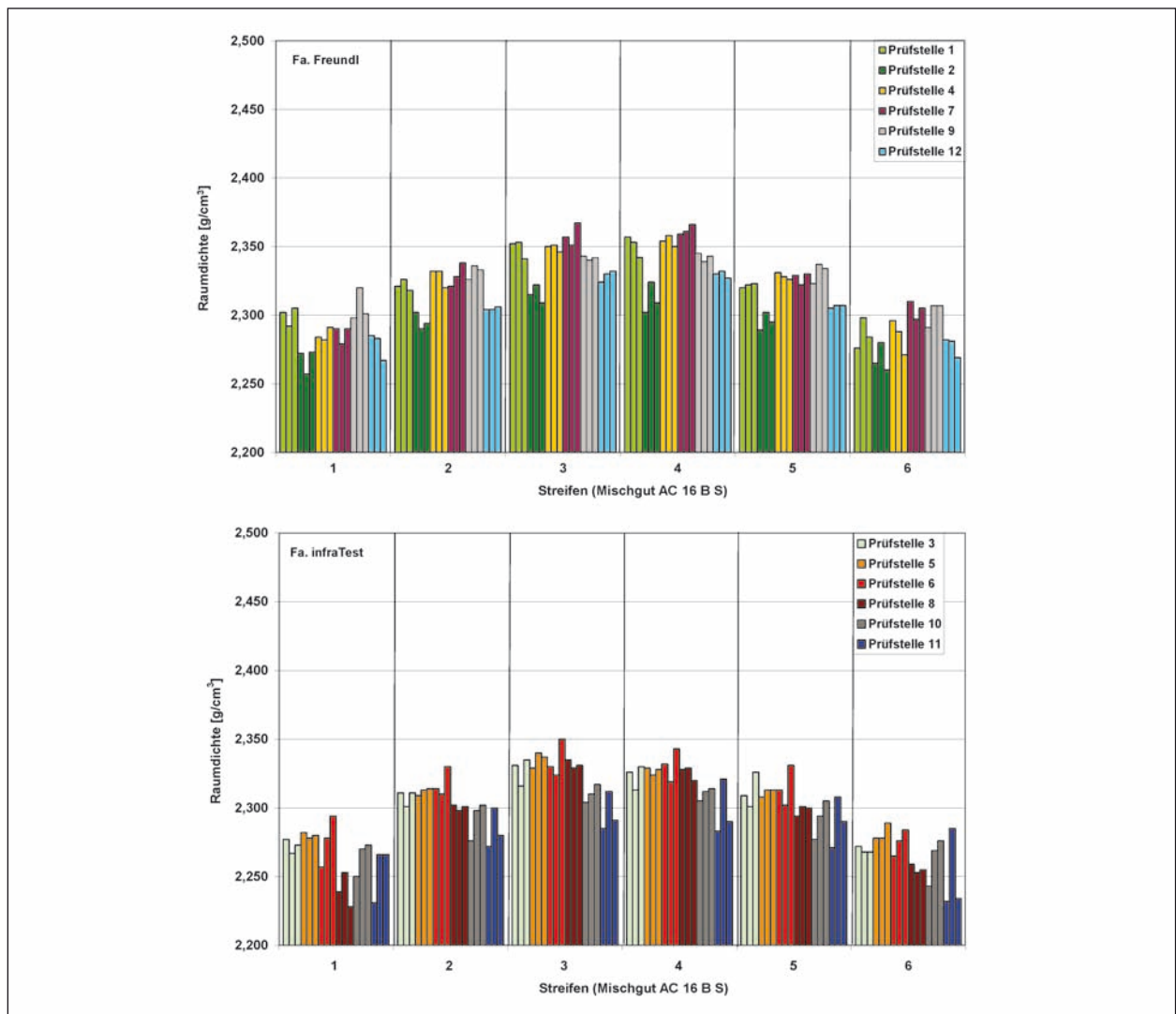


Bild 14: Raumdichteverteilung der Asphalt-Probeplatten, hergestellt mit Geräten der Fa. Freundl (oben) und der Fa. infraTest (unten) aus AC 16 B S (Nullzustand)

tionskoeffizienten $v \leq 0,5 \%$ bei allen Asphalt-Probeplatten (Bild 14).

Die Dickenverteilung zeigte keine Auffälligkeiten. Bei allen Asphalt-Probeplatten wurde der geforderte Variationskoeffizient v von $\leq 2,5 \%$ eingehalten.

Stochastische Auswertungen

Der auch hier durchgeführte multiple Mittelwertvergleich zwischen den Raumdichten der Asphalt-Probeplatten der WSV-Geräte der beiden Hersteller zeigte jeweils keinen signifikanten Unterschied zwischen den Streifen 1 und 6, 2 und 5 sowie 3 und 4. Zwischen diesen drei Streifengruppen ergaben sich allerdings signifikante Unterschiede bei beiden Herstellern (Tabelle 2).

3.2.3 Untersuchungsgegenstand AC 32 T S

Die Untersuchung der Raumdichte erfolgte auf Wunsch des Betreuungsausschusses ausschließlich nach TP Asphalt-StB, Teil 6, Verfahren B.

Raumdichte und Dicke

Die Raumdichten der Asphalt-Probeplatten zeigten eine mittlere Raumdichte von $2,428 \text{ g/cm}^3$ mit einer Standardabweichung von $0,014 \text{ g/cm}^3$ (Bild 15).

Der Vergleich der Raumdichten zwischen den Geräteherstellern zeigt die gleiche Tendenz wie beim Asphaltbinder. Ebenso ergibt sich dieselbe Differenz der Raumdichten der Asphalt-Probeplatten je Gerätehersteller von $0,013 \text{ g/cm}^3$.

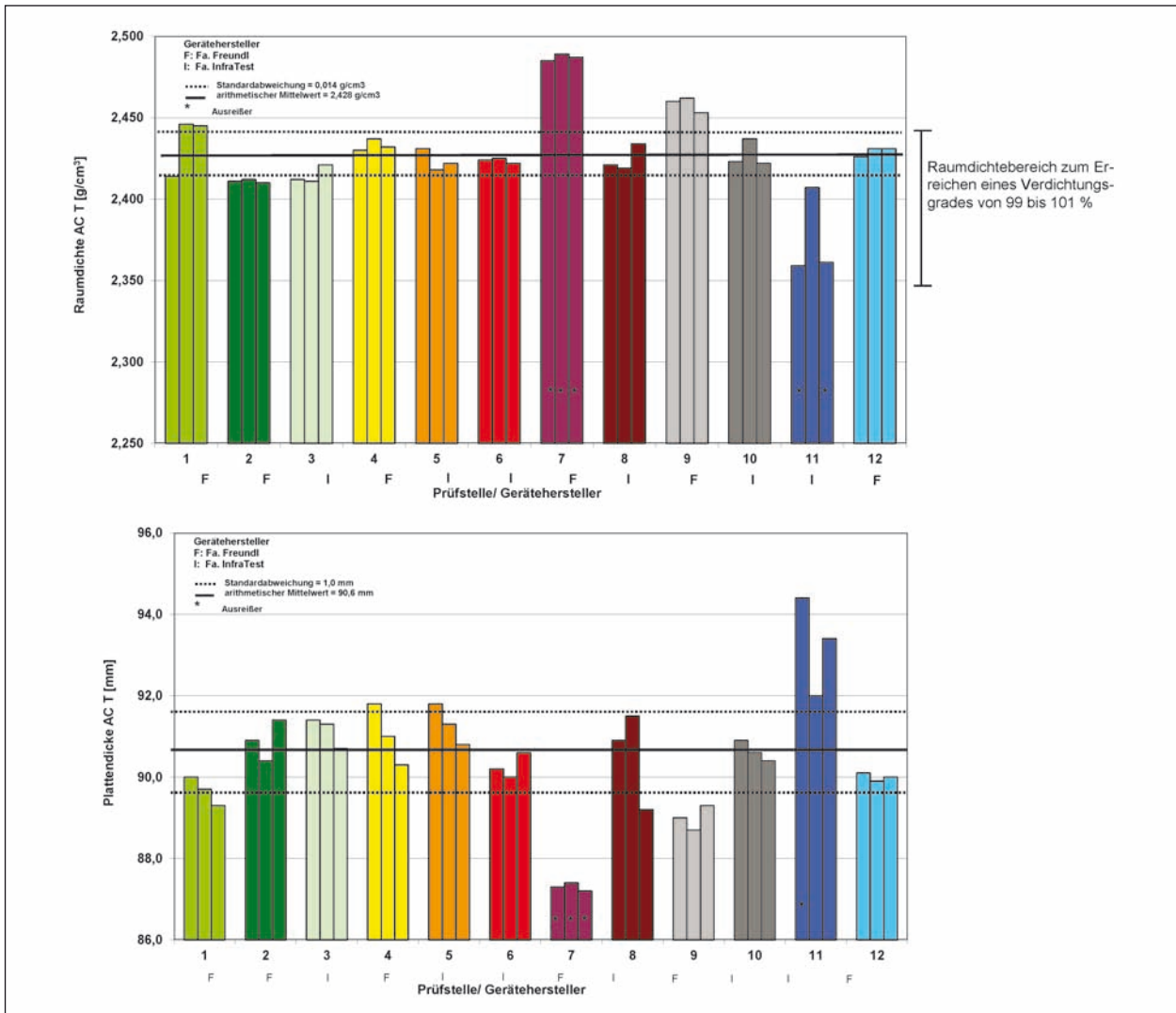


Bild 15: Raumdichte (oben) und Dicke (unten) der drei Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle aus AC 32 T S (Nullzustand)

Der Ausreißertest identifizierte alle drei Asphalt-Probeplatten der Prüfstelle 7 und zwei Asphalt-Probeplatten der Prüfstelle 11. Bei der Überprüfung der Datenaufzeichnung während der Herstellung der Asphalt-Probeplatten in Prüfstelle 7 zeigte sich, dass im Vergleich zur Herstellung in der Prüfstelle 1 die Vorverdichtung sehr viele Walzübergänge benötigte (Bild 16). Es ist davon auszugehen, dass vor Herstellung der Asphalt-Probeplatten eine falsche Starthöhe festgelegt wurde und daher eine so große Anzahl von Walzübergängen benötigt wurde, um das Segment soweit herunterzufahren, bis das Mischgut verdichtet werden konnte. Durch die vielen „Hin- und Herbewegungen“ des Schlittens könnte das Mischgut schon vor Beginn der Herstellung vorverdichtet worden sein und sich dadurch eine sehr viel höhere Raumdichte ergeben haben.

Anhand der Datenaufzeichnung der Prüfstelle 11 ließen sich keine Auffälligkeiten feststellen, die die geringen Raumdichten der Asphalt-Probeplatte 1 und 3 erklären könnte.

Aufgrund dieser Auffälligkeiten wurden die Prüfstellen nochmal gebeten die Vorgehensweise bei der Herstellung der Asphalt-Probeplatten zu überprüfen, bevor die weiteren Asphalt-Probeplatten für die Performance-Untersuchungen hergestellt wurden.

Die Dicken der Asphalt-Probeplatten ergeben einen Mittelwert von 90,6 mm mit einer vergleichsweise hohen Standardabweichung von 1,0 mm. Die oben erwähnten Asphalt-Probeplatten der Prüfstelle 7 wurden mit einer mittleren Dicke von 87,3 mm auch hier als Ausreißer identifiziert.

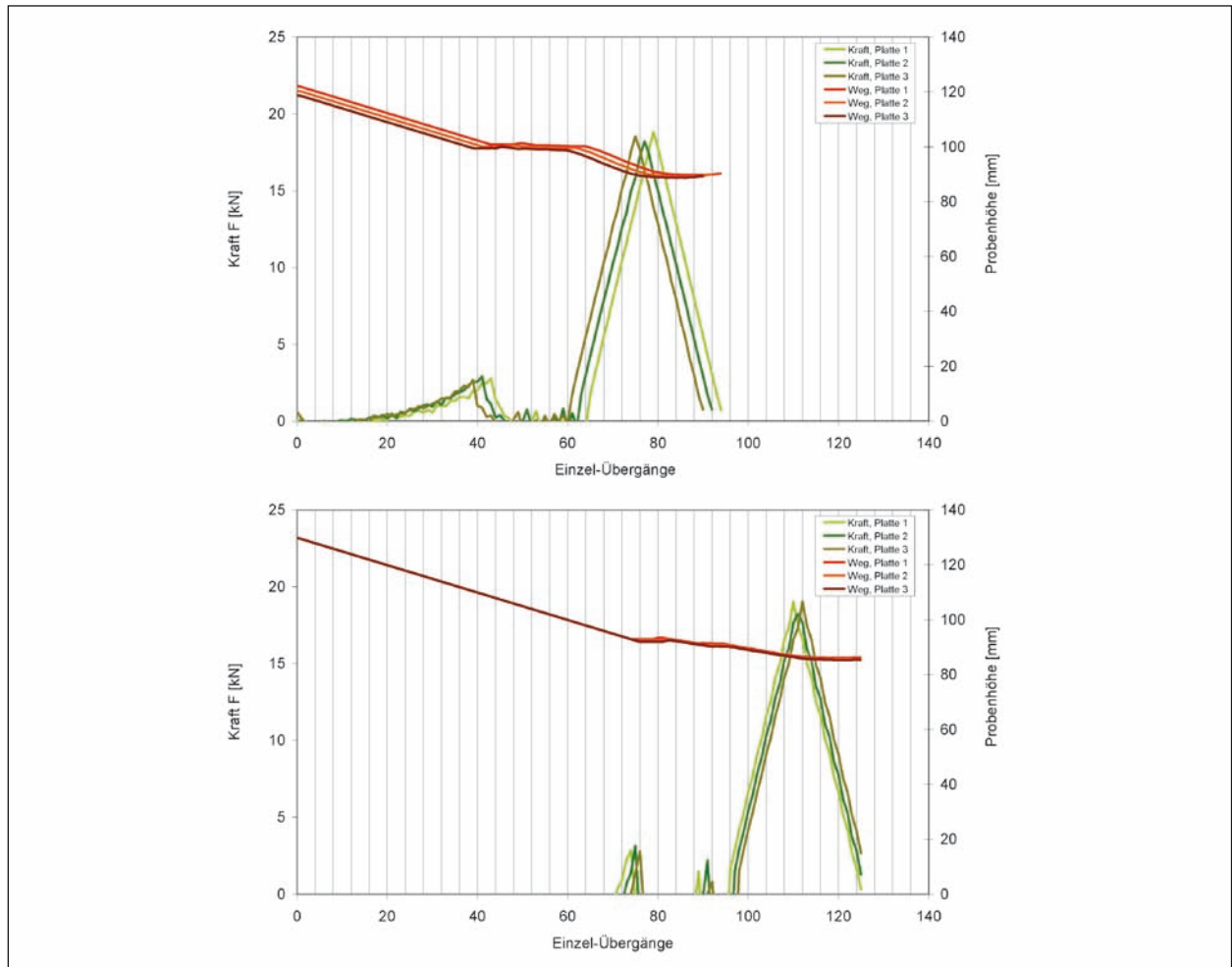


Bild 16: Aufgezeichnete Verdichtungsfunktionen bei der Herstellung der drei Asphalt-Probplatten des AC 32 T S in der Prüfstelle 1 (oben) und Prüfstelle 7 (unten)

Raumdichte- und Dickenverteilung

Die Untersuchung der Raumdichteverteilung zeigt erwartungsgemäß eine Überschreitung des Variationskoeffizienten. Die einzigen zwei Asphalt-Probplatten ohne Überschreitung sind zwei Asphalt-Probplatten der Prüfstelle 7 mit vergleichsweise hohen Raumdichten. Es ist dementsprechend davon auszugehen, dass die Streuungen zwischen den einzelnen Streifen gering sind. Der Vergleich der Raumdichten der einzelnen Streifen beider Gerätehersteller zeigt bei Asphalt-Probplatten, die mittels Geräten der Fa. infraTest hergestellt wurden, größere Streuungen (Bild 17).

Die Untersuchung der Dickenverteilung zeigt keine Auffälligkeiten. Der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 geforderte Variationskoeffizient von $\leq 2,5\%$ wurde bei allen untersuchten Asphalt-Probplatten eingehalten (Mittelwert $v_{MW} = 1,0\%$).

Die visuelle Betrachtung der Oberseite der Asphalt-Probplatten aus AC 32 T S zeigt bei einigen Asphalt-Probplatten Kornzertrümmerungen und aufgrund der groben Struktur des Asphaltes sind auch Kantenabbrüche, ähnlich wie beim Asphaltbinder, festgestellt worden.

Stochastische Auswertungen

Der Mittelwertvergleich zwischen den Raumdichten der Asphalt-Probplatten der WSV-Geräte der beiden Hersteller zeigt, wie auch schon bei den anderen beiden Mischgutsorten, einen signifikanten Unterschied.

Aufgrund der Ergebnisse der multiplen Mittelwertvergleiche lassen sich die Asphalt-Probplatten in zwei Bereiche unterteilen: Streifen 1 und 6 – innerhalb dieser Streifengruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede –, sowie Streifen 2 bis 5 – zwischen diesen wurden signifikante Unterschiede ermittelt – (Tabelle 2).

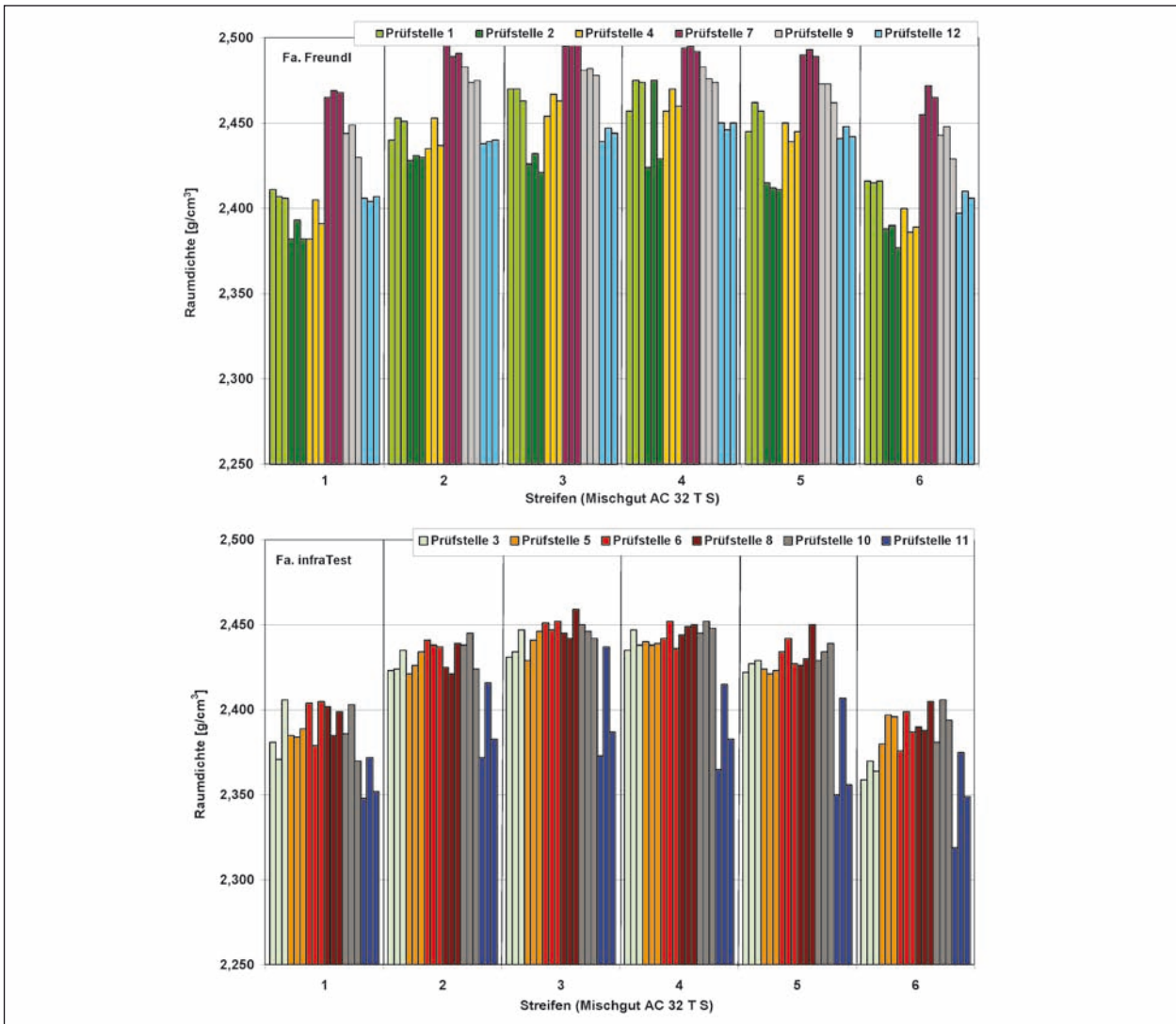


Bild 17: Raumdichteverteilung der Asphalt-Probepplatten, hergestellt mit Geräten der Fa. Freundl (oben) und Fa. infraTest (unten) aus AC 32 T S (Nullzustand)

			Einheit	SMA 8 S	AC 16 B S	AC 32 T S
Raumdichte	alle Gerätehersteller	Mittelwert	g/cm ³	2,362	2,318	2,428
		Standardabweichung	g/cm ³	0,005	0,011	0,014
		signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	-	ja	ja	ja
	Fa. Freundl	Mittelwert	g/cm ³	2,365	2,324	2,435
		minimale Raumdichte*	g/cm ³	2,361	2,314	2,411
		maximale Raumdichte*	g/cm ³	2,366	2,334	2,458
		Spannweite	g/cm ³	0,005	0,020	0,047
	Fa. Infra-Test	Mittelwert	g/cm ³	2,359	2,312	2,422
		minimale Raumdichte*	g/cm ³	2,353	2,299	2,407
		maximale Raumdichte*	g/cm ³	2,365	2,320	2,427
		Spannweite	g/cm ³	0,012	0,021	0,020
	alle Gerätehersteller	Differenz der Mittelwerte der Raumdichten der Fa. Freundl und Fa. infraTest	g/cm ³	0,006	0,012	0,013

* Mittelwert aus jeweils drei Platten einer Prüfstelle

Tab. 2: Zusammenstellung ausgewählter Ergebnisse im Nullzustand

			Einheit	SMA 8 S	AC 16 B S	AC 32 T S
Raumdichte- verteilung		Ergebnis der multiplen Mittelwert- vergleiche der 6 Probekörper/Streifen der Fa. Freundl	-	S1<S6<S5=S2=S3=S4	S1=S6<S2=S5<S3=S4	S1=S6<S5=S2=S3=S4
		Ergebnis der multiplen Mittelwert- vergleiche der 6 Probekörper/Streifen der Fa. infraTest	-	S1=S6<S5=S2=S3=S4	S1=S6<S2=S5<S3=S4	S1=S6<S5=S2=S3=S4
Dicke	alle Geräte- hersteller	Mittelwert	mm	40,6	62,5	90,6
		Standardabweichung	mm	0,4	0,7	1,0 s
		signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	-	ja	ja	ja
Verdichtungs- grad	alle Geräte- hersteller	Mittelwert	%	100,9	100,7	100,2
		Standardabweichung	%	0,2	0,5	0,6
		signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	-	ja	ja	ja
S Streifen; S1 linker Streifen bis S 6 rechter Streifen						

Tab. 2: Fortsetzung

3.2.4 Erkenntnisse und Folgerungen

Die Streuungen der Raumdichte und Dicke, die sich zwischen den Geräteherstellern bzw. den Prüfstellen ergaben, waren kleiner als erwartet. Die Streuungen erhöhen sich aber je gröber das Asphaltmischgut ist. Die erreichten Verdichtungsgrade aller Asphalt-Probepfatten sind vergleichsweise hoch.

Eine Übersicht über die Ergebnisse (Raumdichte, Verdichtungsgrad und Dicke mit statistischen Kenngrößen) ist in Tabelle 2 gegeben.

Bei der Raumdichteverteilung zeigte sich vor allem beim hohlraumreichen Mischgut (Asphaltbinder und -tragschicht), dass der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 geforderte maximale Variationskoeffizient von 0,5 % deutlich überschritten wurde.

4 Untersuchungsergebnisse der Performance-Prüfungen

Eine Übersicht über die durchgeführten Performance-Prüfungen findet sich in Tabelle 3. Eine Ausnahme ist der AC 16 B S (hohlraumreich): Aufgrund des hohen Hohlraumgehaltes des Mischgutes zeigte sich, dass die Durchführung der Druck-Schwellversuche sowie der zentrischen Zugversuche nicht zielführend ist (siehe Kapitel 4.1). Anstelle dieser Versuche wurde daher im Einvernehmen mit dem Betreuungsausschuss beschlossen, am Asphaltmischgut SMA 8 S Abkühlversuche durchzuführen. An den im zweiten Schritt vorgesehenen Mischgutsorten (AC 11 D S, AC 16 B S und AC 22 B S – Typ SMA) wird auf die Versuche zur Wasserempfindlichkeit verzichtet und anstelle

Asphaltmischgutsorte/ Performance-Prüfung	Untersuchungsschritt 1			Untersuchungsschritt 2		
	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
SBV	X	X	-	X	X	X
SZV	X	X	X	X	X	X
AV	X	-	-	X	X	X
ZV (Wasserempfindlichkeit)	X	X*	-	-	-	-
ZV bei -10 °C	-	-	-	X	X	X
DSV	X	X*	-	X	X	X
* Durchführung an ausgewählten Prüfstellen SBV Spurbildungsversuch; ZV Zugversuch SZV; Spaltzug-Schwellversuch; DSV Druck-Schwellversuch; AV Abkühlversuch						

Tab. 3: Übersicht über die Performance-Prüfungen an den sechs Asphaltvarianten

		Untersuchungsschritt 1			Untersuchungsschritt 2		
Anzahl der Platten	Asphaltemischgutsorte/ Plattenhöhe [mm] und Versuchstyp	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
	Anzahl der Platten	40 (SBV, SZV, AV, ZV)	5	2	-	4	1
50 (AV, ZV)		-	-	-	-	1	-
60 (SBV)		-	2	-	-	2	3
65 (DSV)		1	1	-	1	1	1
80 (SBV)		-	-	-	-	-	2
90 (SZV)		-	-	2	-	-	-
Summe		6	5	2	5	5	6
SBV Spurbildungsversuch; ZV Zugversuch SZV; Spaltzug-Schwellversuch; DSV Druck-Schwellversuch; AV Abkühlversuch							

Tab. 4: Übersicht über die herzustellenden Asphalt-Probeplatten in jeder Prüfstelle

dessen Abkühl- und Zugversuche bei -10 °C durchgeführt.

In jeder Prüfstelle wurden somit 29 Asphaltprobeplatten in zwei Bearbeitungsschritten hergestellt (Tabelle 4).

Zunächst wurden alle angelieferten Asphalt-Probeplatten wie im Schritt „Nullzustand“ mit einer Digitalkamera fotografiert, auf Auffälligkeiten überprüft, diese gegebenenfalls dokumentiert und anschließend die Raumdichten ermittelt.

In diesem zweiten Bearbeitungsschritt erfolgte keine Asphalt-Probeplatten-Herstellung in Prüfstelle 11. Im Weiteren werden deshalb nur fünf Prüfstellen mit Walzsektor-Verdichtungsgeräten der Fa. infraTest berücksichtigt.

Es ist anzumerken, dass Prüfstelle 10 im ersten Arbeitsschritt „Performance“ beim SMA 8 S und AC 16 B S durch niedrige Raumdichten an den Asphalt-Probeplatten auffiel. Für diesen zweiten Schritt wurde beim Walzsektor-Verdichtungsgerät eine neue Steuerung eingebaut und das Gerät auf den aktuellen technischen Stand gebracht.

Auswahl der Asphalt-Probeplatten

Die Zuordnung der Asphalt-Probeplatten für die entsprechenden Performance-Prüfungen erfolgte entweder über die Soll-Dicke der Asphalt-Probeplatten und den Vorgaben der entsprechenden Prüfvorschriften oder falls mehrere Asphalt-Probeplatten mit gleicher Soll-Dicke herzustellen waren, über die Raumdichte.

Auswahl der Probekörper

Für die Spurbildungsversuche wurden, falls möglich, zwei Asphalt-Probeplatten ausgewählt, deren Raumdichten möglichst eng beieinander lagen.

Für die Zugversuche zur Ermittlung der Wasserempfindlichkeit wurden die Probekörper so ausgewählt, dass der Mittelwert der Raumdichten beider Gruppen (nass und trocken) ungefähr gleich lag.

Für die Spaltzug-Schwellversuche, Druck-Schwellversuche sowie Abkühl- und Zugversuche bei -10 °C wurden jeweils für die Versuche zwei bzw. drei Probekörper ausgewählt, deren Raumdichten sehr nah beieinander lagen.

4.1 Splittmastixasphalt SMA 8 S

In diesem Kapitel werden exemplarisch die Ergebnisse der Performance-Prüfungen sowie die zugehörigen Diagramme des SMA 8 S ausführlich beschrieben bzw. gezeigt. Für die anderen Asphaltvarianten werden nur ausgewählte Diagramme bzw. Tabellen angegeben. Die fehlenden Diagramme und Tabellen sind in den jeweiligen Anlagen zu finden.

4.1.1 Asphalt-Probeplatten

Für die Performance-Untersuchungen wurden in jeder Prüfstelle 6 Asphalt-Probeplatten hergestellt. Die Abweichungen der ermittelten Raumdichten zwischen den Prüfstellen sind wieder unabhängig

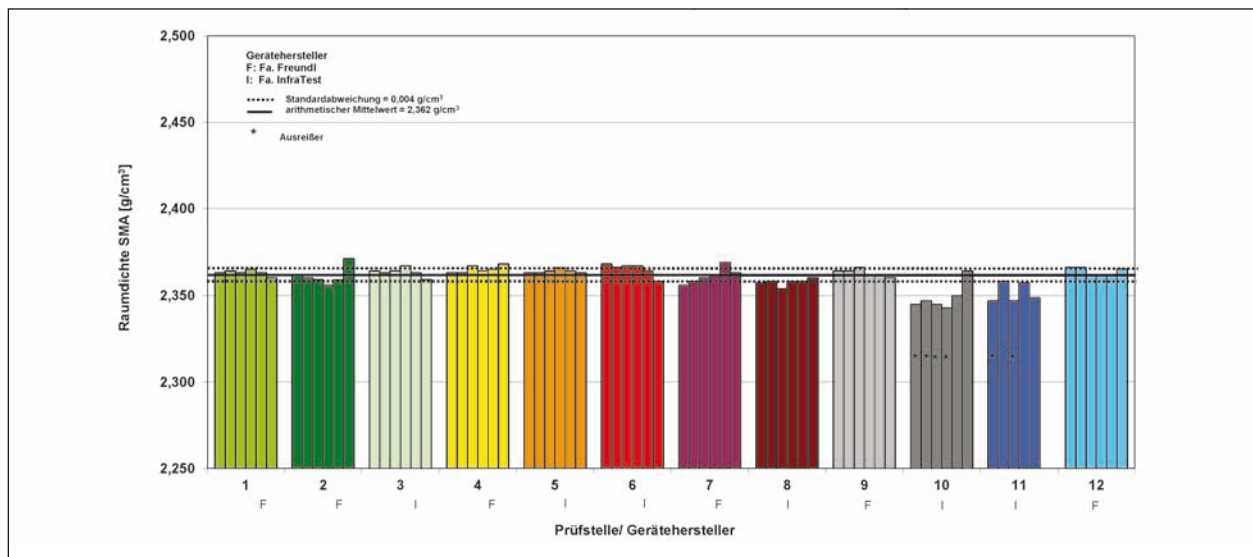


Bild 18: Raumdichten der Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle, SMA 8 S

vom Gerätehersteller als sehr gering einzuschätzen, die Standardabweichung lag bei $0,004 \text{ g/cm}^3$ und damit auf gleichem Niveau wie im Nullzustand (Bild 18).

Ein Vergleich der Raumdichten aus dem Nullzustand und dieses Bearbeitungsschrittes zeigte keine auffälligen Unterschiede.

Als Ausreißer konnten einzelne Asphalt-Probeplatten der Prüfstellen 10 und 11 identifiziert werden, welche niedrigere Raumdichten aufwiesen. Die Überprüfung der Datenaufzeichnung der Prüfstelle 11 zeigt keine Auffälligkeiten, bei Prüfstelle 10 ist keine Datenaufzeichnung möglich.

Der Mittelwertvergleich der Gerätehersteller zeigte im Gegensatz zum Arbeitsschritt „Nullzustand“ keinen signifikanten Unterschied. Für den Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte ergab sich aber ein signifikanter Unterschied.

4.1.2 Performance-Prüfungen

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen sind in Anlage 6 zusammengefasst.

Spurbildungsversuche

Die für die Spurbildungsversuche verwendeten Asphalt-Probeplatten weisen Verdichtungsgrade von $100,1$ bis $101,1$ % auf. Die Spannweite liegt innerhalb der nach TP geforderten Spannweite von $\pm 1,0$ %. Allerdings ist der maximal geforderte Ver-

dichtungsgrad von $101,0$ % bei einzelnen Asphalt-Probeplatten überschritten.

Die Spurrinnentiefe liegt im Mittel bei $2,5$ mm, die proportionale Spurrinnentiefe bei $6,2$ % (Bild 19). Die kritische Spannweite der Einzelwerte ist bei allen Prüfstellen eingehalten.

Um die Ergebnisse und deren Streuungen einordnen zu können, wurde geprüft, ob die Wiederholung und die Vergleichspräzision für die Spurrinnentiefe erfüllt werden. Mit einer Spannweite von $1,9$ mm konnte die Präzision nicht eingehalten werden (Tabelle 5).

Auffällige Ergebnisse zeigen die Asphalt-Probeplatten der Prüfstellen 7 und 8 an denen vergleichsweise hohe Spurrinnentiefen ermittelt wurden, wobei nur das Ergebnis der Asphalt-Probeplatte 1 der Prüfstelle 7 als Ausreißer identifiziert wurde. Die Platten der Prüfstelle 10 deren Raumdichten als Ausreißer erkannt wurden, zeigen keine Auffälligkeiten bei den Ergebnissen im Spurbildungsversuch.

Der Vergleich der aufgezeichneten Verdichtungs-funktionen der Prüfstellen 2, 4 und 7 zeigt, dass die Funktion der Prüfstelle 7 deutlich von den anderen abweicht. Die Hauptverdichtung beginnt bereits nach 40 Übergängen, bei Prüfstelle 2 und 4 erst ab ca. 60 Übergängen (Bild 20). Dies könnte eine Erklärung für die auffällig hohe Spurrinnentiefer der Prüfstelle 7 sein. Die nicht korrekt angewendete Verdichtungs-funktion führte aber hierbei nicht zu einer auffälligen Raumdichte, sondern äußerte sich nur im Ergebnis des Spurbildungsversuches.

Der Mittelwertvergleich der Raumdichte, Spurrin-
nentiefe bzw. der proportionalen Spurrin-
nentiefe zwischen den Geräteherstellern ergab keine signifi-
kanten Unterschiede, dies gilt auch für die Mittel-

wertvergleiche zwischen Prüfstellen mit minimaler
und maximaler Raumdichte mit Ausnahme der
Kenngröße Raumdichte.

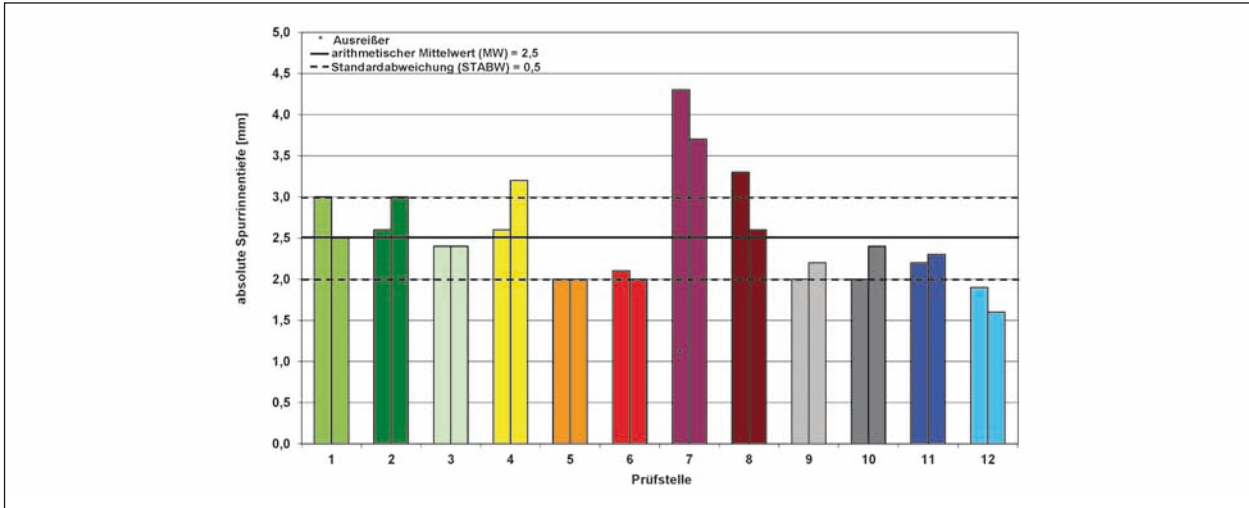


Bild 19: Spurrinrentiefen der Spurbildungsversuche, SMA 8 S

	Raumdichte	Spurrinentiefe	prop. Spurrinentiefe	Spurbildungsrate
	g/cm ³	mm	%	mm bezogen auf 10 ³ Zyklen
Mittelwert	2,362	2,5	6,2	0,05
Standardabweichung	0,004	0,5	1,4	0,01
Spannweite	0,011	1,9	4,8	0,03
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,002	0,4	0,9	0,01

Tab. 5: Übersicht über die Ergebnisse der Spurbildungsversuche für 12 Prüfstellen, SMA 8 S

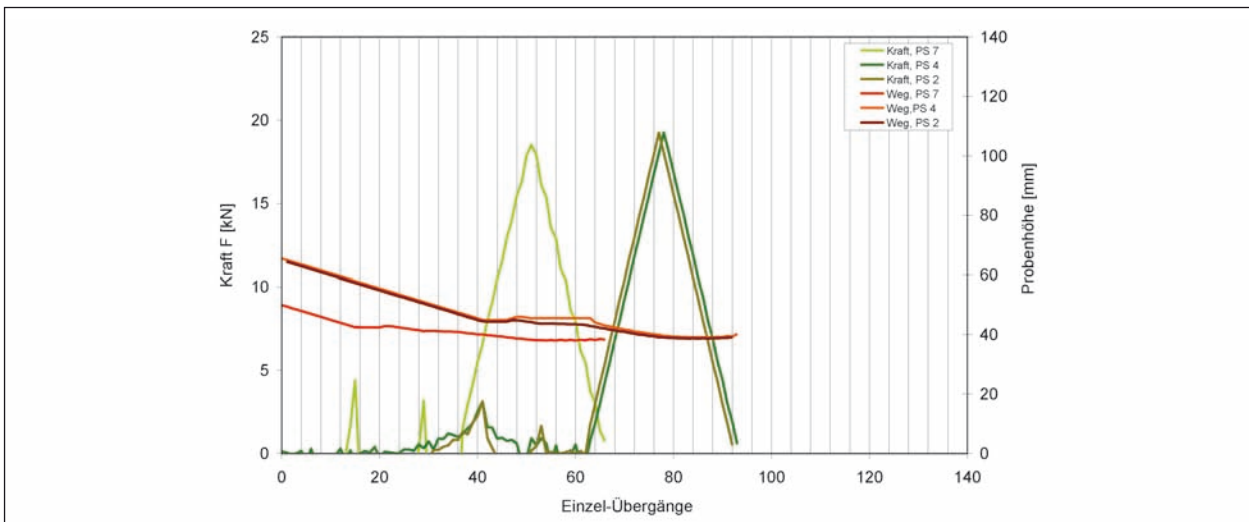


Bild 20: Aufgezeichnete Verdichtungsfunktionen bei der Herstellung von Asphalt-Probepplatten aus SMA 8 S der Prüfstellen 2, 4 und 7

Druck-Schwellversuche

Die Raumdichten der Probekörper liegen in einem engen Bereich, die maximale Spannweite der Raumdichten beträgt nur $0,009 \text{ g/cm}^3$.

Die Impulskriechkurven zeigen keinen Wendepunkt, allerdings erreicht der größte Anteil der Probekörper das Abbruchkriterium der Dehnung von 40 ‰ im Bereich von 500 bis 2.000 Lastwechseln (Bild 21).

Für den Vergleich der Ergebnisse der Prüfstellen wurden die Dehnung und die Dehnungsrate am Ende des Versuches herangezogen.

Die Dehnungsraten weisen eine Spannweite von $4,3 \text{ ‰} \cdot 10^{-4}/n$ auf, somit ist sowohl die Wiederhol- als auch die Vergleichspräzision für 12 ermittelte Ergebnisse auf Basis der Standardabweichungen für die Präzision des Verfahrens nach TP eingehalten (Tabelle 6).

Der Mittelwertvergleich zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Raumdichten

und der Dehnung beider Hersteller gibt. Bei der Dehnungsrate wurde ein signifikanter Unterschied ermittelt.

Der Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichten (Prüfstelle 9 und 12) ergab für die Dehnung und die Dehnungsrate keine signifikanten Unterschiede. Bei der Raumdichte wurde ein signifikanter Unterschied ermittelt.

Zentrischer Zugversuch

Bei den zentrischen Zugversuchen ließ sich keine eindeutige Tendenz erkennen. Teilweise verbesserte sich die Zugfestigkeit nach der Wasserlagerung (Prüfstelle 4 und 5). Das Verhältnis der Zugfestigkeiten vor und nach Wasserlagerung liegt im Mittel bei 97 %, d. h. eine Auswirkung der Wasserlagerung auf die Zugfestigkeit ist nicht festzustellen, was auf die sehr dichten Probekörper zurückzuführen sein könnte.

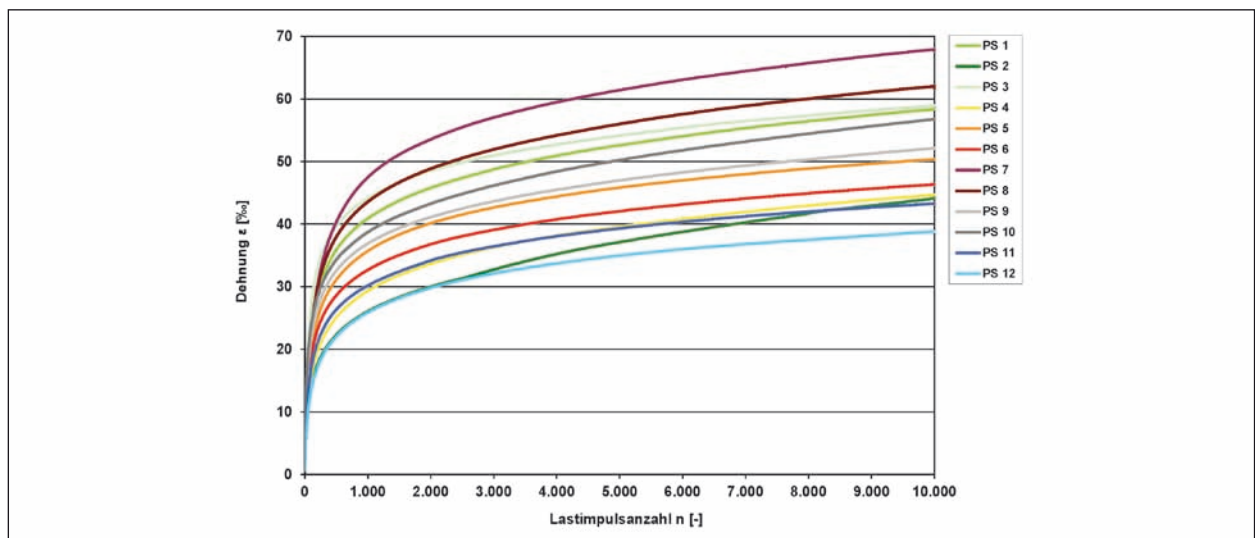


Bild 21: Impulskriechkurven von Einzelproben der Druck-Schwellversuche für 12 Prüfstellen, SMA 8 S

	Raumdichte	Dehnung	Dehnungsrate
	g/cm^3	‰	$\text{‰} \cdot 10^{-4}/n$
Mittelwert	2,372	52,4	8,4
Standardabweichung	0,003	7,9	1,5
Spannweite	0,009	24,5	4,3
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	ja
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,001	0,7	1,2

Tab. 6: Übersicht über die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche für 12 Prüfstellen, SMA 8 S

Die Probekörper der Prüfstelle 10, welche bezüglich der Raumdichte alle als Ausreißer identifiziert wurden, zeigten keine auffälligen Ergebnisse.

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.

Spaltzug-Schwellversuche

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte bei 20 °C und einer einheitlichen Ober-spannung von 0,4 MPa.

Die Raumdichten der Probekörper liegen in einem engen Bereich mit einer Standardabweichung von 0,005 g/cm³, innerhalb der Prüfstellen sogar bei

0,002 g/cm³. Die maximale Spannweite beträgt 0,016 g/cm³.

Das Ermüdungsdiagramm (Lastwechselzahlen N_{makro} und anfängliche elastische Dehnung) mit Ergebnissen aller Prüfstellen zeigt, dass sich große Streuungen der Lastwechselzahlen N_{makro} ergeben (Bild 22 oben).

Die entsprechenden Steifigkeitsmoduln, die über die anfängliche elastische Dehnung ermittelt wurden, zeigen eine relativ geringe Standardabweichung von 348 MPa (Bild 22 unten).

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Geräteherstellern zeigten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Raumdichten und der Dehnungen (Tabelle 7). Für die Steifigkeitsmoduln und die Lastwechselzahlen N_{makro} hingegen, wurden signifikanten Unterschiede ermittelt. Ein Mittelwertvergleich

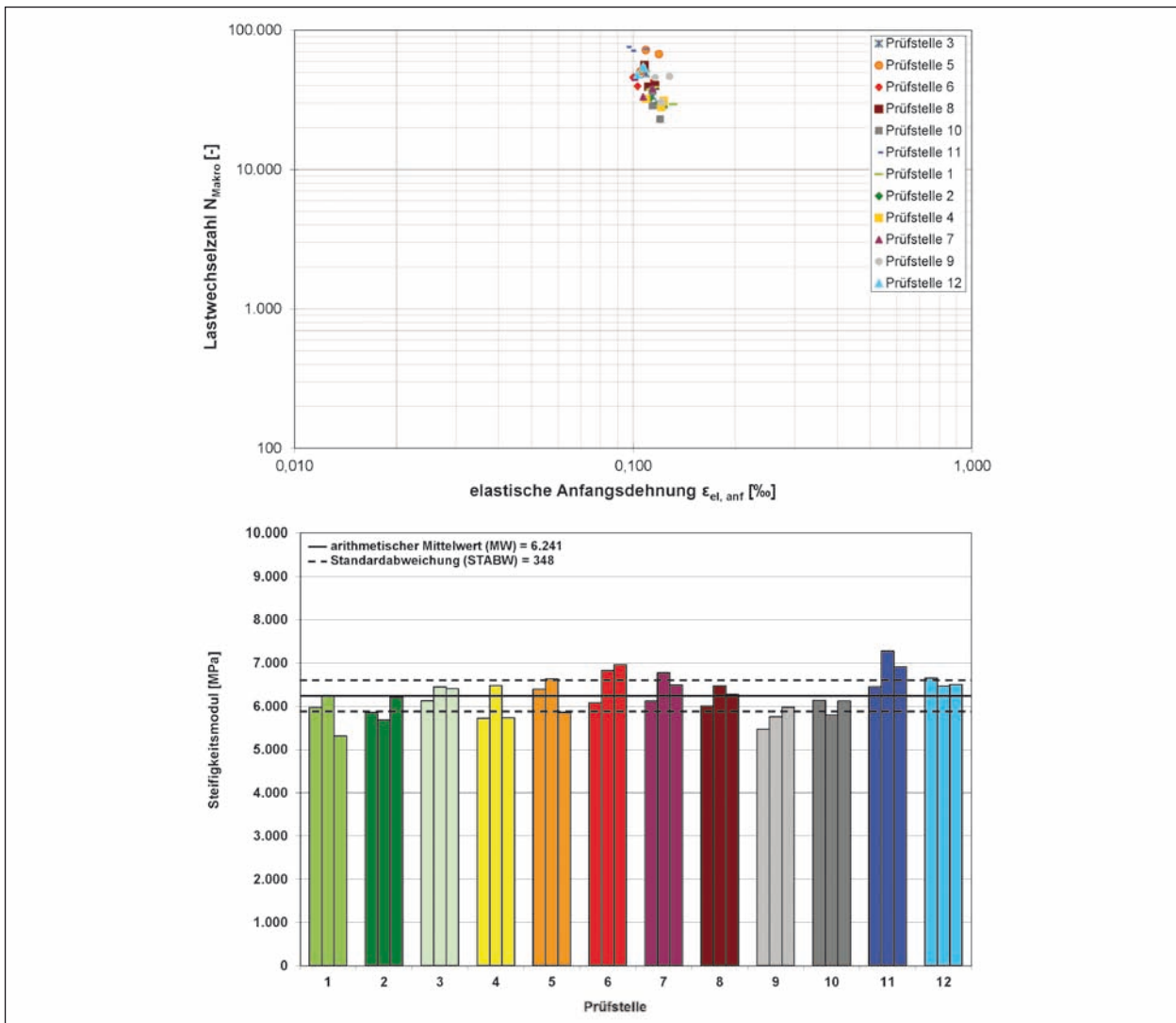


Bild 22: Dehnungsabhängiges Ermüdungsdiagramm (oben) und Steifigkeitsmoduln (unten) der Spaltzug-Schwellversuche, SMA 8 S

	Raumdichte	Lastwechselzahl N_{makro}	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm^3	-	‰	MPa
Mittelwert	2,370	43.221	0,113	6.241
Standardabweichung	0,005	13.610	0,007	348
Spannweite	0,016	43.775	0,021	1.140
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	ja	nein	ja
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,000	10.560	0,005	321

Tab. 7: Übersicht über die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche für 12 Prüfstellen, SMA 8 S

zwischen Prüfstellen mit Probekörpern von minimaler und maximaler Raumdichte zeigte das gleiche Ergebnis.

Abkühlversuche

Da die Beauftragung der Herstellung einer weiteren Asphalt-Probepalte für die Abkühlversuche an SMA 8 S erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte, konnte von Prüfstelle 11 keine weitere Asphalt-Probepalte mehr hergestellt werden, sodass nur Ergebnisse von 11 Prüfstellen vorliegen.

Die Bruchtemperaturen zeigen keine Auffälligkeiten und liegen mit einer Standardabweichung von 0,9 °C und einer mittleren Bruchtemperatur von -22,1 °C eng beieinander (Bild 23).

Bei den Abkühlversuchen wurde nur bei Prüfstelle 5 mit 0,8 K die nach TP geforderte zulässige Spannweite der Einzelwerte von 0,6 K bei der Bruchtemperatur überschritten. Bei der Bruchspannung

wurde der Variationskoeffizient der zulässigen Spannweite von 4,2 % bei Prüfstelle 9 geringfügig überschritten.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt bei der Raumdichte und Bruchspannung keinen signifikanten Unterschied, beim Merkmal Bruchtemperatur allerdings zeigte sich ein signifikanter Unterschied (Tabelle 8).

Zur Bewertung der Ergebnisse wurde die im Arbeitspapier [14] vorgeschlagene Einordnung der Bruchtemperaturen in Abhängigkeit der Asphaltart zu Frosteinwirkungszonen der RStO 01 herangezogen. Alle Ergebnisse der Bruchtemperaturen liegen im Bereich der für eine Asphaltdeckschicht in Frosteinwirkungszone II gefordert wird. D. h. unabhängig vom Gerätehersteller bzw. von der Prüfstelle ergeben sich Bruchtemperaturen für den SMA 8 S, die alle der gleichen Kategorie entsprechen.

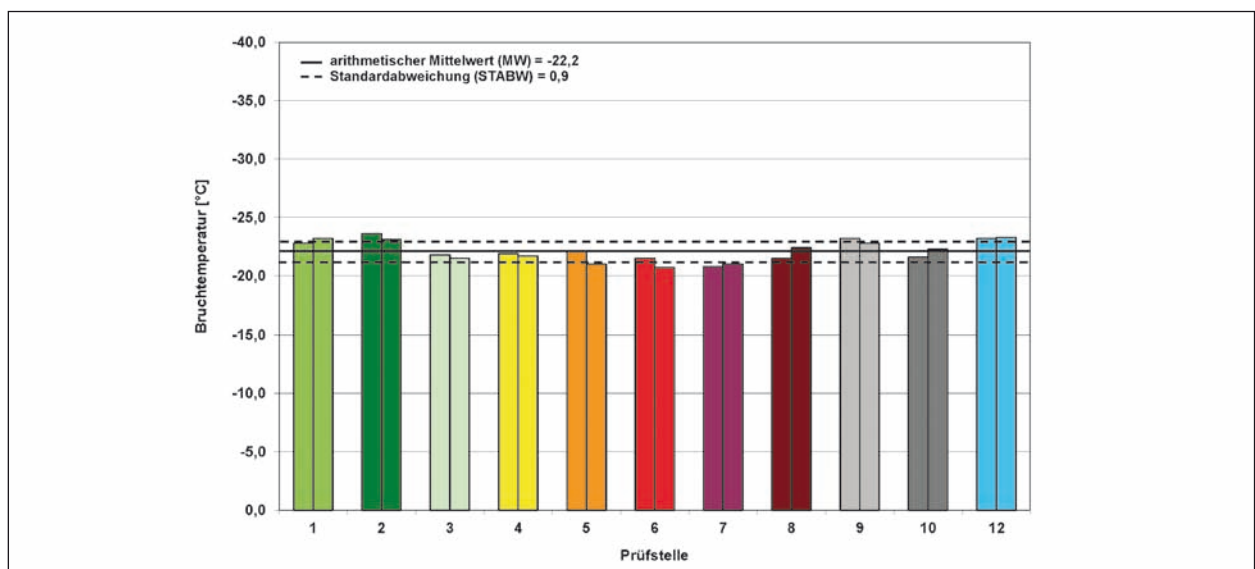


Bild 23: Bruchtemperaturen der Abkühlversuche, SMA 8 S

	Raumdichte	Bruchtemperatur	Bruchspannung
	g/cm ³	°C	MPa
Mittelwert	2,372	-22,2	4,676
Standardabweichung	0,004	0,9	0,201
Spannweite	0,011	2,5	0,580
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	ja	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freund und Fa. infraTest	0,001	1,0	0,052

Tab. 8: Übersicht über die Ergebnisse der Abkühlversuche für 11 Prüfstellen, SMA 8 S

4.2 Asphaltbinder AC 16 B S (hohlraumreich)

4.2.1 Asphalt-Probepplatten

Für die Performance-Untersuchungen wurden in jeder Prüfstelle fünf Asphalt-Probepplatten hergestellt, mit einer mittleren Raumdichte (MW = 2,317 g/cm³) entsprechend des Nullzustandes (MW = 2,318 g/cm³) und einer verringerten Standardabweichung (Bild 24). Allerdings fielen erneut drei Asphalt-Probepplatten der Prüfstelle 7 durch hohe Raumdichten auf, vergleichsweise niedrige Raumdichten ergaben sich wieder bei drei Asphalt-Probepplatten der Prüfstelle 10, sowie jeweils eine Asphalt-Probepplatte der Prüfstellen 11 und 12. Diese wurden als Ausreißer identifiziert.

Die Mittelwertvergleiche zeigen, im Gegensatz zum Nullzustand, dass die Raumdichten der Asphalt-

Probepplatten beider Gerätehersteller nicht signifikant unterschiedlich sind. Die Differenzen der Mittelwerte der Raumdichten beider Hersteller minimierten sich hier auf 0,004 g/cm³, im Nullzustand lag dieser Unterschied noch deutlich höher bei 0,012 g/cm³. Allerdings zeigte der Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler mittlerer Raumdichte einen signifikanten Unterschied.

4.2.2 Performance-Prüfungen

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen sind in Anlage 7 zusammengefasst.

Spurbildungsversuche

Die für die Spurbildungsversuche verwendeten Asphalt-Probepplatten weisen Verdichtungsgrade von 100,0 bis 101,4 % auf. Asphalt-Probepplatten

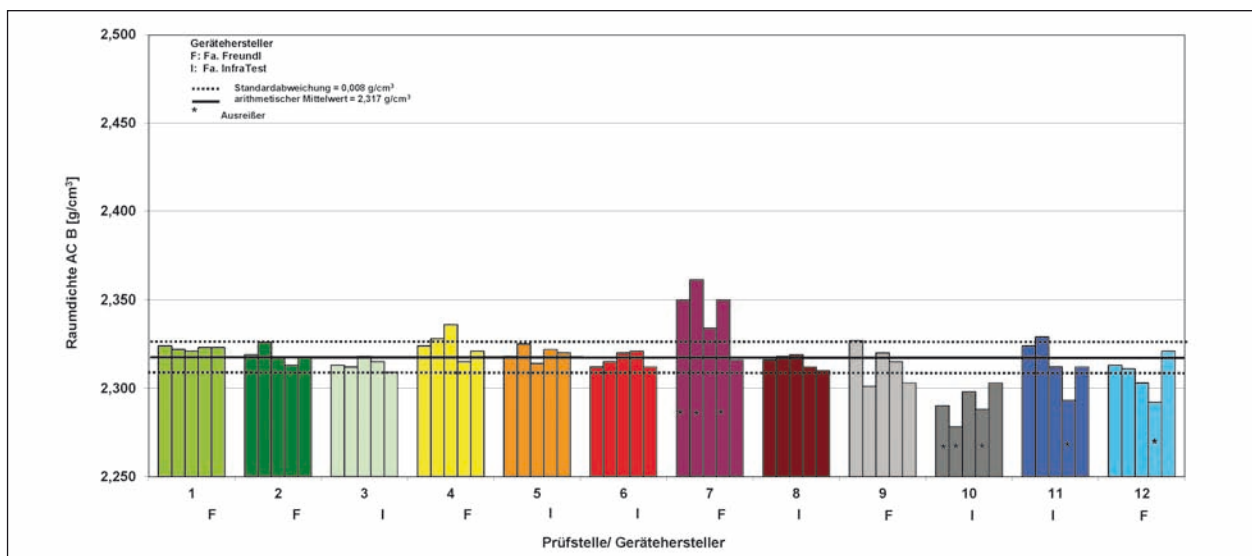


Bild 24: Raumdichten der Asphalt-Probepplatten je Prüfstelle, AC 16 B S (hohlraumreich)

	Raumdichte	Spurrinntiefe	prop. Spurrinntiefe	Spurbildungsrate
	g/cm ³	mm	%	mm bezogen auf 10 ³ Zyklen
Mittelwert	2,317	1,6	2,5	0,04
Standardabweichung	0,007	0,2	0,3	0,01
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,001	0,0	0,2	0,01

Tab. 9: Übersicht über die Ergebnisse der Spurbildungsversuche für 12 Prüfstellen, AC 16 B S (hohlraumreich)

deren Verdichtungsgrad unter- bzw. oberhalb dieser Grenzen liegt, wurden als Ausreißer identifiziert. Mit einer Spannweite von 1,4 % liegen die Verdichtungsgrade innerhalb der nach TP geforderten Spannweite von $\pm 1,0$ %. Allerdings ist der maximal geforderte Verdichtungsgrad von 101,0 % bei einzelnen Asphalt-Probepplatten überschritten.

Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche liegen in einem engen Bereich mit einem Mittelwert von 1,6 mm und einer vergleichsweise geringen Standardabweichung von 0,2 mm.

Für die Versuche der Prüfstelle 7 wurde eine als Ausreißer identifizierte Asphalt-Probepplatte eingesetzt. Das Ergebnis zeigt aber keine Auffälligkeiten gegenüber der zweiten Asphalt-Probepplatte bzw. gegenüber den Asphalt-Probepplatten der anderen Prüfstellen. Dasselbe gilt auch für die Asphalt-Probepplatten der Prüfstellen 11 und 12, welche als Ausreißer identifiziert wurden. Geringfügig erhöhte Spurrinntiefen ergaben sich bei Prüfstelle 10, deren Raumdichten vergleichsweise niedrig lagen.

Die Mittelwertvergleiche der Kenngrößen Raumdichte, Spurrinntiefe und proportionale Spurrinntiefe zwischen beiden Herstellern ergaben keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 9).

Druck-Schwellversuche

Die Druck-Schwellversuche wurden zunächst an Prüfstellen mit Extremwerten der Raumdichte (Maximum und Minimum) innerhalb der Gerätehersteller durchgeführt (Prüfstellen 5 und 10 sowie 7 und 12). Hierbei zeigte sich, dass die Ergebnisse extrem von der Oberflächenbeschaffenheit der Probekörper abhingen (Bild 25). Diese erwies sich als inhomogen aufgrund der hohen Hohlraumge-

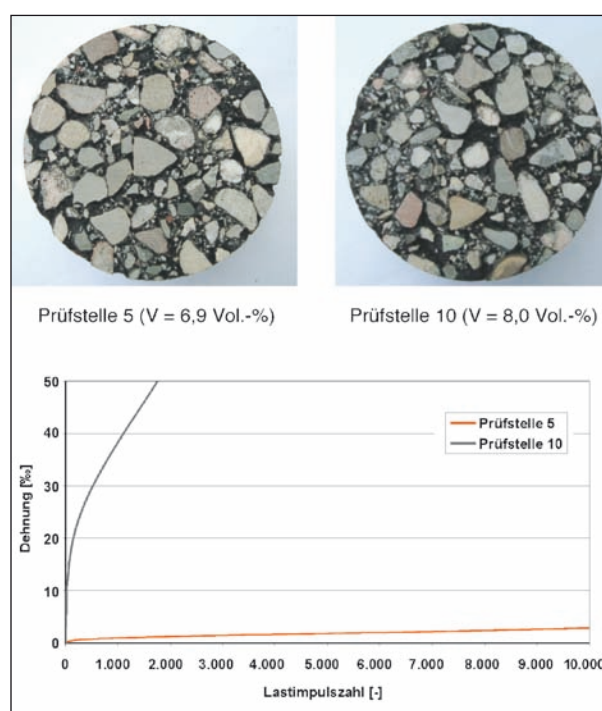


Bild 25: Probekörper für die Druck-Schwellversuche (oben) und die zugehörigen Impulskriechkurven (unten)

halte, was zu einer inhomogenen Lasteintragung und somit zu Spannungsspitzen führte. Dies lässt sich deutlich am Beispiel in Bild 25, oben rechts zeigen: Hier sind die Impulskriechkurven von jeweils einem Probekörper der Prüfstellen 5 und 10 dargestellt. Der hohlraumreiche Probekörper der Prüfstelle 10 erreicht schon nach 1.000 Lastimpulsen das Abbruchkriterium von 40,0 ‰. Der dichtere Probekörper der Prüfstelle 5 hingegen, hat nach 10.000 Lastimpulsen eine Dehnung von 33,7 ‰ erreicht.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde gemeinsam mit dem Betreuungsausschuss beschlossen, keine weiteren Druck-Schwellversuche an der hohlraumreichen Asphaltbindervariante durchzuführen.

Zentrischer Zugversuch

Die zentrischen Zugversuche wurden an denselben Prüfstellen durchgeführt wie die Druck-Schwellversuche. Auch hier führten Fehlstellen an den Probekörpern zu Spannungsspitzen und damit zum vorzeitigen Versagen (Bild 26).

Eine Systematik bezüglich der Raumdichte und den Ergebnissen der Zugversuche ließ sich nicht erken-

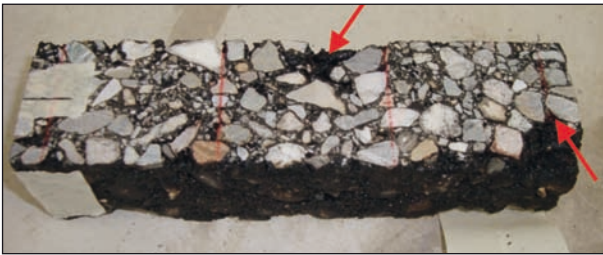


Bild 26: Prismatischer Probekörper mit Fehlstellen für die Zugversuche aus hohlraumreichem AC 16 B S

nen. Bei den dichteren Probekörpern der Prüfstelle 7 ergab sich ein Verhältnis der direkten Zugfestigkeiten von 64 %, bei den hohlraumreicheren der Prüfstelle 12 ein Verhältnis von 109 %, da sich eine höhere Zugfestigkeit nach der Wasserlagerung einstellte.

Aufgrund dessen wurde auch hier auf weitere Versuche an den anderen Probekörpern der Prüfstellen verzichtet.

Spaltzug-Schwellversuche

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte bei 20 °C und einer einheitlichen Oberspannung von 0,4 MPa.

Das Ermüdungsdiagramm (Lastwechselzahlen N_{makro} und anfängliche elastische Dehnung) mit Ergebnissen aller Prüfstellen zeigt große Streuungen der Lastwechselzahlen N_{makro} (Bild 27, oben).

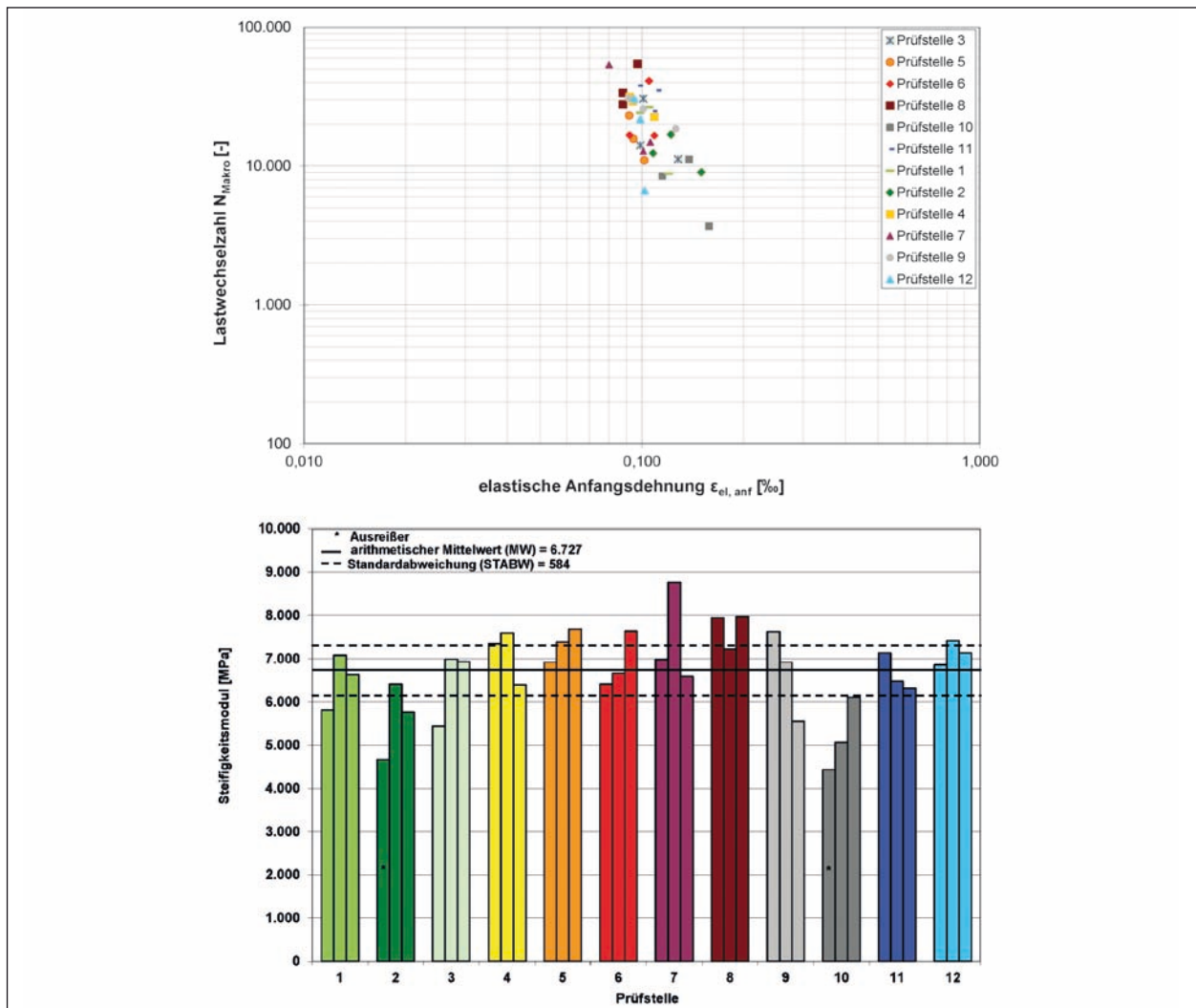


Bild 27: Dehnungsabhängiges Ermüdungsdiagramm (oben) und Steifigkeitsmoduln (unten) der Spaltzug-Schwellversuche, AC 16 B S (hohlraumreich)

Die Asphalt-Probekplatten der Prüfstellen 7 und 10 wurden bei der Untersuchung der Raumdichte als Ausreißer identifiziert. Beim Probekörper 2 der Prüfstelle 7 mit dem geringsten Hohlraumgehalt ($V = 4,7 \text{ Vol.-%}$), ergab sich die zweithöchste Lastwechselzahl bzw. der höchste Steifigkeitsmodul, umgekehrt ergab sich beim Probekörper mit dem höchsten Hohlraumgehalt (Prüfstelle 10, Probekörper 1) die geringste Lastwechselzahl und Steifigkeitsmodul.

Die Streuungen der Raumdichten der Probekörper zeigen sich, bei den über die anfängliche elastische Dehnung ermittelten Steifigkeitsmoduln, nur geringfügig (Bild 27, unten). Die Standardabweichung liegt bei 584 MPa. Als Ausreißer wurden allerdings der oben benannte Probekörper der Prüfstelle 10 sowie ein ebenfalls durch ein vergleichsweise geringes Steifigkeitsmodul auffälliger Probekörper der Prüfstelle 2 ermittelt.

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Gerätehersteller ergaben bei den Kenngrößen Lastwechselzahl N_{makro} , Steifigkeitsmodul und Dehnung keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 10). Dies zeigte auch der Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte.

4.3 Asphalttragschicht AC 32 T S

4.3.1 Asphalt-Probekplatten

Zur Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche wurden jeweils zwei Asphalt-Probekplatten hergestellt, deren mittlere Raumdichte entspricht der des Nullzustandes (Bild 28), die Standardabweichung verringerte sich geringfügig zum Nullzustand. Die im Nullzustand auffälligen Asphalt-Probekplatten der Prüfstellen 7, 9 und 11 zeigen hier keine Auffälligkeiten mehr. Erwartungsgemäß führte die nochmalige Überprüfung der Vorgehensweise bei der Her-

	Raumdichte	Lastwechselzahl N_{makro}	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm^3	-	$\%$	MPa
Mittelwert	2,334	22.565	0,107	6.727
Standardabweichung	0,012	8.504	0,013	584
Spannweite	0,042	30.778	0,046	2.125
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,009	1.134	0,003	205

Tab. 10: Übersicht über die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche für 12 Prüfstellen, AC 16 B S (hohlraumreich)

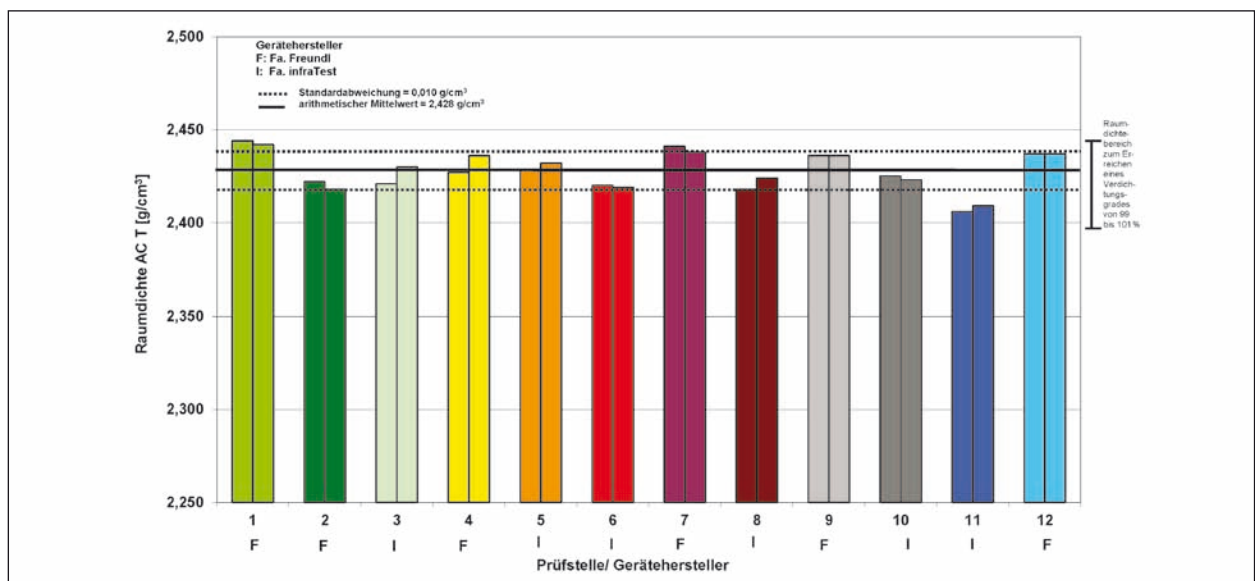


Bild 28: Raumdichten der Asphalt-Probekplatten je Prüfstelle, AC 32 T S

stellung der Asphalt-Probepplatten in diesen Prüfstellen zu verträglicheren Ergebnissen bzgl. der Raumdichte.

Sowohl der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern als auch zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte zeigten signifikante Unterschiede.

4.3.2 Performance-Prüfungen

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen sind in Anlage 8 zusammengefasst.

Spaltzug-Schwellversuche

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte bei 20 °C und einer einheitlichen Ober-spannung von 0,5 MPa.

Die Raumdichten der Probekörper unterscheiden sich geringfügig (Standardabweichung =

0,006 g/cm³). Die Streuungen der Lastwechselzahlen N_{makro} liegen im Bereich der beiden o. g. Asphaltvarianten.

Die entsprechenden Steifigkeitsmoduln, die über die anfängliche elastische Dehnung ermittelt wurden, zeigen eine geringe Standardabweichung von 832 MPa (Tabelle 11).

Die Probekörper der Asphalttragschicht weisen bei allen Prüfstellen geringe Hohlraumgehalte auf (V = 2,6 bis 3,8 Vol.-%). Auffällig sind die Raumdichten der Probekörper der Prüfstelle 11, welche einen vergleichsweise hohen Hohlraumgehalt von 3,8 Vol.-% aufweisen und gleichzeitig auffällig niedrige Lastwechselzahl N_{makro} erreichen. Umgekehrt verhält es sich mit den Probekörpern der Prüfstelle 8, außerdem ergaben sich hier die höchsten Steifigkeitsmoduln (Bild 29). Die Raumdichten der gesamten Asphalt-Probepplatten der Prüfstelle 8 wiesen keine auffällig hohen Raumdichten auf,

	Raumdichte	Lastwechselzahl N_{makro}	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm ³	-	‰	MPa
Mittelwert	2,447	25.110	0,074	12.168
Standardabweichung	0,006	6.991	0,005	832
Spannweite	0,02	26.374	0,015	2.603
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	ja	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,001	3.591	0,004	611

Tab. 11: Übersicht über die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche für 12 Prüfstellen, AC 32 T S

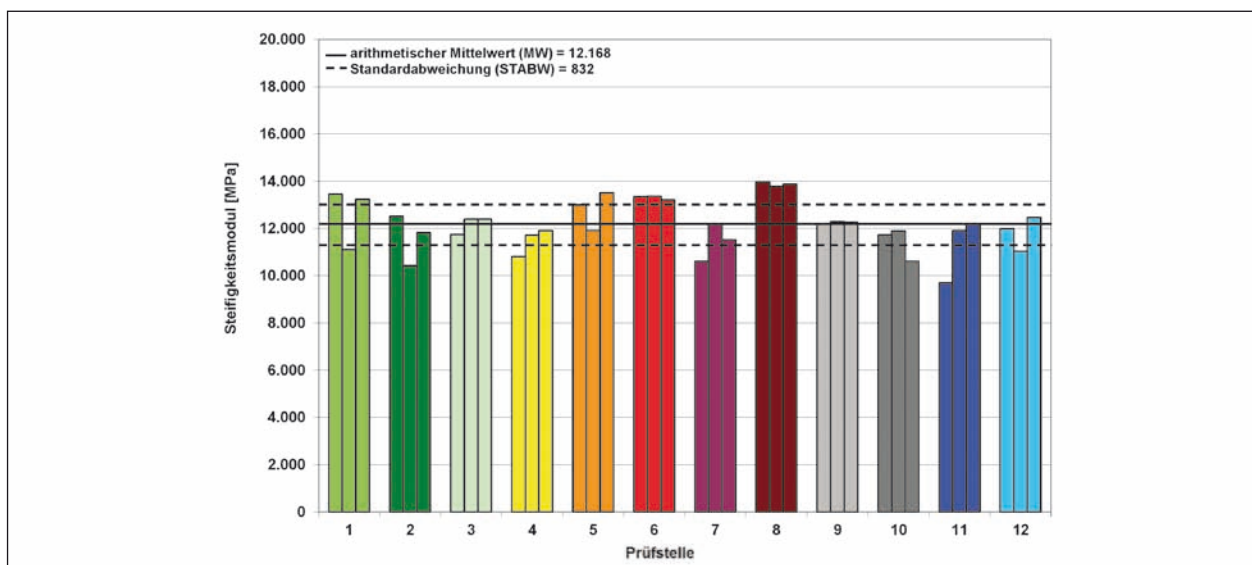


Bild 29: Steifigkeitsmoduln der Spaltzug-Schwellversuche, AC 32 T S

allerdings ergaben sich bei den vier ausgebohrten Probekörpern vergleichsweise höhere Raumdichten. Bei dieser Prüfstelle sind die Asphalt-Probepplatten länger (41 mm), deshalb werden die Probekörper im Innenbereich ausgebohrt – der weniger verdichtete Außenbereich der Asphalt-Probepplatte bleibt unberührt.

Die Mittelwertvergleiche zeigen weder bei der Lastwechselzahlen N_{makro} noch bei den Steifigkeitsmoduln signifikante Unterschiede. Allerdings ergaben sich bei der Dehnung signifikante Unterschiede. Der Mittelwert-Vergleich zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte ergab für alle Kenngrößen signifikante Unterschiede.

4.4 Asphaltbetondeckschicht AC 11 D S

4.4.1 Asphalt-Probepplatten

Für die Raumdichten der Asphalt-Probepplatten des AC 11 D S ergibt sich ein Mittelwert von $2,358 \text{ g/cm}^3$ und eine geringe Standardabweichung von $0,006 \text{ g/cm}^3$ (Bild 30). Auffällige Raumdichten von allen Asphalt-Probepplatten der Prüfstelle 9 (hohe Raumdichten) sowie zwei der Prüfstelle 12 (niedrige Raumdichten) wurden als Ausreißer identifiziert. Eine Überprüfung des Verdichtungsmanagements war hier aber wegen der fehlenden Datenaufzeichnungsmöglichkeit nicht möglich.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Raumdichten beider Gerätehersteller ergab einen nicht signifikanten Unterschied. Ein Vergleich der Prüfstellen

mit minimaler und maximaler Raumdichten ergab allerdings signifikante Unterschiede.

4.4.2 Performance-Prüfungen

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen sind in Anlage 9 zusammengefasst.

Spurbildungsversuche

Die für die Spurbildungsversuche verwendeten Asphalt-Probepplatten weisen, mit Ausnahme der Prüfstelle 9, Verdichtungsgrade von 100,0 bis 101,0 % auf und liegen damit innerhalb der Toleranz nach TP.

Der Mittelwert der Spurrinnentiefe liegt bei 3,7 mm mit einer Standardabweichung von 1,2 mm (Bild 31). Die kritische Spannweite der Einzelwerte ist bei allen Prüfstellen, bis auf Prüfstelle 1, eingehalten.

Auffällig sind hier vor allem die Ergebnisse der Prüfstelle 9 mit vergleichsweise hohen Spurrinnentiefen, wobei der Einzelwert mit einer Spurrinnentiefe von 8,4 mm als Ausreißer ermittelt wurde. Die beiden verwendeten Asphalt-Probepplatten dieser Prüfstelle wurden bezüglich der Raumdichte als Ausreißer identifiziert, da sie eine vergleichsweise hohe Raumdichte aufweisen und somit auch den geforderten maximalen Verdichtungsgrad von 101,0 % überschreiten.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigte bis auf die Raumdichten einen signifikanten Unterschied bei der Spurrinnentiefe, proportionalen Spurrinnentiefe und Spurbildungsrate (Tabelle 12).

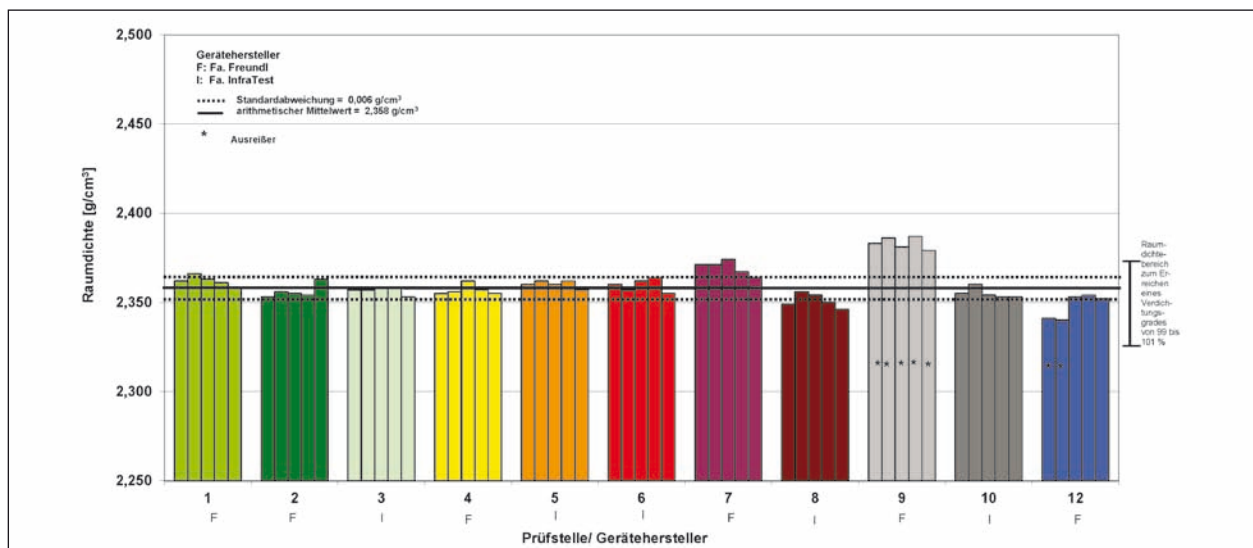


Bild 30: Raumdichten der Asphalt-Probepplatten je Prüfstelle, AC 11 D S

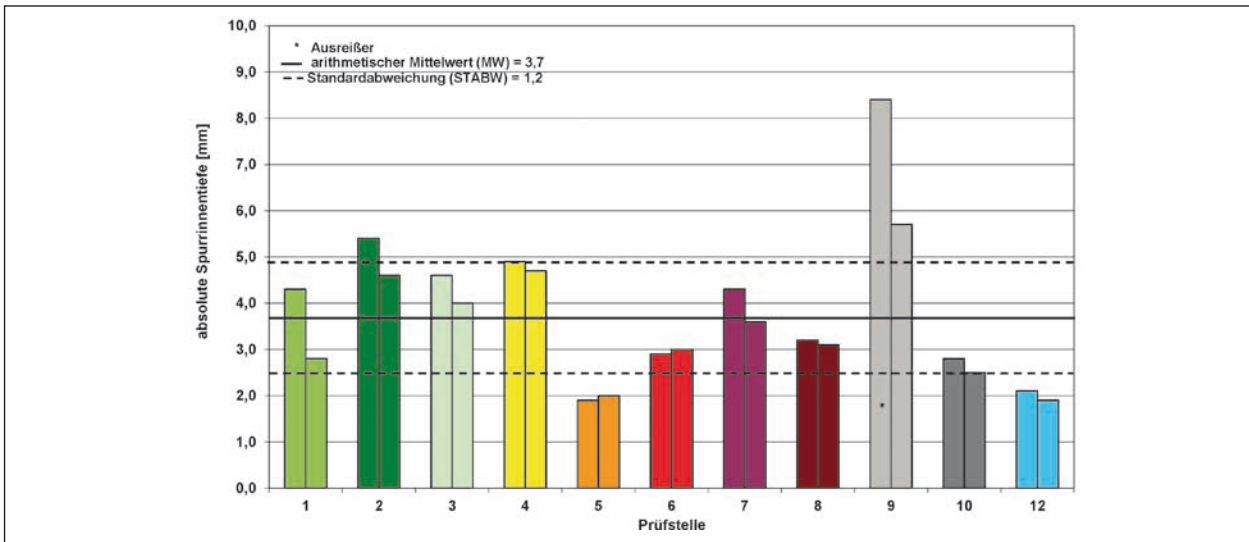


Bild 31: Spurrinntiefen der Spurbildungsversuche, AC 11 D S

	Raumdichte	Spurrinntiefe	prop. Spurrinntiefe	Spurbildungsrate
	g/cm ³	mm	%	mm bezogen auf 10 ³ Zyklen
Mittelwert	2,361	3,7	9,0	0,18
Standardabweichung	0,010	1,2	3,0	0,10
Spannweite	0,021	3,7	9,3	0,29
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	ja	ja	ja
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,008	1,2	2,9	0,09

Tab. 12: Übersicht über die Ergebnisse der Spurbildungsversuche für 11 Prüfstellen, AC 11 D S

	Raumdichte	Dehnung bei 5.000 LW	Dehnungsrate bei 5.000 LW
	g/cm ³	‰	‰ · 10 ⁻⁴ /n
Mittelwert	2,371	39,0	18,4
Standardabweichung	0,007	8,1	4,7
Spannweite	0,028	26,3	16,3
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,002	2,9	0,8

Tab. 13: Übersicht über die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche für 11 Prüfstellen, AC 11 D S

Druck-Schwellversuche

Da die Impulskriechkurven teilweise Wendepunkte zeigen, wurde um einen Vergleich zwischen den Ergebnissen ziehen zu können, die Dehnung und die Dehnungsrate bei Lastwechsel 5.000 betrachtet. Bis zu diesem Lastwechsel wurde bei keinem Probekörper ein Wendepunkt erreicht.

Die Dehnungsraten bei Lastwechsel 5.000 liegen im Mittel bei 18,4 ‰ · 10⁻⁴/n mit einer Standardabweichung von 4,7 ‰ · 10⁻⁴/n.

Der Mittelwertvergleich zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Raumdichten, der Dehnung und der Dehnungsrate zwischen Prüfstellen, mit minimaler und maximaler Raumdichte, gibt (Tabelle 13).

Spaltzug-Schwellversuche

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte bei 20 °C und einer einheitlichen Ober-
spannung von 0,4 MPa.

Die Streuungen der Lastwechselzahlen N_{makro} liegen im Bereich der drei oben beschriebenen anderen Asphaltvarianten.

Die entsprechenden Steifigkeitsmoduln, die über die anfängliche elastische Dehnung ermittelt wurden, zeigen eine relativ geringe Standardabweichung von 484 MPa (Bild 32).

Beim Vergleich der Lastwechselzahlen N_{makro} von Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichten ($\Delta = 0,026 \text{ g/cm}^3$) ergeben sich keine Unterschiede (z. B. siehe Prüfstelle 12 (minimale Raumdichte): LW = 51.547 und 9 (maximale Raumdichte): LW = 51.947. Die Asphalt-Probeplatten sowie die ausgebohrten Probekörper dieser

beiden Prüfstellen wurden als Ausreißer identifiziert.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte ergab für alle Kenngrößen signifikante Unterschiede (Tabelle 14). Beim Vergleich der Gerätehersteller wurde für alle Kenngrößen keine signifikanten Unterschiede ermittelt.

Abkühlversuche

Bei den Abkühlversuchen wurde bei den Prüfstellen 1, 4 und 6 die nach TP geforderte zulässige Spannweite der Einzelwerte von 0,6 K bei der Bruchtemperatur überschritten. Bei der Bruchspannung wurde der Variationskoeffizient der zulässigen Spannweite von 4,2 % bei Prüfstellen 2 und 8 geringfügig überschritten. Bei Prüfstelle 9 sind die beiden Probekörper aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Raumdichte als Ausreißer

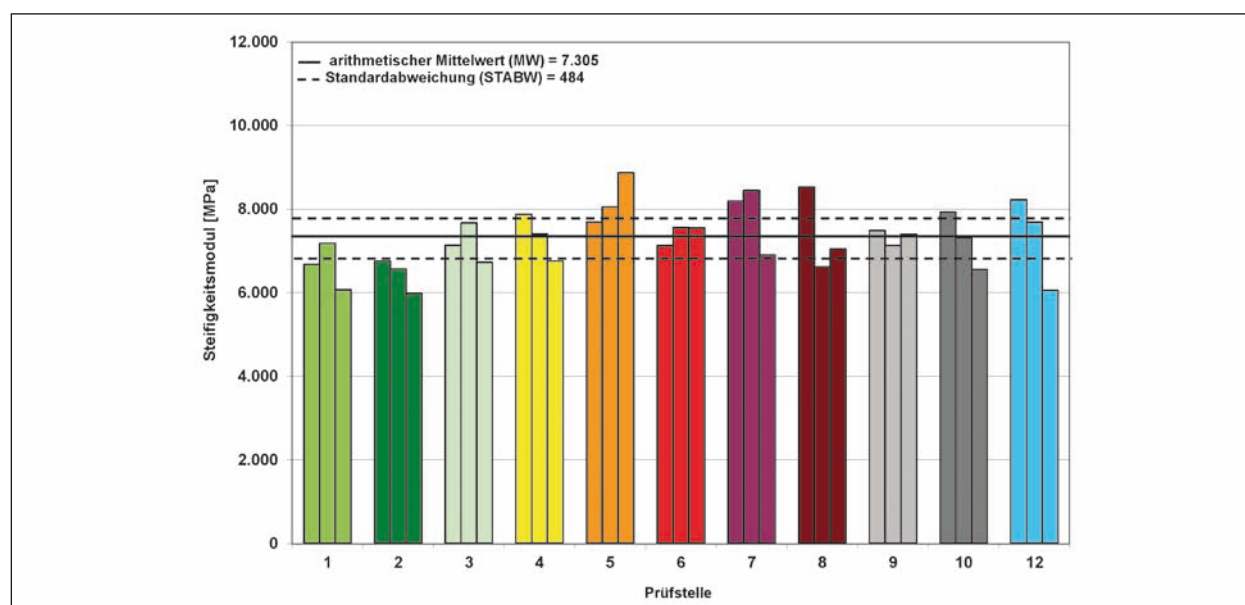


Bild 32: Steifigkeitsmoduln der Spaltzug-Schwellversuche, AC 11 D S

	Raumdichte	Lastwechselzahl N_{makro}	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm^3	-	‰	MPa
Mittelwert	2,372	50.906	0,095	7.305
Standardabweichung	0,007	18.972	0,007	484
Spannweite	0,026	61.014	0,023	1.772
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,001	11.026	0,006	335

Tab. 14: Übersicht über die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche für 11 Prüfstellen, AC 11 D S

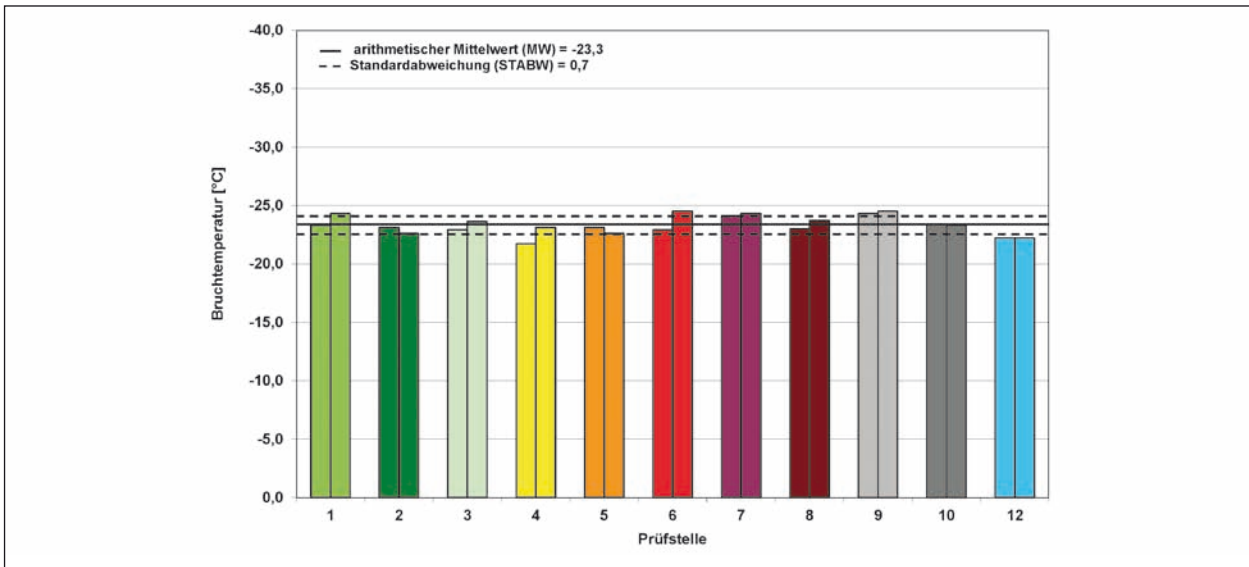


Bild 33: Bruchtemperaturen der Abkühlversuche, AC 11 D S

	Raumdichte	Bruchtemperatur	Bruchspannung
	g/cm ³	°C	MPa
Mittelwert	2,372	-23,3	4,911
Standardabweichung	0,006	0,7	0,230
Spannweite	0,018	2,2	0,761
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,002	0,0	0,184

Tab. 15: Übersicht über die Ergebnisse der Abkühlversuche für 11 Prüfstellen, AC 11 D S

ermittelt worden. Die Bruchtemperaturen dieser Prüfstelle sind nicht auffällig und die Bruchspannungen sind, im Vergleich zu den anderen Prüfstellen, leicht erhöht, wurden aber nicht als Ausreißer identifiziert.

Die Bruchtemperaturen zeigen keine Auffälligkeiten und liegen mit einer Standardabweichung von 0,8 °C und einer mittleren Bruchtemperatur von -23,3 °C eng beieinander. Alle Ergebnisse liegen somit im Bereich, der für eine Asphaltdeckschicht in Frosteinwirkungszone II nach RStO 01 gefordert wird (siehe Bild 33).

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt bei der Raumdichte, Bruchtemperatur und Bruchspannung keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 15).

Zugversuche

Die Zugversuche erreichen bei allen Prüfstellen die nach Arbeitspapier [14] geforderte Zugfestigkeit bei -10 °C von $\geq 4,0$ MPa. Im Mittel liegt diese bei 5,5 MPa mit einer Standardabweichung von 0,5 MPa (Bild 34). Die nach Arbeitspapier geforderte Bruchdehnung von 0,4 ‰ ist ebenfalls bei allen Prüfstellen eingehalten.

Der geforderte Variationskoeffizient der zulässigen Spannweite der Einzelwerte für die Zugfestigkeit und vor allem bei der Bruchdehnung wird bei fünf bzw. vier Prüfstellen überschritten.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt keinen signifikanten Unterschied für die Merkmale Raumdichte, Zugfestigkeit und Bruchdehnung (Tabelle 16).

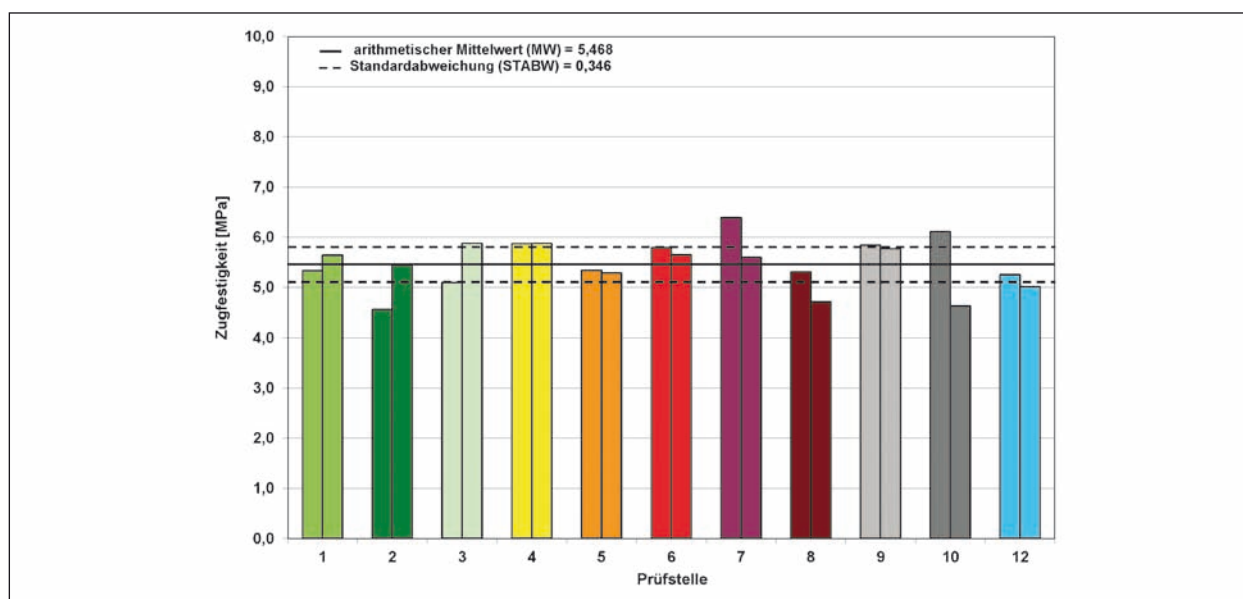


Bild 34: Zugfestigkeiten der Zugversuche, AC 11 D S

	Raumdichte	Zugfestigkeit	Bruchdehnung
	g/cm ³	MPa	‰
Mittelwert	2,374	5,468	0,444
Standardabweichung	0,010	0,346	0,036
Spannweite	0,034	0,995	0,129
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,002	0,169	0,009

Tab. 16: Übersicht über die Ergebnisse der Zugversuche bei -10 °C für 11 Prüfstellen, AC 11 D S

4.5 Asphaltbinder AC 16 B S

4.5.1 Asphalt-Probepplatten

Die Asphalt-Probepplatten aus AC 16 B S weisen eine Raumdichte von 2,335 g/cm³ mit einer Standardabweichung von 0,011 g/cm³ (Bild 35) auf. Der Hohlraumgehalt liegt im Vergleich zur hohlraumreichen Variante deutlich niedriger bei 3,6 Vol.-%. Zwei Ausreißer mit auffällig niedriger bzw. hoher Raumdichte wurden identifiziert (Prüfstelle 6 und 9).

Der Mittelwertvergleich zwischen den Raumdichten beider Gerätehersteller zeigte, dass kein signifikanter Unterschied besteht. Der Mittelwertvergleich zwischen den Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte ergab einen signifikanten Unterschied.

4.5.2 Performance-Prüfungen

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen sind in Anlage 10 zusammengefasst.

Spurbildungsversuche

Die Spurbildungsversuche ergaben sich im Mittel eine Spurrinnentiefe von 1,8 mm mit einer sehr geringen Standardabweichung von 0,1 mm.

Besonders auffällig hohe bzw. niedrige Werte wurden als Ausreißer identifiziert. Zwei dieser Ausreißer weisen auffällig hohe (Prüfstelle 9, Platte 3) bzw. niedrige (Prüfstelle 2, Platte 4) Raumdichten auf, welche einen Grund für die hohe bzw. niedrige Spurrinnentiefe sein könnte.

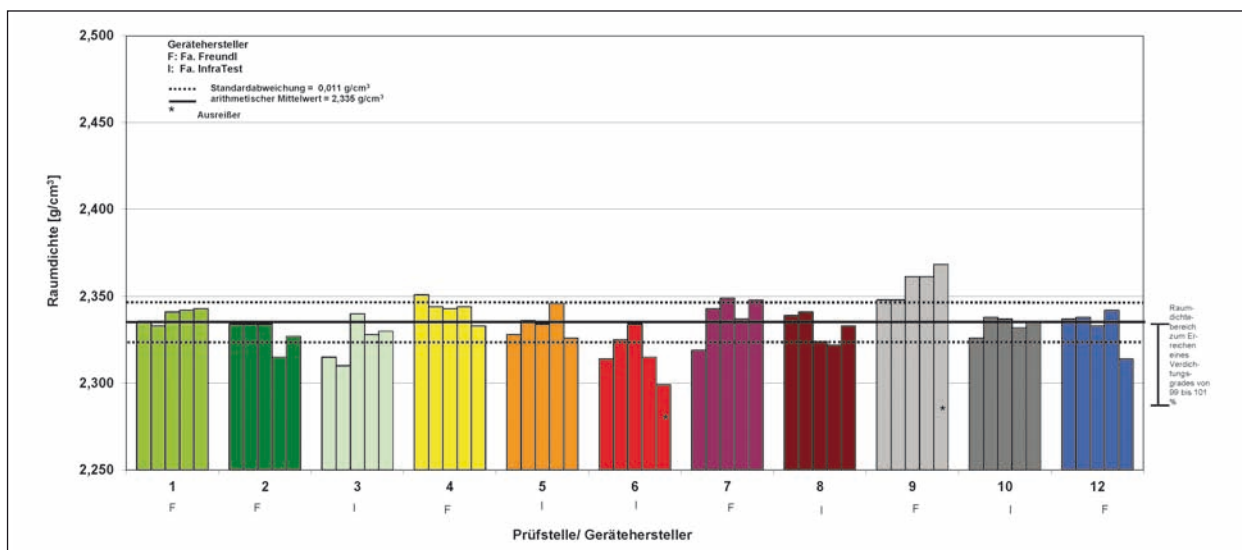


Bild 35: Raumdichten der Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle, AC 16 B S

	Raumdichte	Spurrinnentiefe	prop. Spurrinnentiefe	Spurbildungsrate
	g/cm ³	mm	%	mm bezogen auf 10 ³ Zyklen
Mittelwert	2,337	1,8	3,0	0,04
Standardabweichung	0,006	0,1	0,3	0,00
Spannweite	0,021	0,3	0,8	0,00
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	ja	nein	nein	-
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,008	0,0	0,1	0,00

Tab. 17: Übersicht über die Ergebnisse der Spurbildungsversuche für 11 Prüfstellen, AC 16 B S

Der Unterschied zwischen beiden Geräteherstellern ist minimal und liegt bei 0,1 mm. Somit ergab der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern mit den Kenngrößen Spurrinnentiefe und proportionale Spurrinnentiefe keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 17). Bei den Raumdichten konnte aber nachgewiesen werden, dass ein signifikanter Unterschied besteht.

Druck-Schwellversuche

Um die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche zu vergleichen, wurde wie beim AC 11 D S die Dehnung und die Dehnungsrate bei einer bestimmten Lastwechselzahl herangezogen, bis zu der bei keinem Probekörper ein Wendepunkt erreicht wurde. Nach Betrachtung der Impulskriechkurven wurde die Lastwechselzahl 4.000 ausgewählt.

Die Raumdichten der Probekörper der Prüfstelle 6 weisen vergleichsweise geringe Raumdichten

auf. Der Verlauf der Impulskriechkurve dieser Prüfstelle weicht vermutlich deshalb auch stark von den Kurven der anderen Prüfstellen ab (Bild 36). Die Probekörper mit der höchsten Raumdichte (Prüfstelle 12) weisen die höchste Verformungsbeständigkeit auf.

Der Mittelwertvergleich zeigt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Raumdichten, der Dehnung und der Dehnungsrate zwischen Prüfstellen, mit minimaler und maximaler Raumdichte, gibt (Tabelle 18).

Spaltzug-Schwellversuche

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte bei 20 °C und einer einheitlichen Ober-spannung von 0,4 MPa.

Die Lastwechselzahlen N_{makro} streuen im gleichen Maße wie bei den anderen Asphaltvarianten.

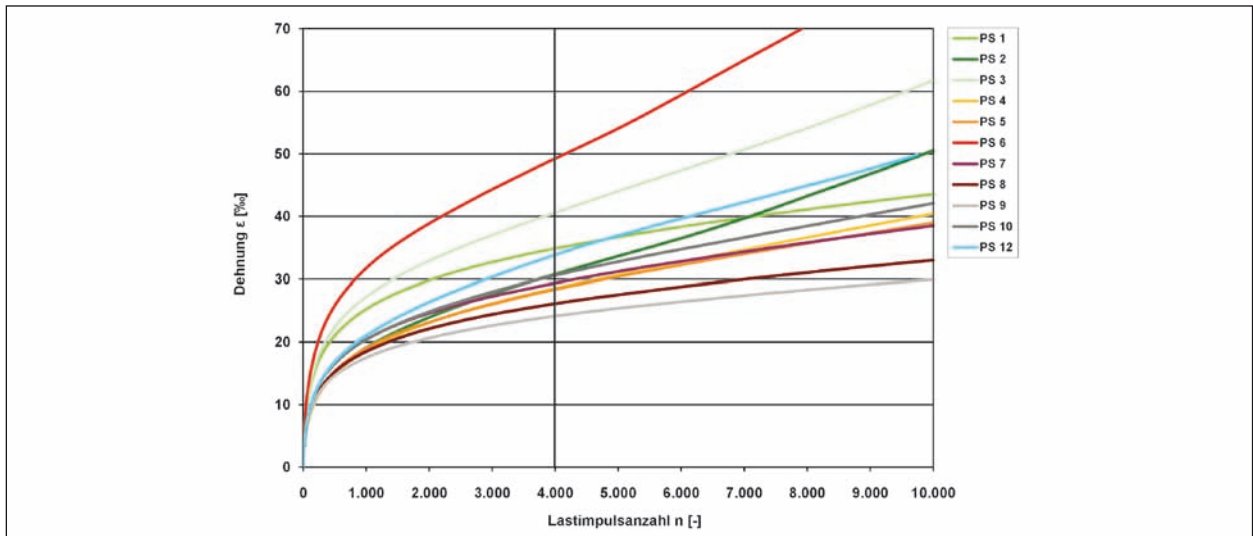


Bild 36: Impulskriechkurven von Einzelproben der Druck-Schwellversuche aller Prüfstellen, AC 16 B S

	Raumdichte	Dehnung bei 4.000 LW	Dehnungsrate bei 4.000 LW
	g/cm ³	‰	‰ · 10 ⁻⁴ /n
Mittelwert	2,355	32,9	27,5
Standardabweichung	0,022	7,5	12,6
Spannweite	0,075	26,6	44,8
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,016	5,8	9,1

Tab. 18: Übersicht über die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche für 11 Prüfstellen, AC 16 B S

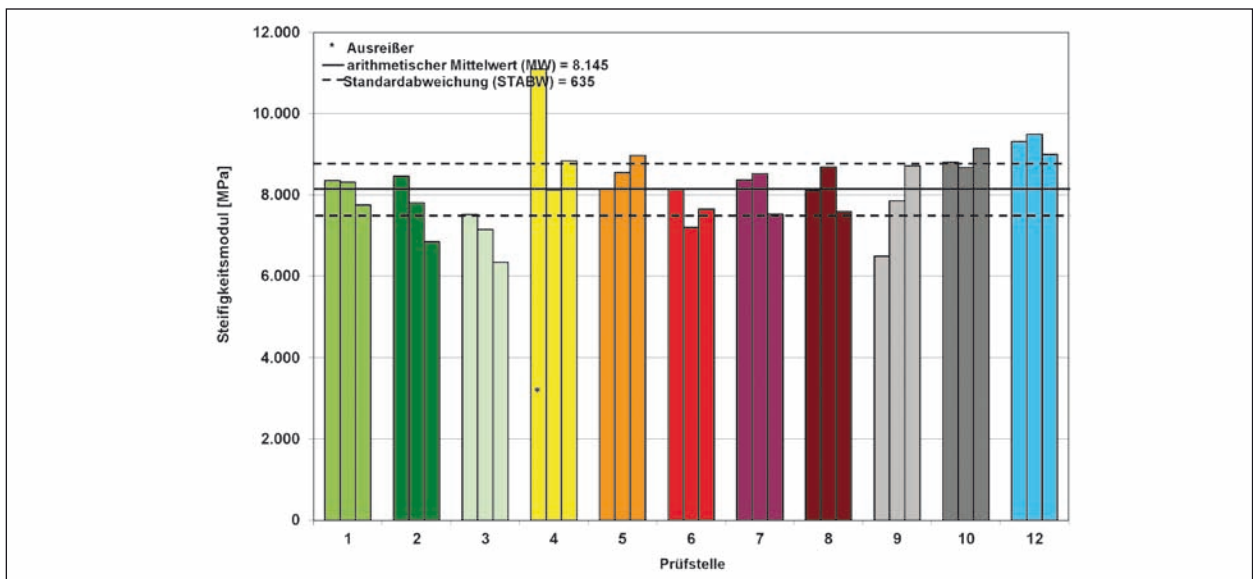


Bild 37: Steifigkeitsmoduln der Spaltzug-Schwellversuche, AC 16 B S

Die Steifigkeitsmoduln liegen in einem engen Bereich mit einem Mittelwert von 8.145 MPa und einer Standardabweichung von 635 MPa (Bild 37).

Die Mittelwertvergleiche zwischen den beiden Herstellern ergaben aber keine signifikanten Unterschiede für die Raumdichte und die ermittelten

	Raumdichte	Lastwechselzahl N_{makro}	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm^3	-	$\%$	MPa
Mittelwert	2,353	36.272	0,085	8.145
Standardabweichung	0,017	14.285	0,007	635
Spannweite	0,066	49.280	0,021	2.269
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,017	11.306	0,004	194

Tab. 19: Übersicht über die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche für 11 Prüfstellen, AC 16 B S

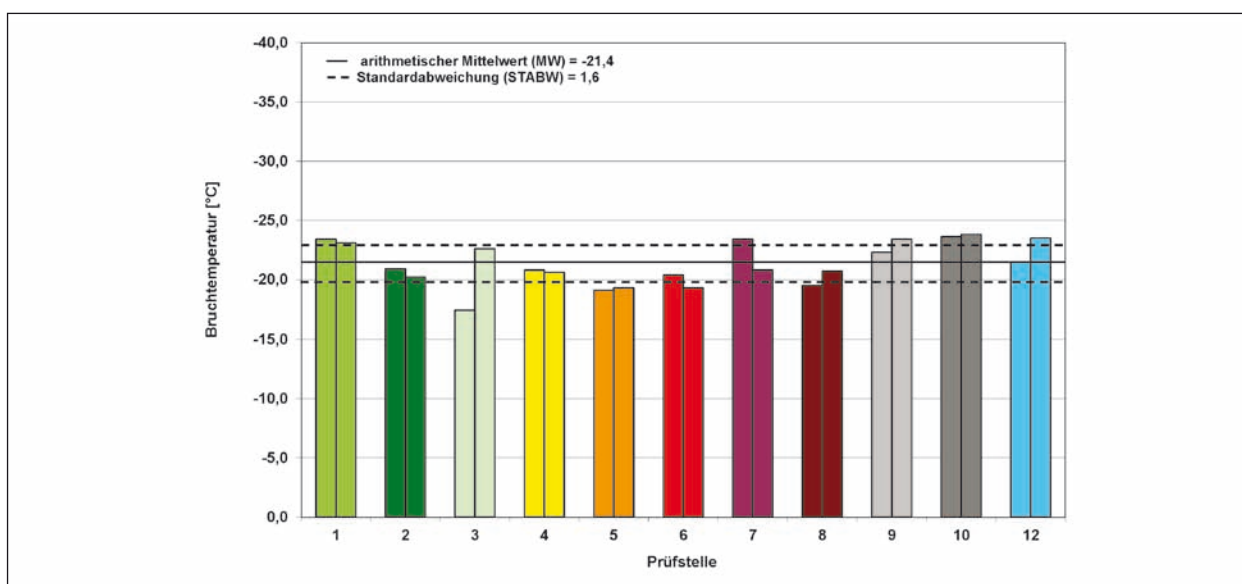


Bild 38: Bruchtemperaturen der Abkühlversuche, AC 16 B S

Kenngrößen aus den Spaltzug-Schwellversuchen (Tabelle 19).

Ein Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit Probekörpern von minimaler und maximaler Raumdichte ergab signifikante Unterschiede bei Raumdichte und Lastwechselzahl N_{makro} , bei Steifigkeitsmodul und Dehnung wurden keine signifikanten Unterschiede ermittelt.

Abkühlversuche

Bei den Bruchtemperaturen wurden keine Ausreißer ermittelt, sodass der Mittelwert bei $-21,4\text{ °C}$ liegt mit einer Standardabweichung von $1,6\text{ °C}$ (Bild 38).

Bei den Abkühlversuchen wurde bei den 6 der 11 Prüfstellen die nach TP geforderte zulässige

Spannweite der Einzelwerte von $0,6\text{ K}$ bei der Bruchtemperatur überschritten. Bei der Bruchspannung wurde der Variationskoeffizient der zulässigen Spannweite von $4,2\%$ bei 6 Prüfstellen deutlich und bei einer geringfügig überschritten.

Es ist anzumerken, dass sich die Raumdichten der beiden Probekörper bei einzelnen Prüfstellen sich stark unterschieden. Beispielsweise beträgt die Differenz $0,038\text{ g/cm}^3$ bei Prüfstelle 4. Allerdings führt diese große Differenz nicht zwangsläufig zu großen Abweichungen bei der Bruchspannung. Bei Prüfstellen mit annähernd gleicher Raumdichte wurden Abweichungen in derselben Größenordnung ermittelt.

Die Ergebnisse der Probekörper, die mit WSV-Geräten der Fa. Freundl hergestellt wurden liegen

	Raumdichte	Bruchtemperatur	Bruchspannung
	g/cm ³	°C	MPa
Mittelwert	2,358	-21,4	3,566
Standardabweichung	0,015	1,6	0,374
Spannweite	0,056	4,5	1,123
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,002	1,4	0,202

Tab. 20: Übersicht über die Ergebnisse der Abkühlversuche für 11 Prüfstellen, AC 16 B S

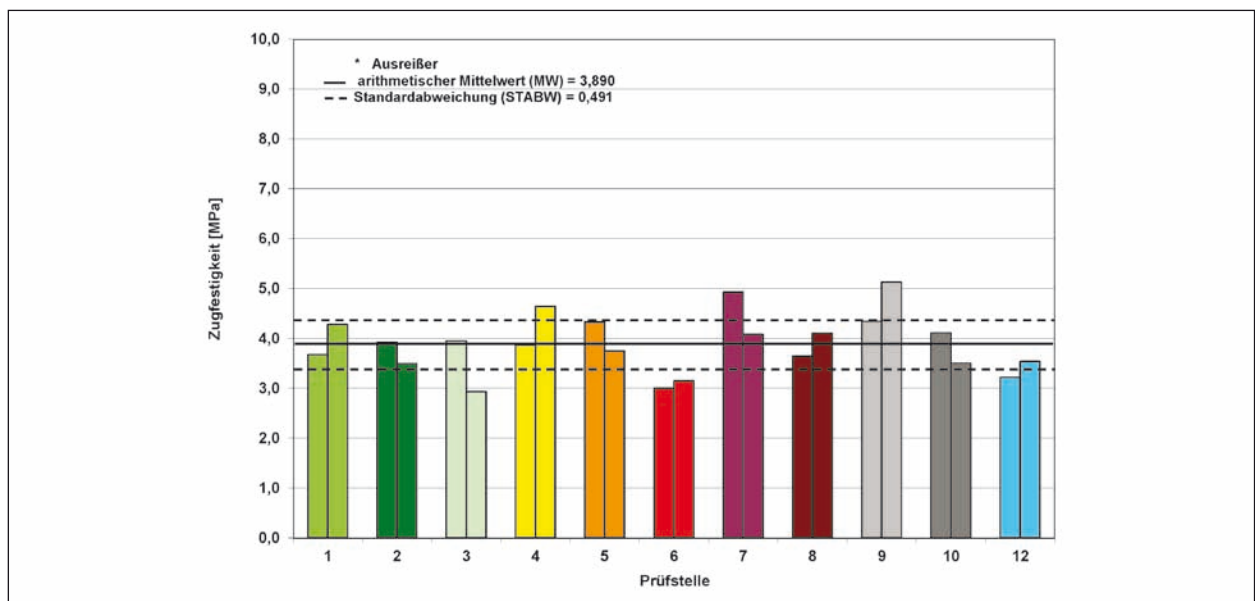


Bild 39: Zugfestigkeiten der Zugversuche, AC 16 B S

alle im Bereich, der für eine Asphaltdeckschicht in Frosteinwirkungszone II nach RStO 01 gefordert wird. In diesem Bereich liegen 3 Prüfstellen mit WSV-Gerät der Fa. infraTest, wohingegen 2 Prüfstellen den Orientierungswert von mindestens -20 °C nicht erreichen.

Für die Bruchspannung sowie die Bruchtemperatur ergeben sich, wie auch beim SMA 8 S, bei Probekörpern aus Asphalt-Probekörpern, die mit Geräten der Fa. infraTest hergestellt wurden, geringfügig größere Standardabweichungen.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt bei der Raumdichte, Bruchtemperatur und Bruchspannung keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 20).

Zugversuche

Die Einzelwerte der Zugfestigkeiten der Prüfstellen streuen, sodass der geforderte Variationskoeffizient bei allen Prüfstellen bis auf Prüfstelle 6 überschritten wurde. Für die Bruchdehnung wurde der Variationskoeffizient nur bei drei Prüfstellen eingehalten. Im Mittel liegt die Zugfestigkeit bei 3,9 MPa mit einer Standardabweichung von 0,6 MPa (Bild 39). Die Bruchdehnung erreicht einen Mittelwert von 0,4 ‰ und eine Standardabweichung von 0,08 ‰.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt keinen signifikanten Unterschied für die Merkmale Zugfestigkeit und Bruchdehnung, für die Raumdichte wurde ein signifikanter Unterschied ermittelt (Tabelle 21).

	Raumdichte	Bruchtemperatur	Bruchspannung
	g/cm ³	°C	MPa
Mittelwert	2,362	3,890	0,347
Standardabweichung	0,014	0,491	0,064
Spannweite	0,407	1,656	0,183
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	ja	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,017	0,445	0,047

Tab. 21: Übersicht über die Ergebnisse der Zugversuche für 11 Prüfstellen, AC 16 B S

4.6 Asphaltbinder AC 22 B S – Typ SMA

4.6.1 Asphalt-Probepplatten

Bei den Raumdichten der Asphalt-Probepplatten wurde nur ein Ausreißer identifiziert. Der Mittelwert der Raumdichte wurde zu 2,413 g/cm³ ermittelt (Bild 40).

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern ergab einen nicht signifikanten Unterschied bezüglich der Raumdichten. Der Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte ergab signifikante Unterschiede.

4.6.2 Performance-Prüfungen

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen sind in Anlage 11 zusammengefasst.

Spurbildungsversuche

Der Mittelwert der Spurrinnentiefe ergibt sich zu 2,2 mm mit einer Standardabweichung von 0,3 mm. Der Unterschied zwischen den Geräteherstellern ist vergleichsweise gering, sodass sich beim Mittelvergleich der Spurrinnentiefe und proportionalen Spurrinnentiefe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geräteherstellern ergeben (Tabelle 22). Bei der Raumdichte zeigte sich durch den Mittelwertvergleich ein signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern.

Der Ausreißertest der Raumdichte identifizierte zwei Asphalt-Probepplatten der Prüfstelle 1 als Ausreißer, da die Raumdichten vergleichsweise hoch liegen. Auffällig dabei ist, dass sich bei beiden Asphalt-Probepplatten vergleichsweise hohe Spurrinnentiefen ergaben.

Druck-Schwellversuche

Die Raumdichten der Probekörper unterscheiden sich maximal um 0,021 g/cm³. So ist die nach TP geforderte maximale Abweichung der Probekörper von 0,025 g/cm³ eingehalten.

Die Impulskriechkurven zeigen keinen Wendepunkt und das Abbruchkriterium der Dehnung von 40 ‰ wird von keiner Variante vor Ablauf der 10.000 Lastwechsel erreicht.

Für den Vergleich der Ergebnisse der Prüfstellen konnten deshalb die Dehnung und die Dehnungsrate am Ende des Versuches herangezogen.

Die Dehnungsraten weisen eine Spannweite von 2,1 ‰ · 10⁻⁴/n, somit ist sowohl die Wiederhol- als auch die Vergleichspräzision für 11 ermittelte Ergebnisse nach TP eingehalten (Tabelle 23).

Der Mittelwertvergleich zeigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Raumdichten und der Dehnung beider Hersteller gibt. Bei der Dehnungsrate wird ein signifikanter Unterschied ermittelt.

Der Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichten (Prüfstelle 7 und 10) ergab für die Dehnung keinen signifikanten Unterschied, bei der Raumdichte und Dehnungsrate wurde ein signifikanter Unterschied ermittelt.

Spaltzug-Schwellversuche

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte bei 20 °C und einer einheitlichen Ober-spannung von 0,4 MPa.

Die Lastwechselzahlen N_{makro} der Prüfstellen der beiden Hersteller liegen auf gleichem Niveau.

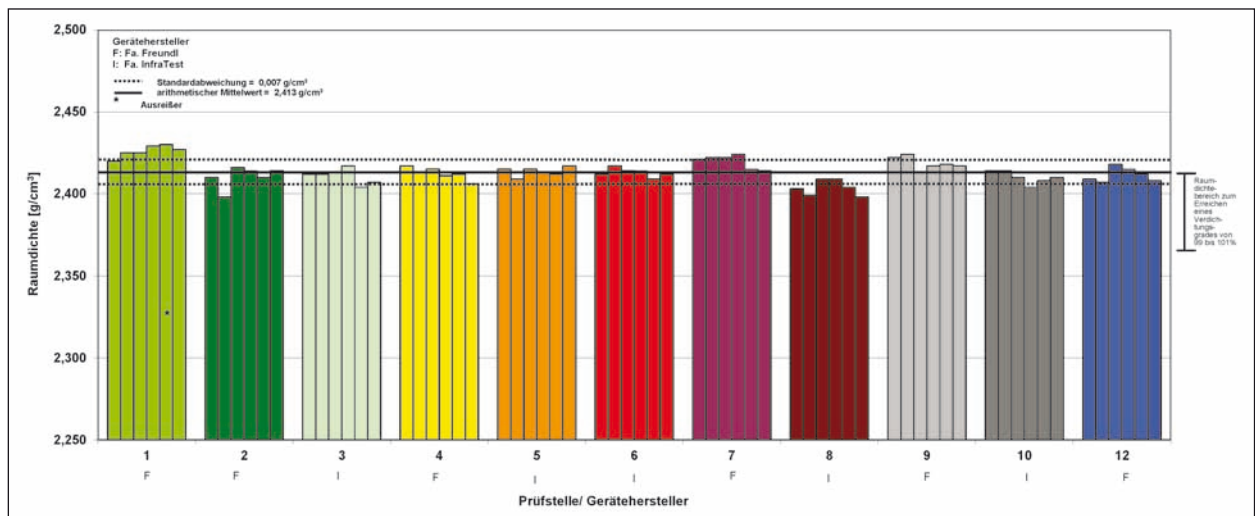


Bild 40: Raumdichten der Asphalt-Probeplatten je Prüfstelle, AC 22 B S – Typ SMA

	Raum-dichte	Spurrinnentiefe	prop. Spurrinnentiefe	Spurbildungsrate
	g/cm ³	mm	%	mm bezogen auf 10 ³ Zyklen
Mittelwert	2,412	2,2	2,7	0,04
Standardabweichung	0,007	0,3	0,4	0,00
Spannweite	0,028	1,2	1,6	0,02
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	ja	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,008	0,1	0,1	0,00

Tab. 22: Übersicht über die Ergebnisse der Spurbildungsversuche, AC 22 B S – Typ SMA

	Raum-dichte	Dehnung	Dehnungsrate
	g/cm ³	%	% · 10 ⁻⁴ /n
Mittelwert	2,429	32,4	4,3
Standardabweichung	0,007	3,9	0,7
Spannweite	0,021	12,3	2,1
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,004	0,1	0,1

Tab. 23: Übersicht über die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche, AC 22 B S – Typ SMA

Aufgrund der hohen Raumdichten der Asphalt-Probeplatten ergaben sich für die ausgebohrten Probekörper Hohlraumgehalte von 0,7 Vol.-%.

Die Streuungen der Lastwechselzahlen N_{makro} liegen bei dieser Variante geringfügig niedriger als bei den anderen Asphaltvarianten.

Die Steifigkeitsmoduln liegen in einem engen Bereich mit einem Mittelwert von 9.931 MPa und einer Standardabweichung von 590 MPa (Bild 41).

Die Mittelwertvergleiche zwischen den Geräteherstellern zeigten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Raumdichten und den Kenngrößen aus dem Spaltzug-Schwellversuch (Tabelle 24). Ein Mittelwertvergleich zwischen Prüfstellen mit Probekörpern von minimaler und maximaler Raumdichte (Prüfstelle 1 und 12) ergab nur bei der Raumdichte einen signifikanten Unterschied.

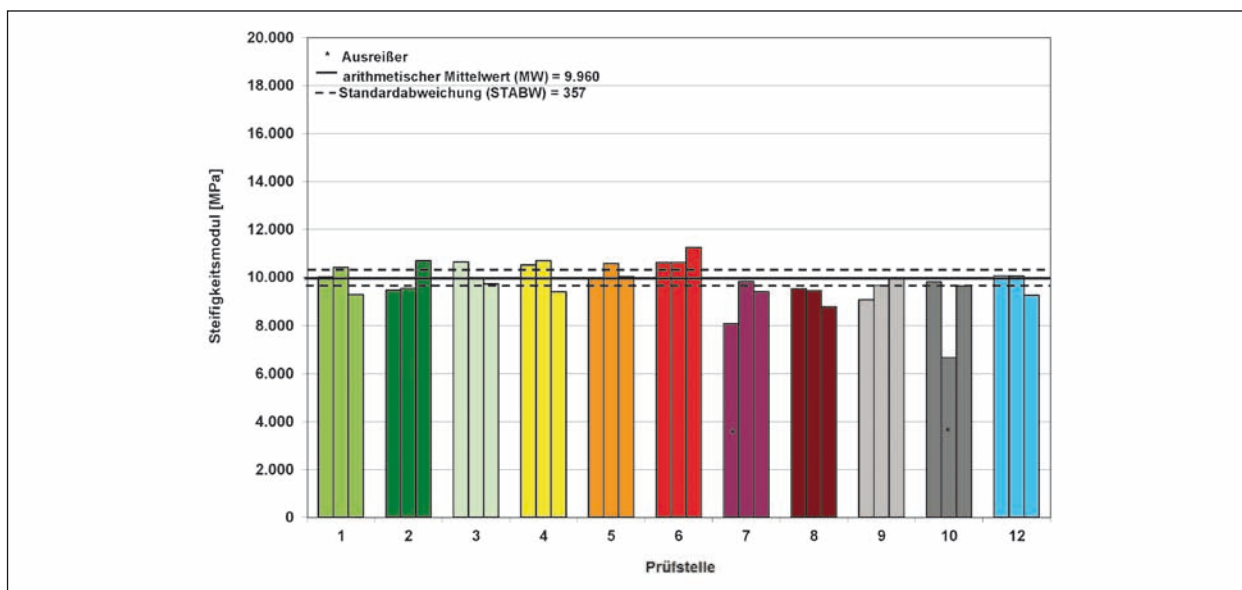


Bild 41: Steifigkeitsmoduln der Spaltzug-Schwellversuche, AC 22 B S – Typ SMA

	Raumdichte	Lastwechselzahl N_{makro}	Dehnung	Steifigkeitsmodul
	g/cm ³	-	%	MPa
Mittelwert	2,427	36.973	0,090	9.931
Standardabweichung	0,005	10.526	0,005	590
Spannweite	0,017	28.594	0,011	1.401
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,002	775	0,002	224

Tab. 24: Übersicht über die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche, AC 22 B S – Typ SMA

Abkühlversuche

Erfahrungsgemäß zeigen die Abkühlkurven bei der Asphaltart AC 22 B S – Typ SMA einen besonderen Verlauf (Bild 42): Die Kurve verläuft anfangs wie bei anderen Asphaltarten zu beobachten progressiv zunehmend, flacht dann aber bei tieferen Temperaturen ab -10 °C bis -15 °C ab (degressiver Verlauf).

Weiterhin unterscheiden sich die Kurven innerhalb einer Prüfstelle deutlich, was zu großen Differenzen bei der Bruchtemperatur und Bruchspannung führt (Bild 43). Da für diesen Versuch allerdings nur zwei Probekörper zur Verfügung standen, konnte kein weiterer Probekörper zur Verifizierung eines Ergebnisses geprüft werden. Die Differenzen bei der Bruchspannung lassen sich nicht auf die Hohlraumgehalte der Probekörper zurückführen, da sich diese innerhalb einer Prüfstelle maximal um 0,3 Vol.-% unterschieden.

Die Mittelwerte der Bruchtemperaturen erreichen bei allen Prüfstellen Kategorie der Frosteinwirkungszone III lt. Arbeitspapier [14]. Allerdings weichen die Einzelwerte teilweise so stark voneinander ab, dass diese in zwei verschiedenen Kategorien zuzuordnen sind (Bild 44).

Die nach TP geforderte zulässige Spannweite der Einzelwerte von 0,6 K bei der Bruchtemperatur wurde bei allen Prüfstellen mit Ausnahme der Prüfstelle 10 überschritten. Bei der Bruchspannung wurde der Variationskoeffizient der zulässigen Spannweite von 4,2 % bei 3 Prüfstellen nicht überschritten.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt bei der Raumdichte, Bruchtemperatur und Bruchspannung keinen signifikanten Unterschied, wobei aufgrund der großen Differenzen bei den Ergebnissen innerhalb einer Prüfstelle,

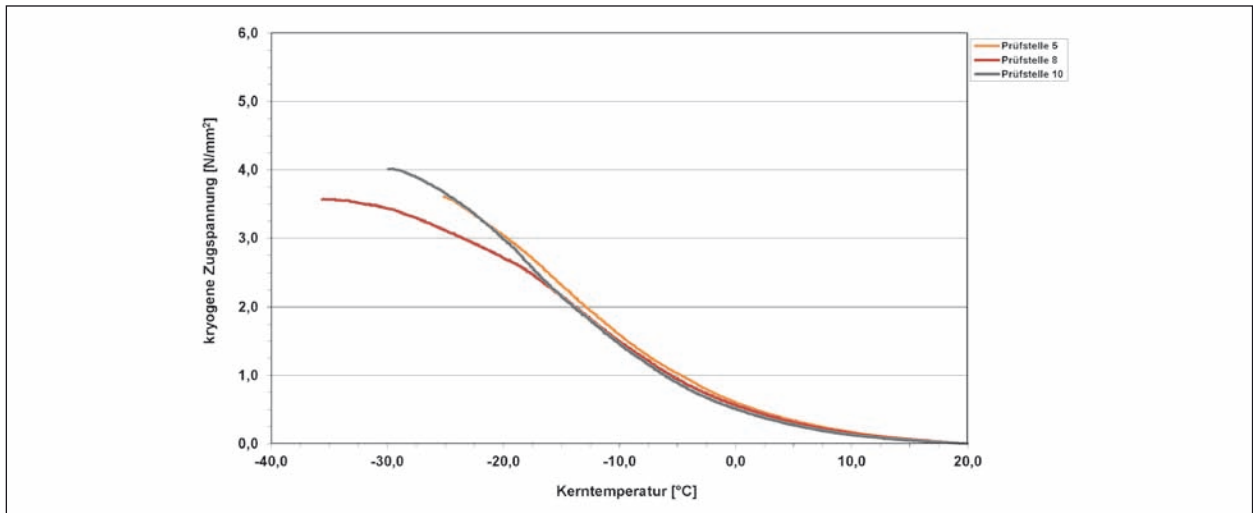


Bild 42: Typischer Verlauf der Abkühlkurven von drei Prüfstellen eines AC 22 B S – Typ SMA

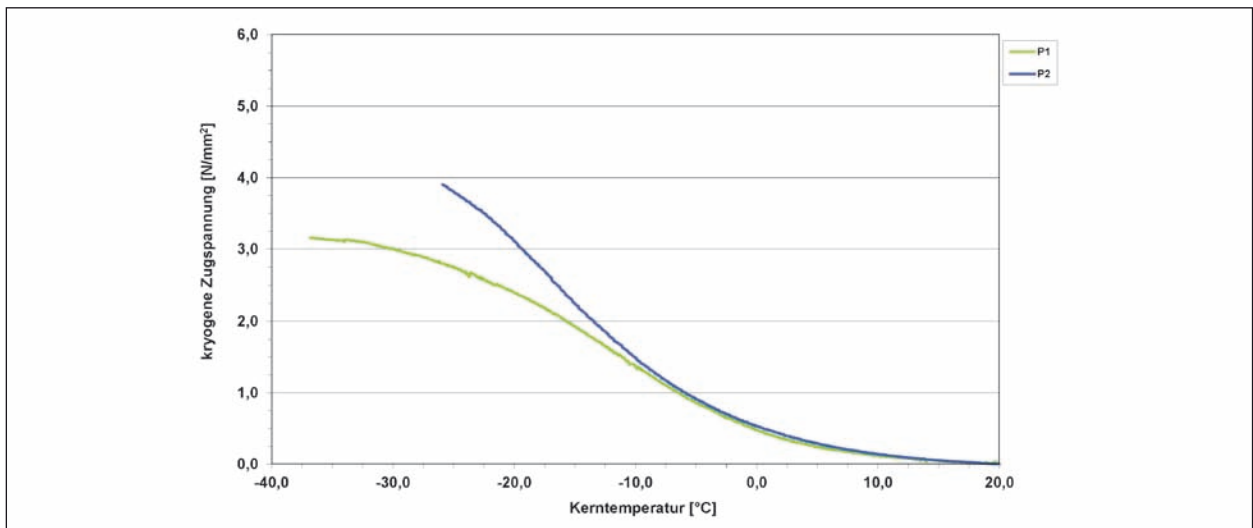


Bild 43: Verlauf der Abkühlkurven von Prüfstelle 3 (AC 22 B S – Typ SMA)

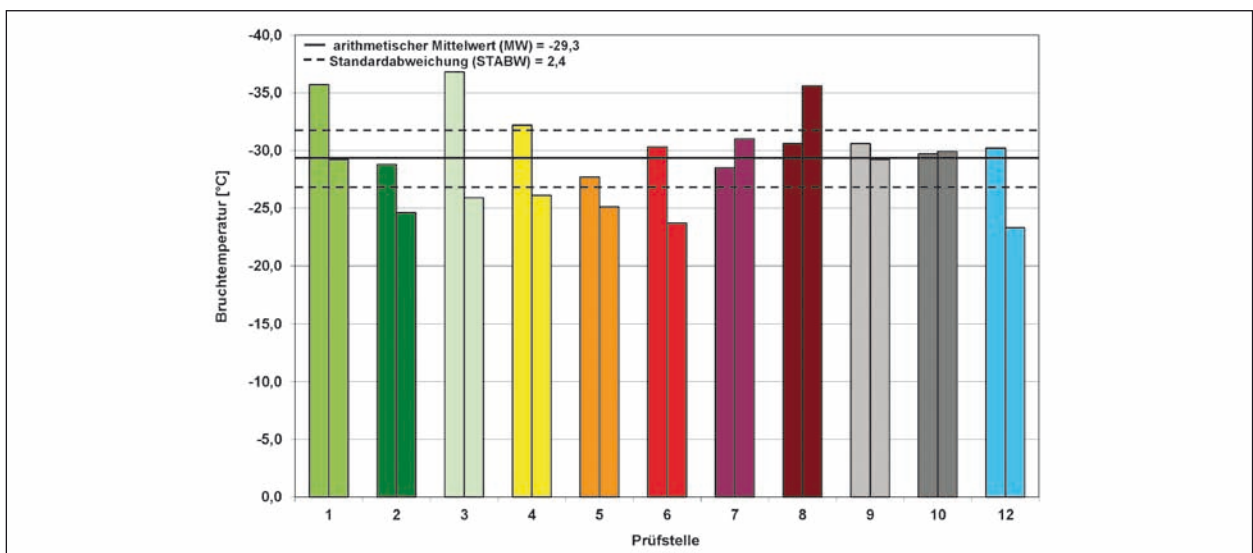


Bild 44: Bruchtemperaturen der Abkühlversuche, AC 22 B S – Typ SMA

der Mittelwertvergleich nur eingeschränkt aussagekräftig ist (Tabelle 25).

Zugversuche

Der geforderte Variationskoeffizient der zulässigen Spannweite der Einzelwerte für die Bruchdehnung wird bei sieben Prüfstellen überschritten, für die Zugfestigkeit nur bei vier Prüfstellen. Die Zugversuche erreichen bei allen Prüfstellen die nach Arbeitspapier

geforderte Zugfestigkeit bei -10 °C von $\geq 4,0\text{ MPa}$. Im Mittel liegt diese bei $5,4\text{ MPa}$ mit einer Standardabweichung von $0,5\text{ MPa}$ (Bild 45). Die nach Arbeitspapier [14] geforderte Bruchdehnung von $0,4\text{ ‰}$ ist bei allen Prüfstellen eingehalten.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt keinen signifikanten Unterschied für die Merkmale Raumdichte, Zugfestigkeit und Bruchdehnung (Tabelle 26).

	Raumdichte	Bruchtemperatur	Bruchspannung
	g/cm ³	°C	MPa
Mittelwert	2,429	-29,3	3,736
Standardabweichung	0,006	2,4	0,239
Spannweite	0,021	6,7	0,759
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,001	0,6	0,152

Tab. 25: Übersicht über die Ergebnisse der Abkühlversuche, AC 22 B S – Typ SMA

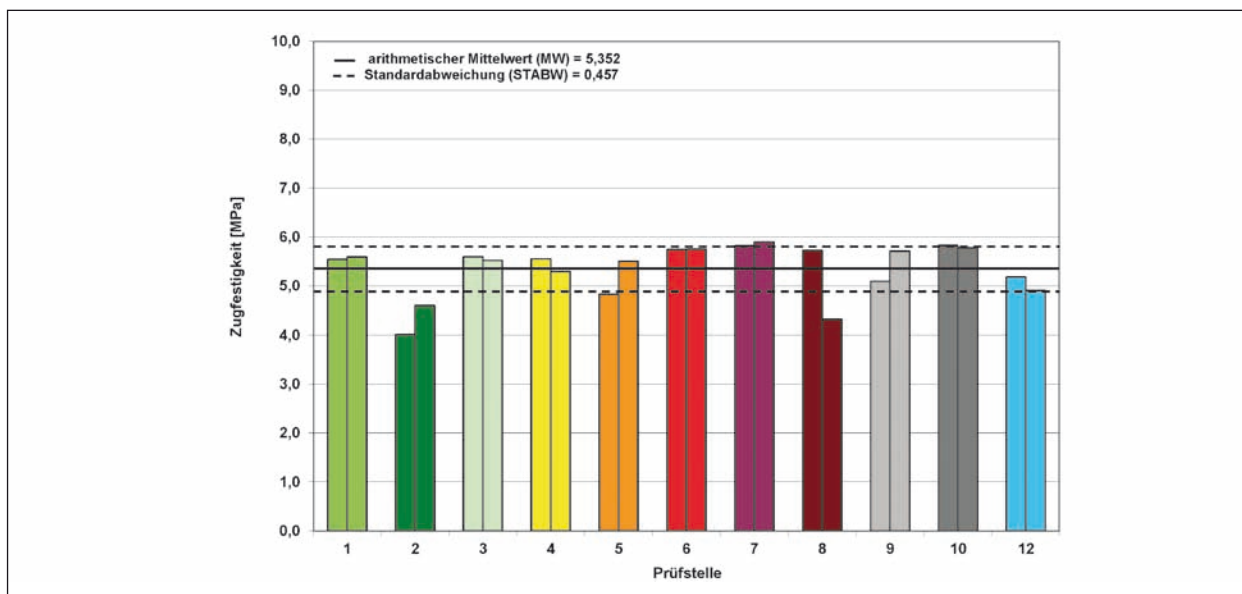


Bild 45: Zugfestigkeiten der Zugversuche, AC 22 B S – Typ SMA

	Raumdichte	Zugfestigkeit	Bruchdehnung
	g/cm ³	MPa	‰
Mittelwert	2,430	5,352	0,797
Standardabweichung	0,007	0,457	0,163
Spannweite	0,021	1,553	0,438
Signifikanter Unterschied zwischen den Geräteherstellern vorhanden?	nein	nein	nein
Differenz der Mittelwerte der Fa. Freundl und Fa. infraTest	0,003	0,192	0,001

Tab. 26: Übersicht über die Ergebnisse der Zugversuche bei -10 °C , AC 22 B S – Typ SMA

5 Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse und Schlussfolgerungen

Die zunächst durchgeführten Performance-Prüfungen an Asphalt-Probepplatten aus SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich) und AC 32 T S der Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte zeigten, dass die Ergebnisse in einem engen Bereich lagen. Auffälligkeiten die sich bei den Ergebnissen ergaben, konnten erklärt werden. Beispielsweise wurde festgestellt, dass zwar Abweichungen vom Verdichtungsmanagement Auswirkungen auf die Performance Eigenschaften haben, aber nicht zwangsläufig auf die Raumdichte (Prüfstelle 7: Spurrinnentiefe beim Spurbildungsversuch, siehe Kapitel 4.1.2). Ohne die Datenaufzeichnung während der Herstellung der Asphalt-Probepplatten, wäre die Ursache für die z. B. auffällig hohe Spurrinnentiefe nicht gefunden worden. Hier zeigte sich wie wichtig und sinnvoll eine Datenaufzeichnung während der Herstellung ist.

Bei der hohlraumreichen Asphaltbindervariante zeigte sich die hohe Sensitivität der Ergebnisse der Druck-Schwellversuche sowie Zugversuche auf die Hohlraumgehalte der Probekörper. Bei Probekörpern mit einem Hohlraumgehalt um 8,0 Vol.-% können die Versuche keine verlässlichen Ergebnisse mehr liefern, da diese stark von der Oberflächenbeschaffenheit der Probekörper abhängen (Kapitel 4.2.2). Diese erwies sich aufgrund der hohen Hohlraumgehalte als inhomogen, was zu einer inhomogenen Lasteintragung und somit zu Spannungsspitzen führte.

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

Um die im Merkblatt [17] beschriebene Wiederhol- und Vergleichspräzision zu überprüfen, müssen die Wiederholbedingungen bzw. 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 bzw. 12 Prüfstellen anstelle von 2 Prüfstellen – herangezogen.

Asphalt-Probepplatten

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 $0,022 \text{ g/cm}^3$ höhere Raumdichte als die zugehörigen MPK auf, somit liegen die Mittelwerte der Verdichtungsgrade im Bereich von 100,2 bis 101,1 % (Tabelle 27). Die Standardabweichung der Raumdichte aller Asphaltvarianten liegt bei maximal $0,011 \text{ g/cm}^3$ (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 Unterschiede zwischen der minimalen und maximalen Raumdichte ist bei den Varianten SMA 8 S, AC 16 B S (hohlraumreich), AC 11 D S und AC 22 B S – Typ SMA mit einer maximalen Spannweite von $0,024 \text{ g/cm}^3$ für 11 bzw. 12 Prüfstellen als gering anzusehen, vor allem vor dem Hintergrund, dass die kritische Spannweite von zwei Marshall-Probekörpern nach TP Asphalt-StB, Teil 6 bereits $0,030 \text{ g/cm}^3$ und für 11 und 12 Marshall-Probekörper $0,050$ bzw. $0,053 \text{ g/cm}^3$ beträgt. Somit liegen die vergleichsweise hohen Spannweiten von $0,043 \text{ g/cm}^3$ beim AC 32 T S und $0,033 \text{ g/cm}^3$ beim AC 16 B S noch innerhalb der kritischen Spannweite der Raumdichten an 11 bzw. 12 Marshall-Probekörpern.

		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 ³	2,362	2,317	2,428	2,358	2,335	2,413
	Standardabweichung	g/cm ³	0,004	0,008	0,010	0,006	0,011	0,007
	Spannweite	g/cm ³	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 ³	0,002	0,004	0,014	0,001	0,006	0,001
Verdichtungs- grad	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
Hohlraum- gehalt	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

Tab. 27: Zusammenstellung der Ergebnisse der Raumdichte, Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt der Asphalt-Probeplatten aller Asphaltvarianten und für 11 bzw. 12 Prüfstellen

Spurbildungsversuche

Zur Bewertung der Spurbildungsversuche wurde die Spurrinnentiefe ausgewählt, da für diese Kenngröße sowohl eine Wiederhol- als auch eine Vergleichspräzision aus der TP vorliegt und die Spurrinnentiefe Kenngröße üblicherweise zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen wird.

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 28). 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 bzgl. der Spurrinnentiefe feststellen. Die Wiederholpräzision bezogen auf 11 bzw. 12 Prüfstellen ist bei drei der fünf Asphaltvarianten eingehalten, die Vergleichspräzision nur bei zwei. Aufgrund dessen wurden weitere Prüfungen bzgl. der Präzision durchgeführt. Zum einen wurden die zugehörigen Spurrinnentiefen der Prüfstellen mit minimaler und maximaler Raumdichte bzgl. der Einhaltung der Präzisionen geprüft, zum anderen die Prüfstellen mit minimaler und maximaler Spurrinnentiefe (siehe Tabelle 28). 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.

Weiterhin wurde ein Zusammenhang zwischen den Raumdichten und den Kenngrößen aus dem Spurbildungsversuch untersucht. Die ermittelten Ergebnisse zeigen keinerlei Zusammenhänge.

Aufgrund der hier ermittelten Ergebnisse wurde gezeigt, dass die Asphalt-Probeplatten zwar ähnliche Raumdichten aufweisen, dies allerdings nicht zwangsläufig zu ähnlichen Ergebnissen im Spurbildungsversuch führt bzw. umgekehrt. Beim hohlraumreichen AC 16 B S zeigt sich bei der Raumdichte der beiden hier ausgewählten Asphalt-Probeplatten die größte Spannweite aller Asphaltvarianten von 0,031 g/cm³ bezogen auf die untersuchten Asphalt-Probeplatten. Hier ist aber im Gegensatz zu den anderen Asphaltvarianten sowohl die Wiederhol- als auch die Vergleichspräzision eingehalten. Beim SMA 8 S wurde die geringste Spannweite ermittelt, trotzdem ist weder die Wiederhol- noch die Vergleichspräzision eingehalten.

Druck-Schwellversuche

Zur Bewertung der Druck-Schwellversuche wurde die Kenngröße Dehnungsrate ausgewählt, da für diese Kenngröße sowohl eine Wiederhol- als auch eine Vergleichspräzision aus der TP vorliegt und

	SMA 8 S		AC 16 B S (hohlraumreich)		AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – Typ SMA	
	Raum- dichte	Spur- rinnentiefe (SPT)	Raum- dichte	Spur- rinnentiefe (SPT)	Raum- dichte	Spur- rinnentiefe (SPT)	Raum- dichte	Spur- rinnentiefe (SPT)	Raum- dichte	Spur- rinnentiefe (SPT)
	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm	g/cm ³	mm	g/cm ³	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 Raumdichte?	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 Raumdichte)		nein		ja		nein		ja		ja
Vergleichspräzision eingehalten? (Vergleich minimale und maximale Raumdichte)		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

Tab. 28: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Spurrinnentiefe der Spurbildungsversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 bzw. 12 Prüfstellen

diese Kenngröße üblicherweise zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen wird.

Die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche haben gezeigt, dass die nach TP geforderte Oberspannung von 0,35 MPa für Probekörper, die aus walzsektorverdichteten Platten ausgebohrt werden, als zu hoch einzuschätzen und somit als nicht geeignet erscheint, da sich schon sehr kurz nach Beginn des Versuches ein Wendepunkt einstellt. Durch die gewählte Oberspannung werden die Asphalte erfahrungsgemäß zu stark beansprucht und differenziert. Somit wird der Asphalt bei nicht versuchskonformen Bedingungen geprüft und reagiert zu sensitiv. Zukünftig sollte daher die Oberspannung bei Prüfung von Probekörpern aus Asphalt-Probplatten von splittreichen Asphalten (SMA 8 S und AC 22 B S – Typ SMA) reduziert und bei Asphaltbetonen stark reduziert werden.

Da sich beim AC 11 D S und beim AC 16 B S nur für einige Probekörper Wendepunkte einstellen, 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 bzgl. der Dehnungsrate am Ende des Versuches ergaben bis auf den SMA 8 S, keinen signifikanten Unterschied (Tabelle 29). 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 Raumdichte ergab mit Ausnahme des SMA 8 S signifikante Unterschiede.

Die Wiederhol- bzw. 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 Raumdichte. Beim AC 16 B S wurde mit

	SMA 8 S		AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – Typ SMA	
	Raum-dichte	Dehnungs-rate	Raum-dichte	Dehnungs-rate	Raum-dichte	Dehnungs-rate	Raum-dichte	Dehnungs-rate
	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n	g/cm ³	‰ · 10 ⁻⁴ /n	g/cm ³	‰ · 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

Tab. 29: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Dehnungsraten aus dem Druck-Schwellversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 bzw. 12 Prüfstellen

Abstand die größte Standardabweichung sowie die größte Spannweite bei der Raumdichte 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.

Die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen den Raumdichten und den Kenngrößen aus dem Druck-Schwellversuch ergab keinerlei Zusammenhänge.

Aufgrund der hier ermittelten Ergebnisse muss davon ausgegangen werden, dass die Probekörper, die aus Asphalt-Probepplatten verschiedener Hersteller und Prüfstellen hergestellt wurden, unterschiedliche Ergebnisse im Druck-Schwellversuch bei den o. g. Prüfbedingungen liefern. Hierzu ist anzumerken, dass bei der Variante mit der größten Spannweite bzgl. der Raumdichte (AC 16 B S) im Gegensatz zu den anderen drei geprüften Varianten weder die Wiederhol- noch die Vergleichspräzision eingehalten wird.

Spaltzug-Schwellversuche

Bei der Beurteilung der Spaltzug-Schwellversuch 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 anfänglichen 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 Oberspannungen durchgeführt werden. Hierdurch ergibt sich eine Ermüdungsfunktion die auf neun Einzelwerten basiert und somit Streuungen der einzelnen Zahlenwerte „dämpft“. Im Rahmen dieses Projektes konnte aber nur ein Punkt der Ermüdungsfunktion bei einer mittleren Oberspannung 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.

	SMA 8 S			AC 16 B S (hohlraumreich)			AC 32 T S		
	Raum-dichte	Dehnung	Steifigkeits-modul	Raum-dichte	Dehnung	Steifigkeits-modul	Raum-dichte	Dehnung	Steifigkeits-modul
	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	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	0,016	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		
	Raum-dichte	Dehnung	Steifigkeits-modul	Raum-dichte	Dehnung	Steifigkeits-modul	Raum-dichte	Dehnung	Steifigkeits-modul
	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	MPa	g/cm ³	‰	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

Tab. 30: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Dehnung und des Steifigkeitsmoduls der Spaltzug-Schwellversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 bzw. 12 Prüfstellen

Der Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern zeigt bzgl. der Dehnung nur beim AC 32 T S einen signifikanten Unterschied, das Steifigkeitsmodul nur beim SMA 8 S (Tabelle 30). 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. D. h. dass hier davon ausgegangen werden muss, dass die Probekörper aus den Asphalt-Probekörpern verschiedener Prüfstellen dieselben Ergebnisse liefern.

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Raumdichten und den Kenngrößen des Spaltzug-Schwellversuchs ergab keine Zusammenhänge.

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 wie schon bei den anderen Performance-Prüfungen keinen signifikanten Unterschied bzgl. der Kenngrößen Raumdichte der Probekörper, Bruchtemperatur und Bruchspannung bei allen Asphaltvarianten (Tabelle 31). 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 [14] vorgeschlagene Einordnung der Bruchtemperaturen in Kategorien in Abhängigkeit der Asphaltart zu Frostwirkungszonen 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, ebenfalls 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/cm³ deutlich über den Spannweiten der drei anderen Varianten lag.

Aufgrund der Ergebnisse ist davon auszugehen, dass mit den hier verwendeten WSV-Geräten bzw. teilnehmenden Prüfstellen einheitliche Probekörper zur Durchführung von Abkühlversuchen hergestellt werden konnten.

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 32).

	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 ³	°C	MPa	g/cm ³	°C	MPa	g/cm ³	°C	MPa	g/cm ³	°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)	

Tab. 31: Zusammenstellung der Ergebnisse und der statistischen Auswertung der Bruchtemperatur und Bruchspannung der Abkühlversuche für alle Asphaltvarianten und für 11 bzw. 12 Prüfstellen

	AC 11 D S		AC 16 B S		AC 22 B S – Typ SMA	
	Raum-dichte	Zugfestigkeit	Raum-dichte	Zugfestigkeit	Raum-dichte	Zugfestigkeit
	g/cm ³	MPa	g/cm ³	MPa	g/cm ³	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 Raumdichte?	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Tab. 32: Zusammenstellung der Ergebnisse der Zugversuche aller Asphaltvarianten und für 11 bzw. 12 Prüfstellen

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 %, d. h. 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.

Schlussfolgerungen

Die Raumdichten der hergestellten Asphalt-Probekörper 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 z. B. eine maximale Spannweite von nur $0,024 \text{ g/cm}^3$ für 11 bzw. 12 Prüfstellen aufweisen. Lediglich beim AC 32 T S und AC 16 B S wurden höhere Spannweiten ermittelt, die aber z. B. immer noch innerhalb der kritischen Spannweite für 11 bzw. 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-Probekörper zwar ähnliche Raumdichten aufweisen, dies führt allerdings nicht zwangsläufig zu verträglichen Ergebnissen im Versuch. Das heißt, dass sich mit den Asphalt-Probekörpern 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-Probekörpern verschiedener Prüfstellen überwiegend dieselben Ergebnisse hinsichtlich Dehnung und Steifigkeitsmodul liefern.

Bei den Abkühlversuchen ergab die statistische Auswertung, mit einer Ausnahme der Bruchspan-

nung 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 z. B. davon auszugehen, dass die ermittelten Bruchtemperaturen trotz geringfügigen Unterschieden in der gleichen Kategorie zur Bewertung der Kälteeigenschaften [14] 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-Probekörpern kommen, keine adäquate Kenngröße zur Beschreibung der Einheitlichkeit/Homogenität von Asphalt-Probekörpern aus dem Walzsektor-Verdichtungsgerät für Performance-Prüfungen zu sein. Hierzu müssten neue, nicht vorliegende Verfahren (z. B. Bestimmung der Kornausrichtung) entwickelt und herangezogen werden.

Das Verfahren zur Herstellung von Probekörpern für Performance-Prüfungen aus Asphalt-Probekörpern, die mit dem WSV hergestellt wurden, scheint aufgrund der Gesamtheit der an den Asphalt-Probekörpern mit dem 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-Probekörper, wie nach dem durchgeführten Verfahrensaudit erwartet, nur gering unterscheiden, sich aber in ausgewählten Performance-Prüfungen 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-Probekörper mit

annähernd gleicher sowie verträglicher Raumdichte in unterschiedlichen WSV-Geräten sowie verschiedenen Prüfstellen herzustellen.

Eine Möglichkeit die Herstellung der Asphalt-Probeplatten zu überwachen, ist sicherlich die Datenaufzeichnung während der Herstellung. Wie beschrieben können dann Fehler im Verdichtungsmanagement erkannt werden, die ggfs. 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-Probeplatten-Herstellung diese Aufzeichnung zu überprüfen, sodass zumindest keine fehlerhaften oder unterschiedlich hergestellten Asphalt-Probeplatten für Performance-Prüfungen eingesetzt werden und eine mögliche Fehlerquelle ausgeschlossen werden kann.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

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

Für die Durchführung des Projektes wurden neben der eigenen weitere 11 Prüfstellen ausgewählt. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass die beiden auf dem deutschen Markt etablierten Hersteller mit jeweils sechs Geräten berücksichtigt wurden.

Zu Beginn des Projektes wurde durch das ISE ein Verfahrens-Audit durchgeführt und dabei die Vorgehensweise bei der Herstellung von Asphalt-Probeplatten erfasst und analysiert. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine TP ergänzende Arbeitsanleitung mit Präzisierungen, Anmerkungen und Hinweisen erstellt um gleiche Vorgehensweisen bei der Herstellung der Asphalt-Probeplatten 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-Probeplatten mit gleichem Standard-

Verdichtungsmanagement hergestellt (Nullzustand). Anschließend wurden am ISE an allen hergestellten Asphalt-Probeplatten verschiedene relevante Merkmale nach TP Asphalt-StB, Teil 33 (Raumdichte, Dicken- und Raumdichteverteilung) bestimmt, sodass sich die Besonderheiten jedes Gerätes und Labors ermitteln ließen.

Folgende Erkenntnisse konnten im Rahmen der Untersuchungen im Nullzustand gewonnen werden: Die Streuungen der Raumdichte und Dicke der Asphalt-Probeplatten, die sich zwischen den Geräteherstellern bzw. den Prüfstellen ergaben, waren kleiner als erwartet und können vernachlässigt werden. Die Streuungen erhöhen sich aber je größer das Asphaltmischgut ist. Die mit der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 vorgegebenen Verdichtungsfunktion erreichten Verdichtungsgrade aller Asphalt-Probeplatten und Asphaltvarianten sind vergleichsweise hoch; diese liegen zwischen 100,2 und 101,1 %. Die Untersuchung der Raumdichteverteilung der Asphalt-Probeplatten zeigt, dass sich in den Randbereichen erwartungsgemäß geringere Raumdichten ergeben als im inneren Bereich der Asphalt-Probeplatten.

Bei der Raumdichteverteilung zeigte sich vor allem beim hohlraumreichen Mischgut (Asphaltbinder und -tragschicht), dass der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 geforderte maximale Variationskoeffizient von 0,5 % deutlich überschritten wurde.

Die Möglichkeit der Datenaufzeichnung erwies sich als vorteilhaft bei der Ursachenforschung von Asphalt-Probeplatten mit auffällig niedrigen bzw. hohen Raumdichten. Hier zeigte sich dann in einigen Fällen, dass die vorgeschriebene Verdichtungsfunktion nicht richtig angewendet oder ein Fehler gemacht wurde. Es wird daher dringend zur Qualitätssicherung im Labor empfohlen, die Verdichtungsfunktionen während der Plattenherstellung wie im Bericht dargelegt aufzuzeichnen und zu kontrollieren.

Die Bewertung ob die WSV-Geräte und die Prüfstellen vergleichbare Asphalt-Probeplatten bzw. daraus hergestellte Probekörper bereitstellen, erfolgte in diesem Projekt über Performance-Prüfungen.

Dazu wurden in einem weiteren Bearbeitungsschritt von den 12 Prüfstellen Asphalt-Probeplatten 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. An allen

Asphalt-Probepplatten erfolgte die Raumdichtebestimmung am ISE. Hierbei zeigte sich, wie im Schritt Nullzustand, dass die Asphalt-Probepplatten vergleichsweise hohe Raumdichten im Vergleich zu den Raumdichten der zugehörigen Marshall-Probekörper erreichten und sich somit hohe Verdichtungsgrade mit dem Standard-Verdichtungsmanagement ergaben.

Bei den Asphalt-Probepplatten wurden bis auf den AC 32 T S keine signifikanten Unterschiede für die Raumdichte beim Mittelwertvergleich zwischen den Geräteherstellern ermittelt.

Der Mittelwertvergleich mit minimalen und maximalen Raumdichte der Prüfstellen ergab allerdings bei allen Asphaltvarianten signifikante Unterschiede. Die Spannweiten für alle 11 bzw. 12 Prüfstellen lagen aber maximal bei $0,043 \text{ g/cm}^3$ (AC 32 T S) und somit z. B. innerhalb der kritischen Spannweite für 11 bzw. 12 Marshall-Probekörper nach TP Asphalt-StB, Teil 6.

An den Asphaltvarianten wurden Performance-Prüfungen zum Verformungsverhalten, Ermüdungsverhalten, Kälteverhalten und der Wasserempfindlichkeit für folgende Asphaltvarianten 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 16 B S (hohlraumreich), AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA,
- Spaltzug-Schwellversuch bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 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, AC 16 B S (hohlraumreich),
- Abkühlversuch: SMA 8 S, AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA,
- Zugversuch bei $-10 \text{ }^\circ\text{C}$: AC 11 D S, AC 16 B S, AC 22 B S – Typ SMA.

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

Einerseits wurde für die Performance-Prüfungen über statistische Auswertungen geprüft, ob die Ergebnisse signifikante Unterschiede aufweisen. Andererseits wurden, soweit vorliegend, auch die Präzisionsdaten aus der jeweiligen TP zum Vergleich herangezogen. Wurden diese eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass unabhängig von WSV-Gerät sowie Prüfstelle Asphalt-Probepplatten bzw. Probekörper hergestellt werden können, die gleiche Ergebnisse in den Performance-Prüfungen liefern.

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 eine maximale Spannweite von $0,024 \text{ g/cm}^3$ aufweisen. Lediglich beim AC 32 T S und AC 16 B S wurden höhere Spannweiten ermittelt. Die statistischen Auswertungen haben ergeben, dass zwischen den Geräteherstellern kein signifikanter Unterschied bei den Raumdichten besteht.

Die Ergebnisse der Spurbildungsversuche haben gezeigt, dass die Asphalt-Probepplatten zwar Raumdichten in einem engen Bereich aufweisen, dies führt allerdings nicht zwangsläufig zu ähnlichen Ergebnissen im Spurbildungsversuch bzw. umgekehrt. Das heißt, dass sich mit den Walzsektor-Verdichtungsgeräten verschiedener Prüfstellen keine vergleichbaren Ergebnisse im Spurbildungsversuch ermitteln lassen.

Aufgrund der ermittelten Ergebnisse der Druck-Schwellversuche muss davon ausgegangen werden, dass die Probekörper, die aus Asphalt-Probepplatten verschiedener Hersteller und Prüfstellen hergestellt wurden, unterschiedliche Ergebnisse im Druck-Schwellversuch liefern.

Die statistischen Auswertungen der Spaltzug-Schwellversuche zeigten, dass die Probekörper aus den Asphalt-Probepplatten verschiedener Prüfstellen überwiegend dieselben Ergebnisse 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 z. B. davon auszugehen, dass die ermittelten Bruchtemperaturen trotz geringfügigen Unterschieden in der gleichen Kategorie zur

Bewertung der Kälteeigenschaften [14] eingeordnet werden.

Bei den Zugversuchen bei -10 °C ergeben die statistischen Auswertungen, dass die Ergebnisse als nicht gleich anzusehen sind.

Bei den lediglich am SMA 8 S durchgeführten zentrischen Zugversuchen ließ sich keine eindeutige Tendenz erkennen. Das Verhältnis der Zugfestigkeiten vor und nach Wasserlagerung liegt im Mittel bei 97 %, d. h. eine Auswirkung der Wasserlagerung auf die Zugfestigkeit war 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.

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

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 vorliegende Verfahren (z. B. 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 dem 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 Verfahrensaudit erwartet, nur gering unterscheiden, sich aber in ausgewählten Performance-Prüfungen Unter-

schiede 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 ggfs. 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.

6.2 Ausblick

Es wird dringend empfohlen in die TP Asphalt-StB, Teil 33 für die Herstellung der Asphalt-Probepplatten mit dem WSV-Gerät die Datenaufzeichnung während der Asphalt-Probepplatten-Herstellung und deren anschließende Überprüfung aufzunehmen.

Weiterhin zeigte sich bei der Überprüfung der Raumdichteverteilung, vor allem beim hohlraumreichen Mischgut (Asphaltbinder und -tragschicht), dass der nach TP Asphalt-StB, Teil 33 geforderte maximale Variationskoeffizient von 0,5 % deutlich überschritten wurde. Es gilt zukünftig zu überprüfen, ob dieser Variationskoeffizient ggfs. für verschiedene Asphaltarten angepasst werden sollte.

Weiterhin müssen, um genauere Aussagen bezüglich der Einheitlichkeit/Homogenität der Asphalt-Probepplatten treffen zu können, die Präzision für den Spaltzug-Schwellversuch, Abkühl- und Zugversuch ermittelt werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die hergestellten Asphalt-Probepplatten aller Asphaltvarianten vergleichsweise hohe Verdichtungsgrade

aufweisen. Falls zukünftig gewünscht wird, dass diese z. B. auf ca. 100 % reduziert werden, müssten die Verdichtungsfunktionen für jede Asphaltart/-sorte entsprechend in der Technischen Prüfvorschrift festgelegt werden. Zur Ermittlung dieser Verdichtungsfunktionen wären umfangreiche Untersuchungen nötig.

Da ermittelt werden konnte, dass unterschiedliche Ergebnisse bei den Versuchen nicht auf die unterschiedlichen Raumdichten der Probekörper zurückzuführen sind, müssten andere Parameter zur Beschreibung der Eigenschaften der Asphalt-Probepplatten herangezogen werden. Denkbar ist dabei eine Kenngröße die die Struktur des Asphaltes bzw. die Lage der Gesteinskörnungen im Asphalt beschreibt.

7 Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschrift für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probepplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), Köln, 2007
- [2] ARAND, W.; RENKEN, P.: Labor-Walzverdichtungs-Gerät zur Herstellung verdichteter Asphaltproben mit praxisadäquaten mechanischen Eigenschaften, BMVBW, Bonn, 1999, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 771
- [3] SCHMALZ, M.; RIECHERT, A.; HAUSINGER, N.; GAUER, P.: Anwendungsgrenzen und Präzision des Spurbildungsversuches mit Vollgummirad für Walzasphalte, BMVBS, Bonn, 2009, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1014
- [4] RENKEN, P.: Vergleich der mechanischen Eigenschaften von mittels Walz-Sektor-Verdichtungsgerät und Lamellen-Verdichtungsgerät hergestellten Asphaltprobepplatten, BMVBW, Bonn, 2001, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 821
- [5] WELLNER, F.; WEISE, C.; LEUTNER, R.; OESER, M.; JÄHNIG, J.; LORENZL, H.; SCHINDLER, K.; MOLLENHAUER, K.; ZANDER, U.; RABE, R.: Nachhaltiger Straßenbau – Bemessungsmodell zur Förderung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit kleinerer und mittlerer Straßenbauunternehmen, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 19 W 3055, Dresden und Braunschweig, 2007
- [6] KARCHER, C.: Prognose und Bewertung des Verformungsverhaltens von Asphalten mit dem Druckschwellversuch am Beispiel des Splittmastixasphaltes, Universität Karlsruhe, Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen, Veröffentlichungen, Heft 54, 2005, Diss. Universität Karlsruhe
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschrift für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil 25 B 1: Einaxialer Druck-Schwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme, Köln, 2010
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschrift für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil 6: Raumdichte von Asphaltprobekörpern, Köln, 2007
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Prüfverfahren für die Dimensionierung von Asphaltbefestigungen: Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße für die Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (AL Sp-Asphalt 09), Köln, 2009
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschrift für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil 22: Spurbildungsversuch, Köln, 2007
- [11] RENKEN, P.; WISTUBA, M.; GRÖNNINGER, J.; SCHINDLER, K.: Adhäsion von Bitumen am Gestein, BMVBS, Bonn, 2010, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1043
- [12] DIN EN 12697-46: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil Widerstand gegen Kälterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen, Berlin, Juli 2012
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Technische Prüfvorschrift, Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen. Köln, 1994

- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Arbeitspapier Tief-temperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche, Köln, Ausgabe 2012
- [15] JANSSEN, J.; LAATZ, W.: Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. Springer Verlag Berlin/Heidelberg, 2007, 6. Auflage
- [16] SACHS, L.: Angewandte Statistik. Statistische Methoden und ihre Anwendung. Springer Verlag, 9. Auflage, 1999
- [17] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen zur Präzision, Köln, 2000

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2008

S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50

S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 18,50

S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten
Blume € 16,00

S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)
Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Ripke, Zöller, Pöppel-Decker € 23,00

S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus
Freudenstein, Birmann € 14,00

2011

S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen
Breitenbücher, Youn € 14,50

S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Canzler, Winkler € 16,50

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Ripke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

2013

- S 79: Gussasphalt ohne Abstreuerung
Ripke € 9,00
- S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50
- S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts
Durner € 15,00

2014

- S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier
Jansen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 83: Die Stellung der Gemeinden im Straßenrecht – aktuelle Probleme des Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 23./24. September 2013 in Bonn
Durner € 17,00
- S 84: Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen
Maerschalk, Oertelt € 19,00
- S 85: Kornformbeurteilung mit dem optischen Partikelmessgerät Camsizer®
Kunz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

- S 86: Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgemischten, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht
Radenberg, Miljković, Schäfer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden
- S 87: Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests Durchführung und Auswertung
Müller, Seidel, Böhm
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 88: Verwendung von AKR-geschädigtem Betonaufbruch für hydraulisch gebundene Tragschichten
Hünger, Börner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 89: Ermittlung von repräsentativen Substanzwerten in homogenen Abschnitten
Villaret, Frohböse, Jähmig, Karcher, Niessen, Buch, Zander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 90: AKR-Untersuchungen für Fahrbahndecken aus Beton mit Waschbetonoberfläche
Müller, Seidel, Böhm, Stark, Ludwig, Seyfarth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 91: Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger
Durner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- S 92: Längsebenenmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)
Neubeck, Wiesebrock
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

- S 93: Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahndeckenbetonen
Weise, Schrang € 19,50
- S 94: Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung
Kemper, Schacht, Klaproth, Oeser, Beyer € 16,50
- S 95: Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel
Bialucha, Merkel, Motz, Demond, Schmidt, Ritter, Haas € 14,50
- S 96: Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren
Dudenhöfer, Rückert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 97: Einheitliche Bewertungs- kriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel
Fischer, Sauer, Jungwirth, Baumgärtner, Hess, Ditter, Roth, Xalter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 98: Verifikation eines Europäischen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphalt
Böhm, Beara
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 99: Ansprache und Steuerung von Healing-Effekten bei Asphalt
Wistuba, Alisov, Isailović in Vorbereitung
- S 100: Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen
R. Roos, C. Karcher, A. Wittenberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de