

AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11145 B

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

bearbeitet von

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Pilz  
Dr.-Ing. Dipl.-Chem. H. Fritsche

Forschungsstelle:  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)  
Prüfstelle für bit. Baustoffe

Dresden, im Februar 1999



Deutsches Asphaltinstitut e. V.  
Schieffelingsweg 6  
D-53123 Bonn  
Tel.: (02 28) 9 79 65-0  
Fax: (02 28) 9 79 65-11

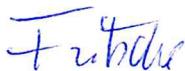
AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11145 B

Schlußbericht

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

Antragsteller:	Deutsches Asphaltinstitut Schieffelingweg 6 53123 Bonn
Forschungsstelle:	Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH) Prüfstelle für bit. Baustoffe Friedrich-List-Platz 1 01069 Dresden
Bearbeiter:	Prof. Dr.-Ing. habil. P. Pilz Dr.-Ing. Dipl.-Chem. H. Fritsche

Dresden, im Februar 1999



Dr.-Ing. Dipl.-Chem. H. Fritsche  
Sachbearbeiter



Prof. Dr.-Ing. habil. P. Pilz  
Projektleiter

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

**Kurzfassung**

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Abhängigkeit der Raumdichte von Marshall-Probekörpern von der Verdichtungstemperatur bei konstanter Verdichtungsarbeit und des weiteren von der unterschiedlichen Viskosität und dem unterschiedlichen Viskositäts-Temperatur-Verhalten der verwendeten Bindemittel.

Probekörper drei unterschiedlich verdichtungswilliger Mischgüter (Tragschichtmischgut 0/22 B, Asphaltbinder 0/16 S, Splittmastixasphalt 0/11 S) wurden standardgerecht mit dem Marshall-Verdichtungsgerät hergestellt.

Um den Einfluß der Viskosität der Bindemittel auf die Raumdichte deutlich zu machen, wurden drei Straßenbaubitumen nach DIN 1995 T. 1 sowie 3 polymermodifizierte Bitumen nach TL- PmB 89 T.1 sowie ein weiteres z. Z. noch nicht standardisiertes PmB 25 verwendet. Außerdem wurde das Tragschichtmischgut 0/22 B mit B 80 durch Zugabe von 15 M.-% und 30 M.-% Asphaltgranulat modifiziert und der Einfluß der Zugabe auf die Raumdichte untersucht.

Im Ergebnis konnte festgestellt werden, daß insbesondere bei den polymermodifizierten Bitumen eine Erhöhung der Verdichtungstemperatur in Bezug auf die festgelegte von  $(135 \pm 5)$  °C vorgenommen werden muß.

Signifikante Abweichungen  $\pm 35$  K von der Standardverdichtungstemperatur 135 °C oder auch Verwendung bezüglich der Viskosität unterschiedlicher Bitumen bei der Herstellung von Marshall-Probekörpern führen zu Raumdichtedifferenzen, welche sich auf den zulässigen Verdichtungsgrad bezogen, in nur wenigen der 216 untersuchten Fälle negativ für den Auftragnehmer auswirken würden.

Die Hohlraumgehalte der Marshall-Probekörper unter der Voraussetzung jeweils konstanter Kornzusammensetzung des Mineralgemisches der Mischgüter reagieren wesentlich deutlicher auf die genannten Einflußfaktoren.

Die Zielstellung des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Die Arbeit zeigt auch, daß besonders bei der Verwendung von Asphaltgranulat weiterer Forschungsbedarf besteht.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	Seite 1
1.1	Begründung des Forschungsvorhabens	1
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens	2
1.3	Allgemeine Angaben	3
2.	Ausgangsmaterialien - Allgemeines	5
2.1	Bitumen	5
2.2	Mineralstoffe	7
2.3	Asphaltgranulat	8
3.	Mischgutarten und Mischgut- und Probekörperherstellung	9
3.1	Mischgutarten	9
3.1.1	Asphalttragschicht	11
3.1.2	Asphaltbinder	13
3.1.3	Splittmastixasphalt	15
3.2	Probekörperherstellung	15
4.	Untersuchungsergebnisse zu den Ausgangsstoffen	19
4.1	Bitumen	19
4.1.1	Standardspezifische Kennwerte	19
4.1.2	Absolute Viskosität	23
4.1.2.1	Meßgerät und Meßmethodik	23
4.1.2.2	Proben und Versuchsvorbereitung	23
4.1.2.3	Ergebnisse	24
4.1.2.4	Äquiviskositätstemperaturen (kinematisch)	31
4.2	Mineralstoffe	37
4.2.1	Granulometrische Eigenschaften	37
4.2.2	Beanspruchungsorientierte Eigenschaften	38
4.3	Asphaltgranulat	47
5.	Untersuchungsergebnisse zu Asphalt	51
5.1	Raumdichten und Hohlraumgehalt	51
5.1.1	Asphalttragschicht 0/22 B	53
5.1.2	Asphaltbinder 0/16 S	57
5.1.3	Splittmastixasphalt 0/11 S	61

5.1.4	Vergleich von verfahrensabhängig ermittelten Raumdichten und Hohlraumgehalt	65
5.2	Marshall-Stabilität - und Fließwert nach DIN 1996 T. 14 der Asphalttragschicht 0/22 B	67
6.	Diskussion der Untersuchungsergebnisse	71
7.	Zusammenfassung	86
8.	Literaturverzeichnis	89
9.	Verzeichnis der Tabellen	91
10.	Verzeichnis der Abbildungen	97
11.	Verzeichnis der Anlagen	99
	Anlagen	

## 1. Aufgabenstellung

### 1.1 Begründung des Forschungsvorhabens

Nach DIN 1996, Teil 4, wird in Abhängigkeit von der Art des Bitumens bzw. bitumenhaltigen Bindemittels die Verdichtungstemperatur vorgeschrieben.

Diese Verdichtungstemperatur ist abhängig von der Art des Bindemittels und beträgt für Straßenbaubitumen nach DIN 1995, Teil 1,  $135 \pm 5$  °C.

Diese DIN wurde zu einem Zeitpunkt erarbeitet, als die Verwendung hochviskoser Bindemittel, besonders polymermodifizierter Bindemittel, noch nicht in dem Maße erfolgte, wie das heute der Fall ist. Die Verwendung polymermodifizierter Bindemittel hat in den letzten Jahren stetig zugenommen, so daß wir heute bei einem Verbrauch bei ca. 200 000 t pro Jahr liegen.

Obwohl sich auch die Sorten der DIN 1995 T.1 hinsichtlich ihrer Viskosität bei einer bestimmten Temperatur unterscheiden, wird kein Unterschied hinsichtlich der Verdichtungstemperatur bei der Herstellung von Asphaltprobekörpern gemacht.

Das war insofern gerechtfertigt, weil die besonders harte Bindemittelsorte B 15 und die weichste Sorte B 300 bei der Überarbeitung der DIN 1995 T.1 (12/80) weggelassen wurde, und weil der Einfluß der restlichen fünf Bitumensorten (B 25 bis B 200) hinsichtlich der Verdichtung, die bei vorgegebener Verdichtungstemperatur und folglich sich unterscheidenden Viskositäten erreicht wird, als geringfügig eingeschätzt wurde.

Bei Anwendung polymermodifizierter Bitumen nach TL-PmB 89 sind in DIN 1996 Teil 4 keine speziellen Angaben zur Verdichtungstemperatur zu finden.

Es ist vielmehr ausgeführt, daß für die nicht in Tabelle 1 der zuvor genannten DIN angegebenen Bindemittel eine Verdichtungstemperatur zu wählen ist, die einer kinematischen Viskosität von 500 bis 600 mm<sup>2</sup>/s entspricht.

Bei Zugabe von Asphaltgranulat wäre folglich sinngemäß zu verfahren.

Das bedeutete, daß bei exakter Auslegung der Anforderung bezüglich der kinematischen Viskosität des Bindemittels, aus dem Granulat zunächst das Bitumen zurückzugewonnen werden müßte, über das festgelegte Verhältnis der Zugabe des Granulats in Prozent zum Gesamtmischgut dieses zurückgewonnene Bitumen mit Neubitumen gemischt werden müßte. Davon müßte über das experimentell zu ermittelnde Viskosität-Temperatur-Verhalten die mit der Sollviskosität korrespondierende Verdichtungstemperatur festgelegt werden.

Dieses Verfahren wäre relativ umständlich und wird nach den Erfahrungen der Verfasser in der Praxis kaum angewandt.

Außerdem wird, wie bekannt, beim Zumischen von Asphaltgranulat zu frischem Mischgut keine homogene Vermischung beider Bindemittelkomponenten, wie das im Nachhinein bei der Wiedergewinnung des resultierenden Bindemittels aus granulathaltigem Mischgut geschieht, erreicht, so daß diese o.a. aufwendige Aufbereitung nicht sinnvoll erscheint.

## 1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Da die nach DIN 1996 T. 7 ermittelte Raumdichte über den Verdichtungsgrad zu Abzügen führen kann (vergleiche Anhang der ZTV Asphalt StB-94 und der ZTVT-StB 95), ist im Falle der Bestimmung einer Bezugsraumdichte, die durch die festgelegte Verdichtungstemperatur und damit verbundener variierender Viskositäten der Bitumensorten und -arten beeinflusst wird, mit unterschiedlichen Ergebnissen und Konsequenzen zu rechnen. Es soll deshalb im Rahmen der Forschungsaufgabe festgestellt werden, welche Verdichtungstemperaturen im Labor für die in Tabelle 1 der DIN 1996 Teil 4 nicht genannten Bindemittel anzuwenden wäre. Das ist auch erforderlich, weil nicht alle Laboratorien in der Lage sind, die absolute Viskosität zu ermitteln. Außerdem ist die Aufnahme der Viskositäts-Temperatur-Funktionen mit einem relativ hohen zeitlichen und labortechnischen Aufwand verbunden.

Um die prinzipiell möglichen, aber auch für einschlägige Asphaltarten nach ZTVT und ZTV Asphalt praktikablen Bindemittelsorten mit einer maximalen Viskositätsspannweite zu erfassen, sollen

1. Ein weich eingestelltes B 80, dessen Erweichungspunkt Ring und Kugel an der unteren Grenze liegt,
2. ein hart eingestelltes B 65 und ein B 45, deren Erweichungspunkte Ring und Kugel an der oberen Grenze liegen, sowie
3. polymermodifizierte Bitumen unterschiedlicher Hersteller nach TL-PmB T.1

in die Untersuchungen einbezogen werden.

Außerdem sollten 2 aus Granulat zurückgewonnene Straßenbaubitumen ergänzend in die Untersuchungen einbezogen werden.

Diese letzte Festlegung wurde im Verlaufe der Arbeiten dahingehend modifiziert, daß 2 Asphalte mit unterschiedlichen Granulatgehalten einbezogen worden sind.

Dieser Änderung stimmte der Wissenschaftliche Beirat des Deutschen Asphaltinstitutes in seiner Sitzung am 07.05.1998 zu.

### 1.3 Allgemeine Angaben

Die mineralischen Ausgangsstoffe wurden nach Möglichkeit konstant gehalten. Sie wurden aus einem Steinbruch an der Grenze des Freistaates Sachsen bezogen.

Diese mineralischen Zuschlagstoffe entsprechen den Forderungen der TL Min-StB und sie unterliegen einer regelmäßigen Fremdüberwachung durch ein nach RAP Stra-98 anerkanntes Laboratorium. Als Füller wurde Kalksteinmehl verwendet.

Hinsichtlich der Auswahl der zu untersuchenden Asphalte war zu berücksichtigen, daß ein leicht verdichtbarer Asphaltbeton bzw. ein Tragschichtmischgut unter Verwendung von Kies und Natursand sowie ein schwer verdichtbarer Asphaltbinder für besondere Belastungen zu betrachten waren. Ergänzend dazu sollte ein schwer verdichtbarer Splittmastixasphalt

[1] untersucht werden.

Damit wären folgende Mischgüter in die Betrachtungen einzubeziehen:

1. Tragschichtmischgut 0/22 B
2. Asphaltbinder 0/16 S
3. Splittmastixasphalt 0/11 S.

Im ersten Schritt der Bearbeitung des Forschungsthemas wurden sämtliche zur Anwendung kommenden Bitumenarten und -sorten untersucht. Die Untersuchungen bezogen sich nicht allein auf die 13 Standardprüfungen nach DIN 1995 T.1 sowie die 13 Anforderungskriterien nach TL PmB T. 1 sondern es wurden zusätzlich Penetration und Dichte bei einer zweiten Prüftemperatur bestimmt, um die Temperaturabhängigkeit beider Kennwerte festzustellen.

Die Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur wurde über einen weiten Temperaturbereich ermittelt. Daraus ergab sich die Möglichkeit, Temperaturen bei gleicher Viskosität, als Äquiviskositätstemperaturen bezeichnet, zu bestimmen.

Für die mineralischen Zuschlagstoffe erfolgte eine Volluntersuchung der Anforderungen nach den Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe.

Die Herstellung von Asphaltmischgut im Labor und daraus hergestellter Marshallprobekörper erfolgte nach DIN 1996 Teil 20 bzw. Teil 4 unter Variation der Mischgutart bzw. -sorte, der Bindemittelsorte bzw. -art, der Verdichtungstemperatur und des Bindemittelgehaltes.

Nach den Vorstellungen und den Planungen wurden je 5 Marshallprobekörper mit 3 unterschiedlichen Bindemittelgehalten bei in der Regel 4 Verdichtungstemperaturen hergestellt. Die große Anzahl der herzustellenden Marshallprobekörper führte zu einer Verlängerung der Bearbeitungszeit.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten entsprechende Abhängigkeiten der Raumdichte von der Verdichtungstemperatur sowie den anderen Einflußgrößen festgestellt werden.

Besonders sind diese Unterschiede bei der Anwendung von polymermodifizierten Bitumen zum Ausdruck gekommen.

Im Vorgriff auf mögliche Regelungen in Europa, die eine Neufassung oder eine Überarbeitung der TL -PmB beinhalten, wurde auch ein polymermodifiziertes Bitumen genutzt, das als PmB 25 einzuordnen wäre.

Gewählt wurden 4 Verdichtungstemperaturen: 100 °C (1), 135 °C (2) und 170 °C (3) und die Äquiviskositätstemperatur (kinematisch) ÄVT für 550 mm<sup>2</sup>/s (4).

Die Kenntniss der viskositätsabhängigen Bezugsraumdichte und deren Einfluß auf die Abnahme liegt in allererster Linie im Interesse der mittelständischen Unternehmer sowie der Laboratorien, welche die auftretenden Abweichungen besser interpretieren können und denen es dann möglich ist, Vorschläge zur Überarbeitung der zur Zeit gültigen Vorschriften zu unterbreiten. Demnach sollte die Verdichtungstemperatur der Herstellung von Asphaltprobekörpern viskositätsabhängig hinsichtlich des verwendeten Bitumens geregelt werden.

Die Verdichtbarkeit nach Arand [2] wurde nur unter den Bedingungen der Eignungsprüfungen ermittelt, da das zur Verfügung stehende Finanzvolumen begrenzt war.

## 2. Ausgangsmaterialien - Allgemeines

Für die Durchführung der Untersuchungen wurden handelsübliche Bitumen verwendet, die den Forderungen der DIN 1995, Teil 1, bzw. den Technischen Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen (TL-PmB T. 1) entsprachen. Eine Ausnahme stellt ein speziell eingesetztes polymermodifiziertes Bitumen dar, das in die neueren Entwürfe der TL-PmB eingeordnet werden kann und danach einem PmB 25 entspricht.

Als gebrochene mineralische Zuschlagstoffe wurde Grauwacke Großkoschen eingesetzt.

Als Füller fand Kalkstein Caaschwitz Verwendung.

Der Kies stammt aus Röderau, der Natursand vom Heller bei Dresden.

Das eingesetzte Asphaltgranulat stammt von der MA DEUTAG Freital.

Technocel 1004 wurde als stabilisierender Zusatz verwendet.

### 2.1 Bitumen

Wie bereits ausgeführt, handelt es sich bei den Bitumen um Normenbitumen nach DIN 1995, Teil 1, bzw. polymermodifizierte Bitumen nach den Technischen Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen (TL-PmB 89, Teil 1).

Es wurden insgesamt 8 bzw. 7 Bitumen verwendet, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind.

Tab. 1: Verwendete Bitumen

Nr.	Bezeichnung
1	B 80 nach DIN 1995, T. 1
2	B 65 nach DIN 1995, T. 1
3	B 45 nach DIN 1995, T. 1
4	PmB 45 A
5	PmB 45 A
6	PmB 45 A
7	PmB 25
8	Bitumen aus Granulat zurückgewonnen (RC-Bitumen)
8/1	theoretisches Gemisch aus B 80 und RC-Bitumen (15 M.-%)
8/2	theoretisches Gemisch aus B 80 und RC-Bitumen (30 M.-%)

Tab. 2: Kennwerte der verwendeten Bitumen

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Istwerte							
				1	2	3	4	5	6	7	8
1	Bindemittel-Nr. Nadelpenetration (100g, 5s, 25°C) Nadelpenetration (100g, 5s, 40°C)	DIN 52010	0,1 mm	93 394	53 231	43 172	51 169	43 185	34 130	37 100	25 100
2	Erweichungspunkt RuK	DIN 52011	°C	H: 47,0 A: 45,0	H: 52,0 A: 50,0	H: 57,0 A: 55,0	H: 70,0 A: 68,0	H: 65,0 A: 63,5	H: 60,5 A: 59,0	H: 70,5 A: 69,0	H: 61,0 A: 58,5
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	-14	-10	-8	-20	-10	-10	-5	-8
4	Asche	DIN 52005	M.-%	0,13	0,14	0,08	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	0,42
5	Gehalt an Trichlorethen-Unlöslichem Siebrückstand	DIN 52014	M.-%	0,08 0	0 0	0 0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	0,04 0
6	Gehalt an Cyclohexan-Unlöslichem Siebrückstand	DIN 52014	M.-%	0,06 0,01	0 0	0 0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	0,03 0,005
7	Duktilität bei 7°C 13°C 25°C	DIN 52013	cm	>100	>100	>100	75	>100	>100	50	>100
8	Paraffin Erstarrungspunkt am rotier. Thermometer	DIN 52015 ISO 2207	M.-% °C	0,6 61	0,3 *	1,6 62	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	1,5 59,5
9	Dichte bei 25°C 40°C 60°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	1,017 1,006	1,025 1,013	1,031 1,019	1,024 -	1,020 -	1,034 -	1,024 -	1,031 1,020
10	Flammpkt. im offenen Tiegel nach Cleveland Brennpunkt	ISO 2592	°C	entfällt	entfällt	entfällt	342	358	308	316	entfällt
11	Elastische Rückstellung	DIN 52021 T.1 (Entwurf)	%	entfällt	entfällt	entfällt	386 78	384 87	356 76	360 82	entfällt
12	Homogenität nach Heißlagerung Differenz der EP RuK	TL-Pmb 89 T.1	K	entfällt	entfällt	entfällt	H: 0,5 A: 0,0	H: 1,0 A: 1,0	H: 4,0 A: 4,5	H: 10,5 A: 13,0	entfällt
13	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	+0,01	+0,02	+0,01	+0,00	+0,02	+0,03	+0,01	-0,21
14	Änderung/Zunahme d. EP RuK durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	Anstieg K Abnahme K	H: 4,5 A: 4,5	H: 4,0 A: 4,5	H: 4,5 A: 5,0	H: 1,0 A: 1,5	H: 3,0 A: 3,5	H: 4,0 A: 4,0	H: 0,5 A: 1,0	H: 2,0 A: 2,5
15	Änderung/Verminderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	Abnahme %	27,2	27,6	26,0	30,2	18,9	17,9	25,9	8,5
16	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 7°C bei 13°C bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	19	24	72	36	>100	>100	41	>100
17	Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52021 T.1 (Entwurf)	%	entfällt	entfällt	entfällt	76	70	69	76	entfällt

\* wegen Materialmangel Bestimmung nicht möglich

Die anteilige Verwendung des Bindemittels Nr. 8 erfolgt indirekt (bezeichnet als 8/1 und 8/2) und mit im folgenden genannten Einschränkungen.

Die Berücksichtigung der Bitumenanteile des Granulates geschah nicht wie ursprünglich vorgesehen in der Weise, daß aus einem oder zwei Granulaten das Bitumen durch Extraktion zurückgewonnen wurde und dann mit neuem Bitumen vermischt wurde, sondern das Granulat wurde, wie das auch in der Praxis geschieht, dem Mischgut direkt zugegeben.

Diese Abweichung von den ursprünglichen Vorstellungen war darin begründet, daß die Rückgewinnung des Bitumens aus dem Granulat außerordentlich aufwendig ist und mit gesundheitlichen Risiken verbunden war und schließlich nicht den Praxisbedingungen entspricht.

Als Ausgleich wurde so vorgegangen, daß 2 verschiedene Granulatanteile gewählt wurden, so daß damit gerechnet werden kann, daß sich die resultierenden Bitumen (8/1 und 8/2) in gewisser Weise unterschiedlich verhalten.

Die Kennwerte (Einzelwerte) gemäß DIN 1995 T.1 und TL PmB T. 1, befinden sich mit oben angeführten Erweiterungen für die verwendeten Bitumen auf den Anlagen 1 bis 7.

Die Kennwerte des aus dem Granulat zurückgewonnenen Bitumen sind auf der Anlage 8 angegeben. Es wurde bezüglich seiner Kennwerte wie ein Straßenbaubitumen untersucht. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der wichtigsten Kennwerte der verwendeten Bitumen.

## 2.2 Mineralstoffe

Die verwendeten mineralischen Zuschlagstoffe stammen zum größten Teil aus dem Steinbruch Großkoschen der Lausitzer Naturstein- und Baustoffwerke vorm. C.G. Kunath. Es handelt sich dabei um Grauwacke.

Dieses Material unterliegt einer regelmäßigen Fremdüberwachung nach RG Min-StB.

Folgende Materialien wurden für Splittmastixasphalt und Asphaltbinder verwendet:

Tab. 3: Edelbrechsand, Splitt und Füllstoff

Nr.	Bezeichnung
1	Edelbrechsand 0/2
2	Edelsplitt 2/5
3	Edelsplitt 5/8
4	Edelsplitt 8/11
5	Edelsplitt 11/16
6	Kalksteinmehl

Das unter 6. genannte Kalksteinmehl kommt aus dem Werk Caaschwitz der Wünschendorfer Dolomitwerk GmbH.

Der für die Asphalttragschicht verwendete Kies kommt aus Röderau, wo er vorzugsweise für die Betonherstellung aber auch für die Asphaltproduktion verwendet wird. Der Natursand stammt vom Heller Dresden.

Tab. 4: Natursand und Kies

Nr.	Bezeichnung
7	Natursand 0/2
8	Kies 2/5
9	Kies 5/8
10	Kies 8/11
11	Kies 11/16
12	Kies 16/22

### 2.3 Asphaltgranulat

Das verwendete Granulat wurde vom Lager einer Mischanlage entnommen. Die Herkunft war nicht mehr feststellbar, da es sich um gebrochenes Ausbaumaterial handelte. Die Eigenschaften des Granulates sind aus den Anlagen 12 - 14 ersichtlich.

Der Bitumengehalt beträgt 4,7 M.-%.

Die Eigenschaften des rückgewonnenen Bitumens sind auf Anlage 8 angegeben. Gemessen an der Nadelpenetration handelt es sich vergleichsweise um ein B 25.

Die Rohdichte des Granulates beträgt  $2,565 \text{ g/cm}^3$  (Anlage 14). Die Korngrößenverteilung der extrahierten Mineralstoffe zeigt Abb.14 und Anlage 12. Die Stückgrößenverteilung wurde nicht bestimmt.

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe wurden nicht nachgewiesen.

### 3. Mischgutarten und Mischgut- und Probekörperherstellung

#### 3.1 Mischgutarten

Bei der Auswahl der Mischgüter bzw. der Asphalte wurde davon ausgegangen, daß einmal ein leicht verdichtbares Mischgut gewählt werden sollte und zum anderen schwer verdichtbare Mischgüter mit diesem verglichen werden sollten. Gemäß Arbeitsplan wurden deshalb untersucht,

1. Tragschichtmischgut 0/22 B granulatfrei
  - 1.1 Tragschichtmischgut 0/22 B granulathaltig (15 M.-%)
  - 1.2 Tragschichtmischgut 0/22 B granulathaltig (30 M.-%)
2. Asphaltbinder 0/16 S
3. Splittmastixasphalt 0/11 S

Dabei handelt es sich um in der Praxis angewandte Mischgüter, für die die entsprechenden Eignungsprüfungen auf den Anlagen 9 - 11 beigelegt wurden sind.

Im wesentlichen entsprechen die in den Eignungsprüfungen (mit dem bevorzugt einzusetzenden Bitumen) ermittelten Kennwerte den Forderungen der ZTVT-StB 95, Fassung 1998, bzw. der ZTV Asphalt-StB 94, Fassung 1998, die der Bearbeitung zugrunde gelegt wurden.

Abweichend von den Angaben in den Eignungsprüfungen wurde das Bitumen variiert, so daß (vgl. Tab. 1) für die Asphalttragschicht insgesamt sechs, für die Asphaltbinderschicht sieben und für den Splittmastixasphalt sechs Varianten zur Ausführung kamen. Neben der Variation des Bindemittels wurde noch die Verdichtungstemperatur variiert. Gewählt wurden die Temperaturen 100 °C, 135 °C, 170 °C sowie die Äquiviskositätstemperatur (kinematisch). Tabelle 5 zeigt eine Übersicht über die Kombinationen, die sich aus den unterschiedlichen Bindemittelsorten und -arten, den unterschiedlichen Mischgütern und den verschiedenen Verdichtungstemperaturen ergeben. Bei der Asphalttragschicht enthalten zwei der Varianten ein durch Asphaltgranulatzugabe modifiziertes B 80 (8/1; 8/2).

Laut Tab, 5 steht die 1. Ziffer für die Mischgutart

- 1 Tragschichtmischgut 0/22 B
- 2 Asphaltbinder 0/16 S
- 3 Splittmastixasphalt 0/11 S

Tab 5: Zusammenstellung der Probekörperreihen in Abhängigkeit vom Mischgut, von Art und Sorte des Bindemittels, der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt

Bindemittel-Nr.	Bitumen	Asphalttragschicht 0/22 B			Asphaltbinder 0/16 S			Splittmastixasphalt 0/11 S		
		Sorte/Art	Verdichtungstemperatur 100°C	Verdichtungstemperatur 135°C	Verdichtungstemperatur 170°C	AVT	100°C	Verdichtungstemperatur 135°C	Verdichtungstemperatur 170°C	AVT
1	B80 (weich)	1.1.1.1	1.1.2.1	1.1.3.1	1.1.4.1	1.2.1.1	1.2.2.1	1.2.3.1	1.2.4.1	
		1.1.1.2	1.1.2.2	1.1.3.2	1.1.4.2	1.2.1.2	1.2.2.2	1.2.3.2	1.2.4.2	
		1.1.1.3	1.1.2.3	1.1.3.3	1.1.4.3	1.2.1.3	1.2.2.3	1.2.3.3	1.2.4.3	
2	B65 (hart)	1.2.1.1	1.2.2.1	1.2.3.1	1.2.4.1	2.2.1.1	2.2.2.1	2.2.3.1	2.2.4.1	3.2.1.1
		1.2.1.2	1.2.2.2	1.2.3.2	1.2.4.2	2.2.1.2	2.2.2.2	2.2.3.2	2.2.4.2	3.2.1.2
		1.2.1.3	1.2.2.3	1.2.3.3	1.2.4.3	2.2.1.3	2.2.2.3	2.2.3.3	2.2.4.3	3.2.1.3
3	B45	1.3.1.1	1.3.2.1	1.3.3.1	1.3.4.1	2.3.1.1	2.3.2.1	2.3.3.1	2.3.4.1	3.3.1.1
		1.3.1.2	1.3.2.2	1.3.3.2	1.3.4.2	2.3.1.2	2.3.2.2	2.3.3.2	2.3.4.2	3.3.1.2
		1.3.1.3	1.3.2.3	1.3.3.3	1.3.4.3	2.3.1.3	2.3.2.3	2.3.3.3	2.3.4.3	3.3.1.3
4	PmB 45A					2.4.1.1	2.4.2.1	2.4.3.1	2.4.4.1	3.4.1.1
						2.4.1.2	2.4.2.2	2.4.3.2	2.4.4.2	3.4.1.2
						2.4.1.3	2.4.2.3	2.4.3.3	2.4.4.3	3.4.1.3
5	PmB 45A					2.5.1.1	2.5.2.1	2.5.3.1	2.5.4.1	3.5.1.1
						2.5.1.2	2.5.2.2	2.5.3.2	2.5.4.2	3.5.1.2
						2.5.1.3	2.5.2.3	2.5.3.3	2.5.4.3	3.5.1.3
6	PmB 45A					2.6.1.1	2.6.2.1	2.6.3.1	2.6.4.1	3.6.1.1
						2.6.1.2	2.6.2.2	2.6.3.2	2.6.4.2	3.6.1.2
						2.6.1.3	2.6.2.3	2.6.3.3	2.6.4.3	3.6.1.3
7	PmB 25	1.7.1.1	1.7.2.1	1.7.3.1	1.7.4.1	2.7.1.1	2.7.2.1	2.7.3.1	2.7.4.1	3.7.1.1
		1.7.1.2	1.7.2.2	1.7.3.2	1.7.4.2	2.7.1.2	2.7.2.2	2.7.3.2	2.7.4.2	3.7.1.2
		1.7.1.3	1.7.2.3	1.7.3.3	1.7.4.3	2.7.1.3	2.7.2.3	2.7.3.3	2.7.4.3	3.7.1.3
8.1	15% Granulat	1.8/1.1.1 <sub>15</sub>	1.8/1.2.1 <sub>15</sub>	1.8/1.3.1 <sub>15</sub>	-					
		1.8/1.1.2 <sub>15</sub>	1.8/1.2.2 <sub>15</sub>	1.8/1.3.2 <sub>15</sub>						
		1.8/1.1.3 <sub>15</sub>	1.8/1.2.3 <sub>15</sub>	1.8/1.3.3 <sub>15</sub>						
8.2	30% Granulat	1.8/2.1.1 <sub>30</sub>	1.8/2.2.1 <sub>30</sub>	1.8/2.3.1 <sub>30</sub>	-					
		1.8/2.1.2 <sub>30</sub>	1.8/2.2.2 <sub>30</sub>	1.8/2.3.2 <sub>30</sub>						
		1.8/2.1.3 <sub>30</sub>	1.8/2.2.3 <sub>30</sub>	1.8/2.3.3 <sub>30</sub>						

1. Ziffer: Rezeptur/Mischgutart

2. Ziffer: Bindemittel

3. Ziffer: Verdichtungstemperatur

4. Ziffer: Bindemittelgehalt

1.1.4 und 2.1.4. entspricht 1.1.2 bzw. 2.1.2; 1.7.4/2.7.4/3.7.4 entspricht annähernd 1.7.3/2.7.3/3.7.3; 1.8/1.4<sub>15</sub> bzw. 1.8/2.4<sub>30</sub> entfallen

Die 2. Ziffer steht für die Bindemittelsorte bzw. -art, wobei 8 bzw. 7 Bindemittel (vgl. Tab. 1) zum Einsatz kommen.

Die 3. Ziffer bezieht sich auf die o.a. maximal 4 angewandten Verdichtungstemperaturen.

Die 4. Ziffer bezieht sich auf die drei für die Erstellung von Eignungsprüfungen mischgut-spezifischen ansteigenden Bindemittelgehalte.

Die Bezeichnung 1.1.1.1 bedeutet in diesem Fall, daß die Mischgutart 1 (1. Ziffer) kombiniert worden ist mit dem Bindemittel Nummer 1 (2. Ziffer), mit der Temperatur 1 (3. Ziffer) und dem Bindemittelgehalt 1 (4. Ziffer), konkret also Asphalttragschicht 0/22 B mit B 80 bei einer Verdichtungstemperatur von 100°C mit dem niedrigsten Bindemittelgehalt (3,9 M.-%).

Wie aus der Tabelle weiter hervorgeht, wurden nicht alle Kombinationen bearbeitet. So wurde der Splittmastixasphalt nicht mit B 80 hergestellt. Ferner wurden für das Tragschichtmischgut nur ein polymermodifiziertes Bitumen verwendet.

Drittens wurde die Verwendung von Asphaltgranulat nur für die Tragschicht vorgesehen. Letzteres hängt damit zusammen, daß in Sachsen eine solche Festlegung besteht, die die Zugabe von Asphaltgranulat nicht bekannter Herkunft nur für Tragschichten gestattet.

### 3.1.1 Asphalttragschicht

Für die Asphalttragschicht 0/22 wurde die Mischgutart B (vgl. Abb. 1) gewählt.

Damit liegt eine relativ leicht verdichtbares Mischgut vor, das einen Kiesgehalt von 52 M.-%, einen Sandgehalt von 39,6 M.-% und einen Füllergehalt von 8,4 M.-% aufweist.

Die als Vorzugsvariante vorgeschlagene Mischgutvariante 2 enthält bei dieser Zusammensetzung der Mineralstoffe 4,4 M.-% B 80 bezogen auf das Gesamtgemisch.

Für dieses Tragschichtmischgut wurde auch die Zugabe von Asphaltgranulat vorgesehen. Dazu wurde einmal eine Menge von 15 M.-% und zum anderen eine Menge von 30 M.-% gewählt. Die zugehörigen Eignungsprüfungen sind in den Anlagen 9.1, 9.2 unter den Nummern 1.8/1.2 bzw. 1.8/2.2 ersichtlich.

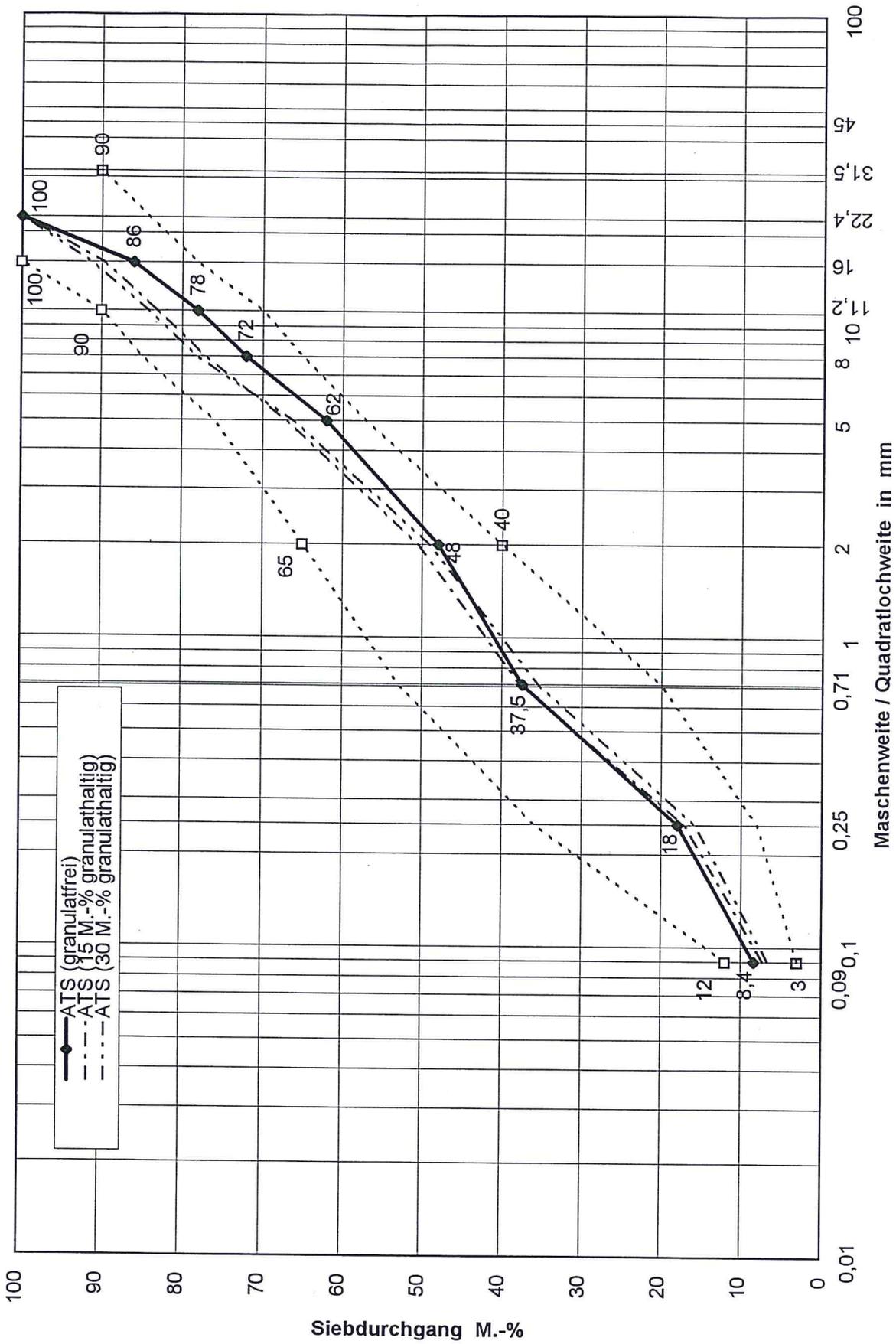


Abb. 1: Kornzusammensetzung der Asphalttragschicht 0/22 B (granulafrei und granulatartig)

Tab 6: Kennwerte der Vorzugsvarianten von granulatfreier und granulathaltiger Asphalttragschicht 0/22 B

Nr.	Eigenschaft	Einheit	granulatfrei	granulathaltig	
				15 M.-%	30 M.-%
1	Bindemittelgehalt B 80	M.-%	4,4	-	-
	Gesamtbindemittelgehalt	M.-%	-	4,4	4,4
2	Füllergehalt	M.-%	8,4	7,3	6,7
3	Sandgehalt	M.-%	39,6	43,2	42,4
4	Kiesgehalt	M.-%	52,0	49,5	50,9
5	Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,299	2,290	2,248
6	Mischgutrohdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,500	2,511	2,520
7	Hohlräume errechnet	Vol.-%	8,0	8,8	10,8
8	Bindemittelvolumen	Vol.-%	9,9	9,9	9,8
9	Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	17,9	18,7	20,6
10	Hohlraumfüllungsgrad	%	55,3	53,0	47,4
11	Marshall-Stabilität	kN	5,6	6,4	6,8
12	Marshall-Fließwert	mm	1,5	1,6	1,7
13	Dichte des Bindemittels	g/cm <sup>3</sup>	1,017	-	-

### 3.1.2 Asphaltbinder

Hier wurde ein relativ schwer verdichtbarer Asphaltbinder 0/16 S gewählt, der den Forderungen der ZTV Asphalt-StB 94, Fassung 1998 (vgl. Abb. 2) entspricht. Die mineralischen Anteile bestehen aus Grauwacke Großkoschen. Als Füller wurde Kalkstein aus Caaschwitz gewählt. Auch hier liegt die Sieblinie relativ stetig innerhalb der sehr engen Grenzsieblinien. Folgende Tabelle zeigt die Kennwerte der Auswahlvariante, in diesem Falle eine Interpolationsvariante zwischen mittlerem und höchstem Bindemittelgehalt des Asphaltbinders. Er beträgt 5,3 M.-% B 65.

Tab. 7: Kennwerte des Asphaltbinders 0/16 S:

Nr.	Eigenschaft	Einheit	
1	Bindemittelgehalt B 65	M.-%	5,3
2	Füllergehalt	M.-%	7,0
3	Sandgehalt	M.-%	20,0
4	Splittgehalt	M.-%	73,0
5	Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,346
6	Mischgutrohdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,516
7	Hohlräume errechnet	Vol.-%	6,8
8	Bindemittelvolumen	Vol.-%	12,1
9	Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	18,9
10	Hohlraumfüllungsgrad	%	64,2
11	Dichte des Bindemittels	g/cm <sup>3</sup>	1,025

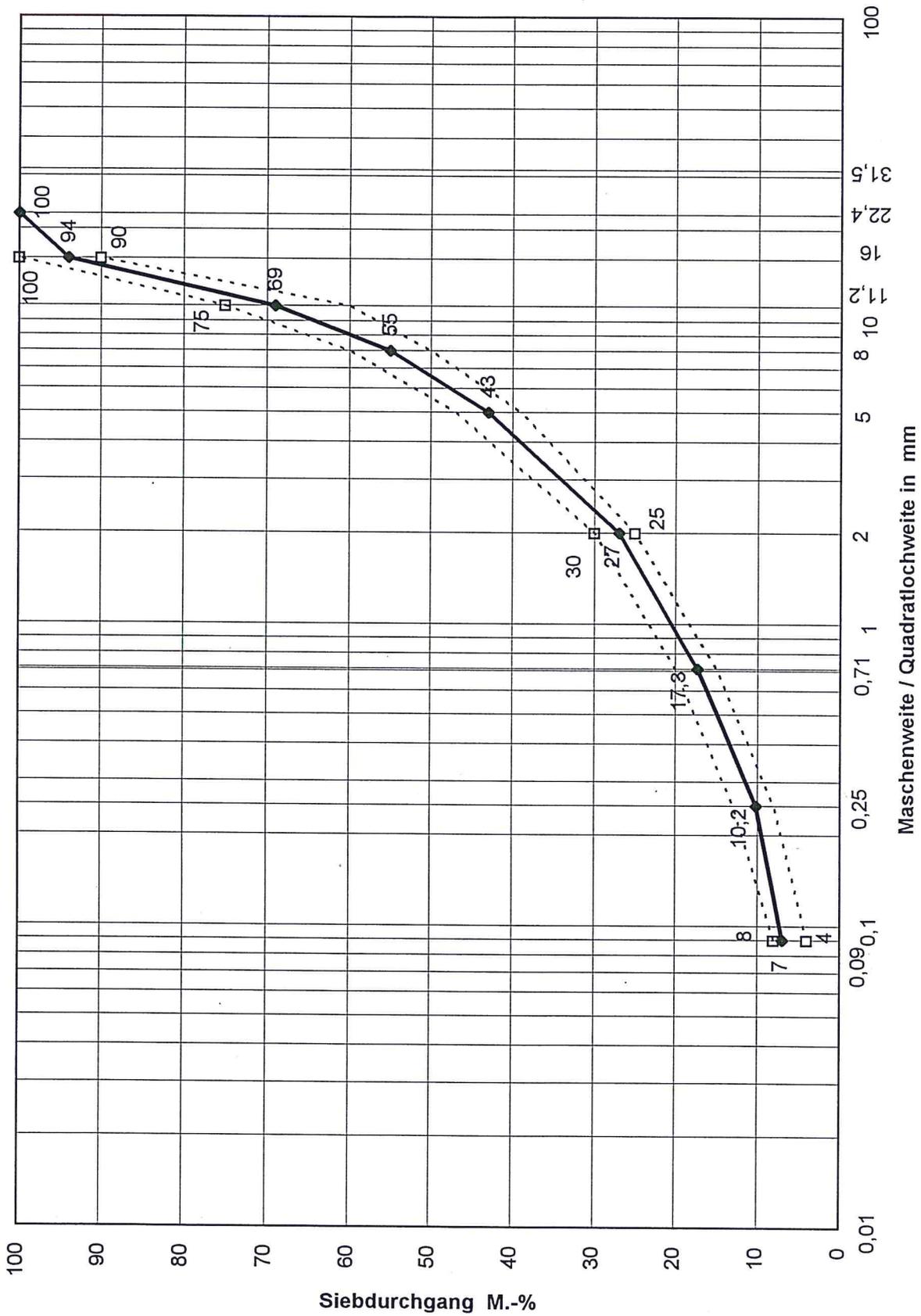


Abb. 2 : Kornzusammensetzung des Asphaltbinders 0/16 S

### 3.1.3 Splittmastixasphalt

Gewählt wurde ein Splittmastixasphalt 0/11 S gemäß ZTV Asphalt-StB 94, Fassung 98 (vgl. Abb. 3). Der Splittmastixasphalt besteht zu ca. 90 % aus Grauwacke Großkoschen, wobei 4 Edelsplitt und ein Edelbrechsand verwendet worden sind, aus einem Kalksteinfüller des Werkes Caaschwitz und dem Zusatzstoff Technocel 1004 in einer Menge von 0,3 M.-%. Die Sieblinie liegt innerhalb der Grenzsieblinien der ZTV Asphalt-StB 94, Fassung 1998. Außer beim Füller, der 4,4 M.-% Überkorn enthielt, d.h. 95,6 M.-% Anteil < 0,09 mm, wurden die Über- und Unterkornanteile der Edelsplitt abgeseibt um eine reproduzierbare Zusammensetzung zu gewährleisten. Der Splittanteil liegt bei 76,6 M.-%, der Sandanteil bei 12,7 M.-% und der Fülleranteil bei 10,7 M.-%. Damit handelt es sich um ein relativ schwer verdichtbares Mischgut, dessen Hohlraumfüllungsgrad mit 82,3 % errechnet wurde. Die folgende Tabelle zeigt die Kennwerte der Vorzugsvariante des Splittmastixasphaltes 0/11 S, welche wiederum eine Interpolationsvariante zwischen dem gewählten mittleren und höchsten Bindemittelgehalt darstellt. Er beträgt 7,5 M.-% B 65.

Tab. 8: Kennwerte des Splittmastixasphaltes 0/11 S

Nr.	Eigenschaft	Einheit	
1	Bindemittelgehalt B 65	M.-%	7,5
2	Füllergehalt	M.-%	10,7
3	Sandgehalt	M.-%	12,7
4	Splittgehalt	M.-%	76,6
5	Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,347
6	Mischgutrohndichte	g/cm <sup>3</sup>	2,434
7	Hohlräume errechnet	Vol.-%	3,5
8	Bindemittelvolumen	Vol.-%	17,2
9	Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	20,7
10	Hohlraumfüllungsgrad	%	82,9
11	Dichte des Bindemittels	g/cm <sup>3</sup>	1,025

### 3.2 Probekörperherstellung

Die Probekörper wurden aus im Labor gewonnenen Mischgut hergestellt, wobei die DIN 1996 T. 20 und T. 4 im Sinne der Forschungsaufgabe modifiziert wurden.

Die Mineralstoffe wurden, getrennt nach Splitten, Sanden und Füllstoff, auf eine Temperatur 40 K oberhalb der geplanten Verdichtungstemperatur mindestens 5 h temperiert. Das bedeutet für die ausgewählten Verdichtungstemperaturen von 100°C (1), 135°C (2) und 170°C (3) Mineralstofftemperaturen von 140°C, 175°C bzw. 210°C, wie das auch in Abb. 4 dargestellt ist.

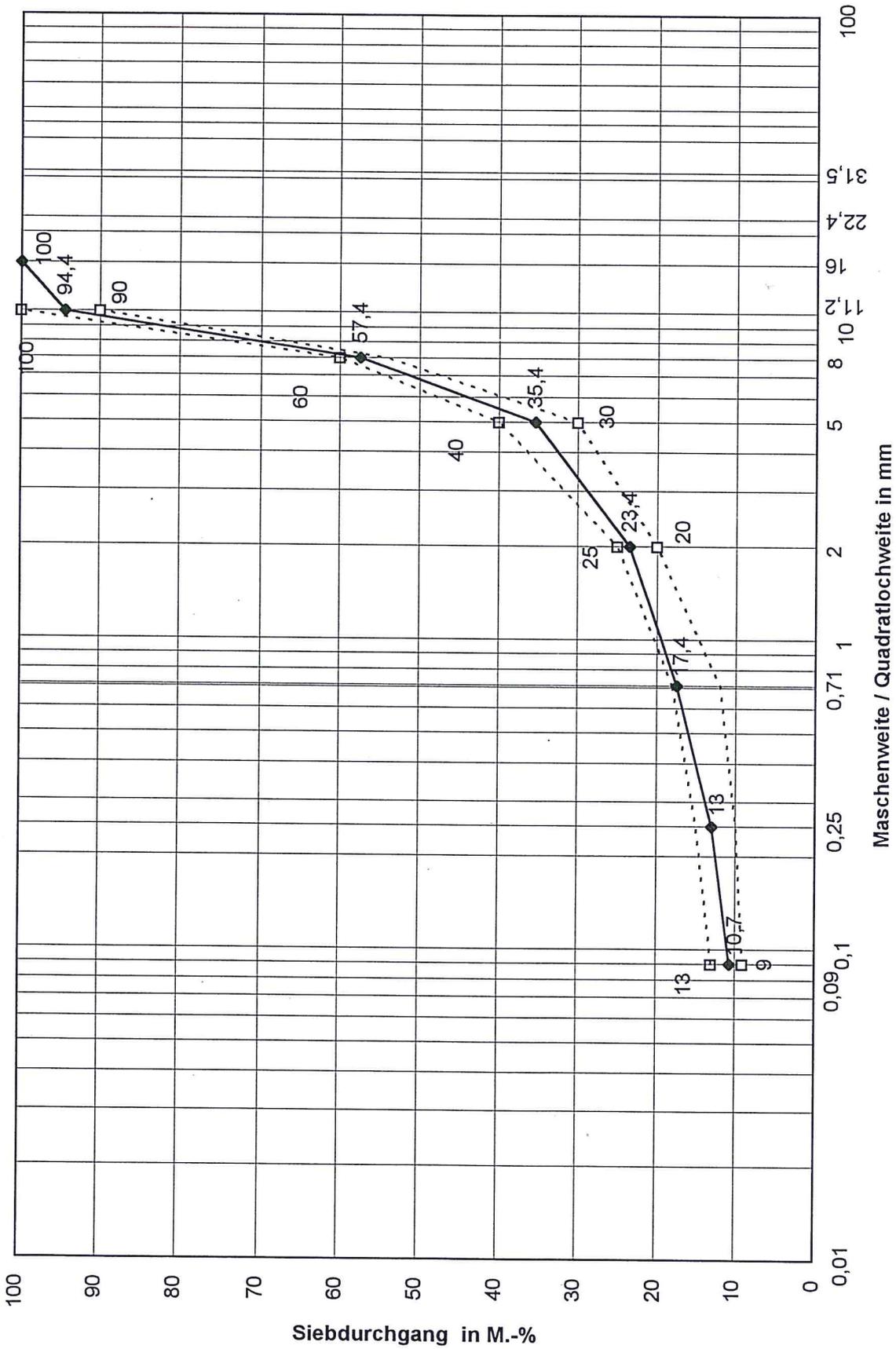


Abb. 3: Kornzusammensetzung des Splittmastixasphaltes 0/11 S

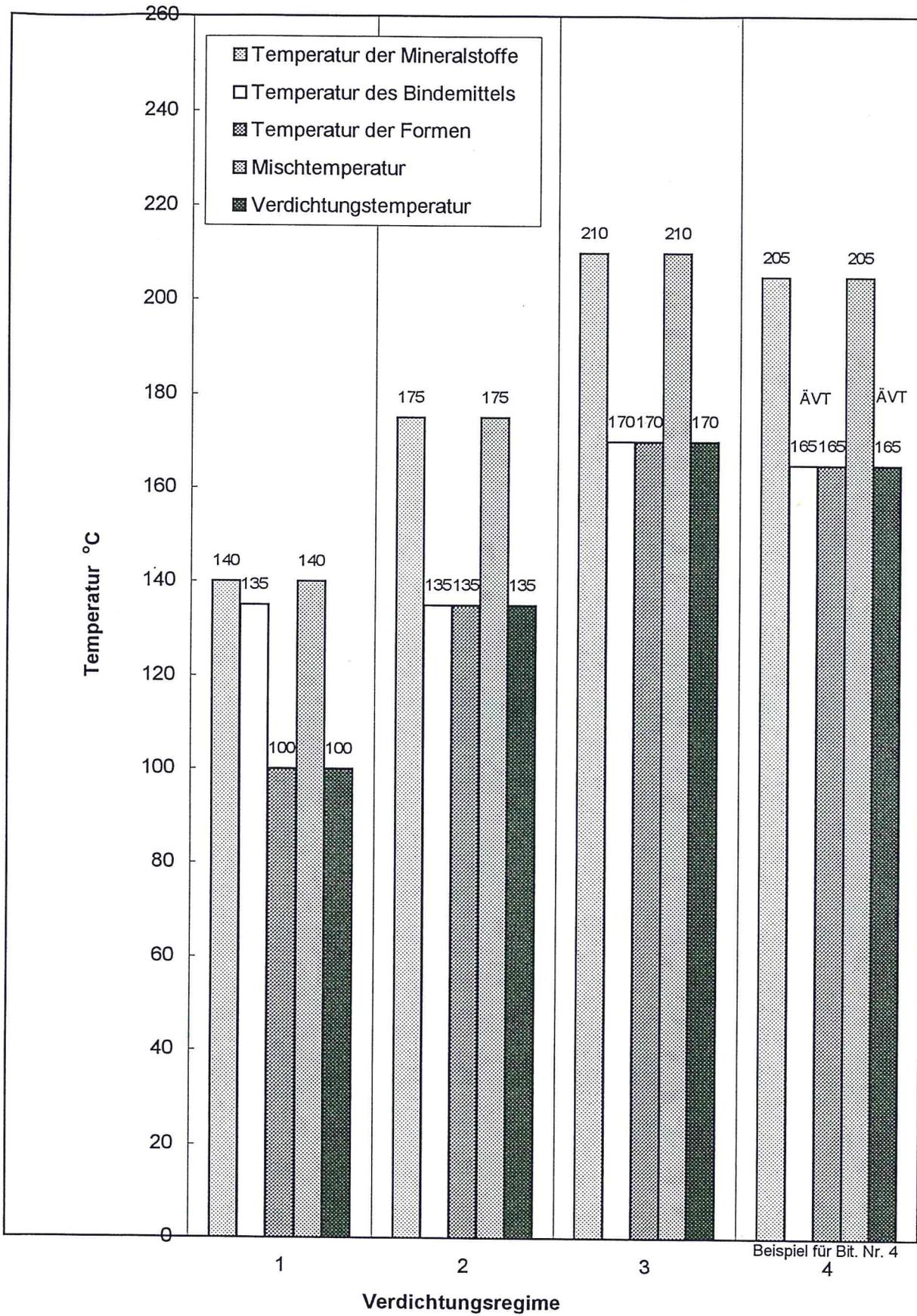


Abb. 4: Temperaturmodus bei der Probekörperherstellung - Verdichtungstemperatur

Ein Beispiel zeigt das Regime auch für eine Äquiviskositätstemperatur (kinematisch) eines Bindemittels (Nr. 4).

Der für Splittmastixasphalt verwendete stabilisierende bindemittelfreie Zusatz wurde mit dem Brechsand vermischt.

Die Verdichtungsformen wurden abweichend von DIN 1996 T. 4 auf Verdichtungstemperatur vorgewärmt.

Mit Ausnahme der Verdichtungstemperatur 1, bei welcher das jeweilige verwendete Bindemittel 15 min bei 135°C erwärmt wurde, lagerte das Bindemittel mit genannter zeitlicher Begrenzung bei Verdichtungstemperatur.

Gleichartig wurde mit dem für die Tragschicht eingesetzten Granulat verfahren.

Die fünf Probekörper jeder Serie wurden einzeln aus den entsprechenden Mineralstoff- und Bindemittelmengen auf einem heißen Sandbad gemischt. Die zulässige Toleranz der Probekörperhöhe von 61,0 mm bis 66,0 mm eingehalten.

In Abweichung zur DIN 1996 T. 4 wurde stets das bei oben genannten Bedingungen verflüssigte Bindemittel vorgelegt und die Mineralstoffe von grob nach fein zugegeben. Die Granulatzugabe erfolgte nach dem Einbringen des Splittes und vor dem des Sandes. Die vorgeschriebene begrenzte Mischdauer von 5 Minuten gemäß DIN 1995 T.20 wurde eingehalten, variierte aber leicht in Abhängigkeit von Mischgutart, Verdichtungstemperatur und eingesetztem Bindemittel.

Nach dem Mischen wurde das Mischgut in 3 Lagen unter Stochern, besonders an der Peripherie des Zylinders, in die Form eingebracht. Die Temperatur wurde mit einem Digitalthermometer durch Einstecken in die Oberfläche des eingebrachten Asphaltes, mittig in ca. 3 cm Tiefe, gemessen und bis zum Erreichen der geplanten Verdichtungstemperatur gewartet. Die Wartedauer lag im Bereich von 4 bis 10 Minuten. Anschließend erfolgte die übliche Marshallverdichtung mit 2 mal 50 Schlägen.

Nach Entfernen der Filter erfolgte die Bezeichnung der Marshall-Probekörper nach vorgegebenem Schlüssel (vgl. Tab. 5).

Die Entschalung erfolgte nach Abkühlen auf ca. 40°C.

Am folgenden Tage, d.h. im Zeitraum nach 8 bis 24 Stunden wurde die Raumdichte nach DIN 1996 T. 7 bestimmt und für die Asphalttragschichtvarianten die Marshall-Stabilität und der Marshall-Fließwert nach DIN 1996 T. 14 vgl. Punkt 5.5.

#### 4. Untersuchungsergebnisse zu den Ausgangsstoffen

##### 4.1 Bitumen

##### 4.1.1 Standardspezifische Kennwerte

Die Zusammenstellung der für die acht Bitumen ermittelten Kennwerte nach DIN 1995 T.1 und TL PmB T. 1 sowie bereits genannte zusätzliche Kennwerte zeigt Tabelle 2.

Anlagen 1 - 8 zeigen die Einzelwerte der Untersuchungen. In Abb. 5 sind die Erweichungspunkte Ring und Kugel, mit Hand und Automat bestimmt, und die Brechpunkte nach Fraaß dargestellt. Die Plastizitätsspannen der 8 Bindemittel lassen sich aus den Kennwerten der Abb. 5 berechnen und sind in Tab. 9 angeführt.

Tab. 9: Plastizitätsspanne und Nadelpenetration der untersuchten Bindemittel

Bindemittel-Nr.	Bindemittelart und -sorte	Plastizitätsspanne K		Nadelpenetration 0,1 mm	
		Hand (H)	Automat (A)	25 °C	40 °C
1	B 80	61,0	59,0	93	394
2	B 65	62,0	60,0	53	231
3	B 45	65,0	63,0	43	172
4	PmB 45A	90,0	88,0	51	169
5	PmB 45A	75,0	73,5	43	185
6	PmB 45A	70,5	69,0	34	130
7	PmB 25	75,5	74,0	37	100
8	RC-Bitumen	69,0	66,5	25	100

Aus den sowohl mit Hand und mit Automat ermittelten Erweichungspunkten RuK nach DIN 52 011 (Abb. 5) und den Nadelpenetrationen bei 25°C sowie einer weiteren Prüftemperatur von 40°C (Tab. 9) werden die 3 Varianten von Penetrationsindizes, welche sich teils signifikant unterscheiden, ermittelt.

Der bisher übliche und in der Europäischen Normung vorgesehene Penetrationsindex, der sich aus der Nadelpenetration bei 25°C und dem Erweichungspunkt RuK, d.h. der auf Grund einer Näherung angenommenen Nadelpenetration am EP RuK von 800 1/10 mm, berechnet, wird im Rahmen des Berichtes mit  $PI_{EP}$  bezeichnet. Es wird noch unterschieden, ob der Erweichungspunkt mit dem Handgerät  $PI_{EPH}$  oder dem Automaten  $PI_{EPA}$  bestimmt wurde.

Des weiteren wurde der Penetrationsindex, basierend auf zwei Nadelpenetrationen bei unterschiedlichen Temperaturen, als  $PI_{Pen}$  bezeichnet, bestimmt.

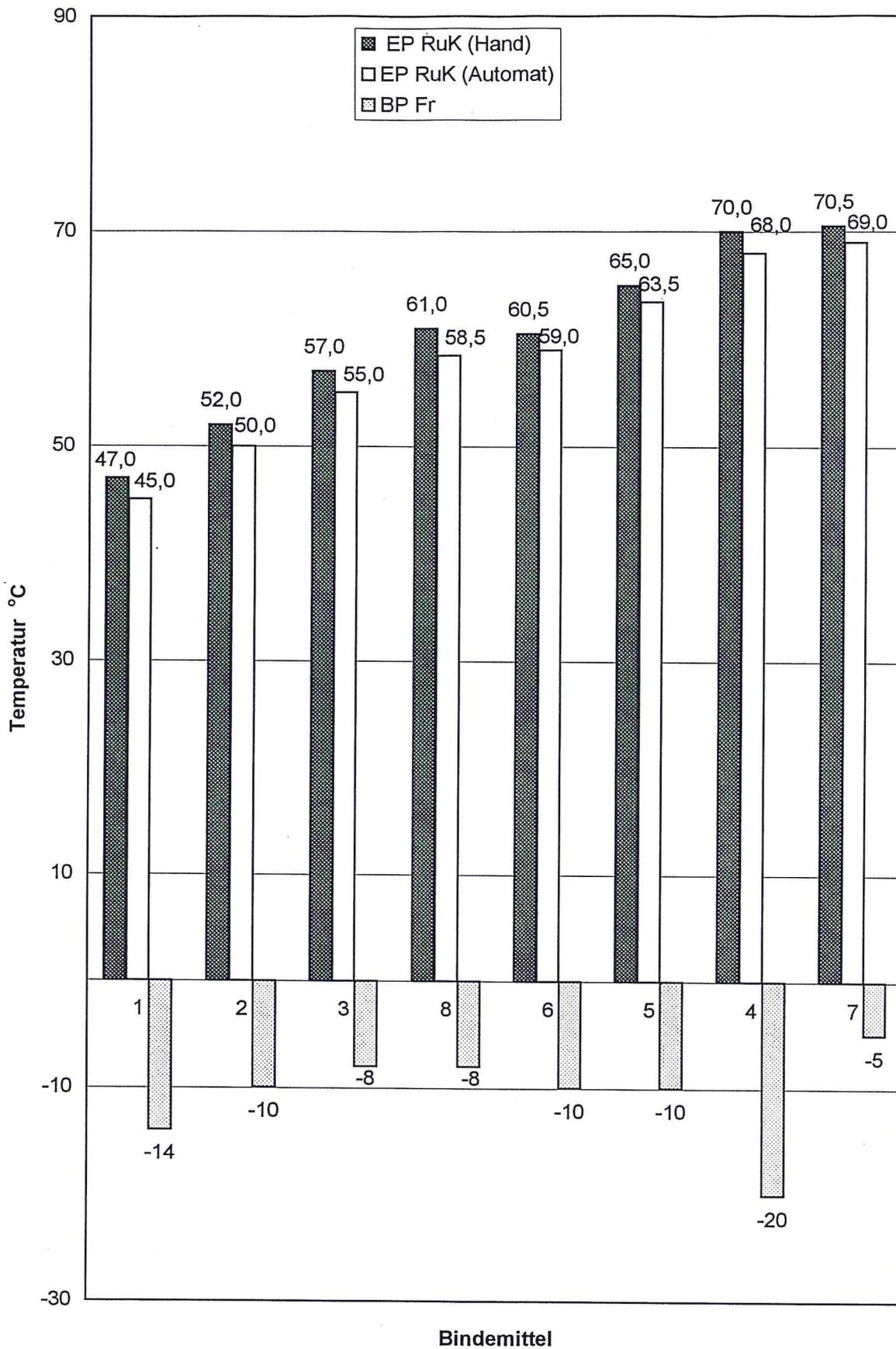


Abb. 5: Erweichungspunkt Ring und Kugel (Hand, Automat) und Brechpunkt nach Fraaß von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)

Die Berechnung erfolgt nach den bekannten Gleichungen

$$\frac{\lg 800 - \lg \text{Pen}_{25}}{\text{EPRuK} - 25} = \frac{20 - \text{PI}_{\text{EP}}}{10 + \text{PI}_{\text{EP}}} \cdot \frac{1}{50} \quad \text{bzw.} \quad (1)$$

$$\frac{\lg \text{Pen}_{40} - \lg \text{Pen}_{25}}{40 - 25} = \frac{20 - \text{PI}_{\text{Pen}}}{10 + \text{PI}_{\text{Pen}}} \cdot \frac{1}{50} \quad (2)$$

wobei als zweite Prüftemperatur 40°C angenommen und auch praktisch gewählt wurde.

Die Ergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt.

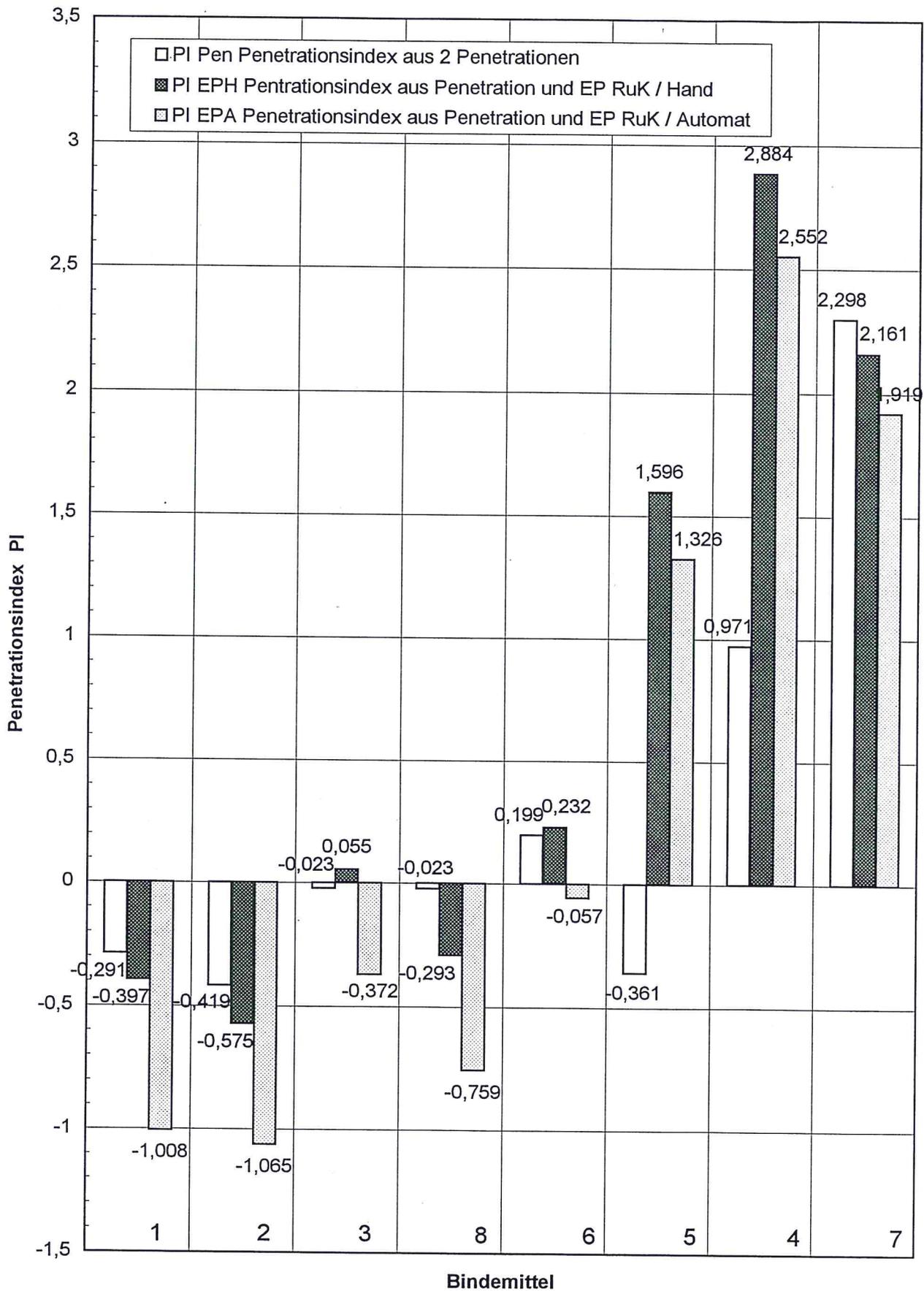


Abb. 6: Penetrationsindizes von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)

#### 4.1.2 Absolute Viskosität

##### 4.1.2.1 Meßgerät und Meßmethodik

Rheometer: Rotationsrheometer MC1 und RC20 (letzteres für B 80 -1- und 65 -2 -)  
Firma Paar-Physica Meßtechnik GmbH/ RheoTecMeßtechnik GmbH

Meßsystem: Zylindermeßsystem (Z3 nach DIN 53019) als Einwegmeßsystem  
Meßspalt 1,06 mm  
Schubspannungsbereich 0...1141 Pa  
Schergeschwindigkeitsbereich 0...1032 s<sup>-1</sup>

Temperierung: Flüssigkeitsthermostat mit digitaler Sollwertvorgabe

##### 4.1.2.2 Proben und Versuchsvorbereitung

Acht unterschiedliche Bitumenproben zu je 50 g portioniert standen für die Viskositätsuntersuchung zur Verfügung. Die 50-g-Proben wurden jeweils in handwarmem Wasser von der Schutzverpackung (beschichtetes Papier, welches sich als Formtrennmittel eignet) abgelöst und in ein Becherglas überführt.

Das Becherglas mit Bitumenprobe wurde 60 min lang im Wärmeschrank bei 160°C temperiert. Gleichzeitig mit der Probetemperierung erfolgte die Erwärmung des Zylindermeßsystems (Innen- und Außenzyylinder) auf 160°C. Nach Ablauf der Temperierzeit wurde die Temperatur der verflüssigten Probe gemessen. Sie lag im Bereich 150 bis 160 °C.

13 g der verflüssigten Bitumenprobe wurden in das Meßsystem des Rheometers eingewogen, welches anschließend sofort im Rheometer installiert wurde. Eine darauffolgende 45minütige Ruhephase diente der Probenerholung sowie der Abkühlung und weitere 45 Minuten der Temperierung der Probe auf 60°C (1. Solltemperatur).

Die Festlegung zum Prüfmodus schloß sechs Meßpunkte für den Solltemperaturbereich 60...160°C ein, so daß mit 60°C beginnend, in 20-K-Abständen der Zyklus durchfahren wurde. Nach Erreichen der jeweiligen Solltemperatur am Thermostaten ist eine Temperierung von 45 Minuten Dauer vorgenommen worden. Die Temperaturmessung am Rheometer ergab nach dieser Wartezeit keine Veränderung mehr. Für die Meßwerte ist die am Meßgerät registrierte

Temperatur maßgebend. Auf Sollwertsteuerung bezüglich der Proben­temperatur wurde in Anbetracht der Aufgabenstellung (Temperaturfunktion  $\eta = f(\vartheta)$ ) verzichtet.

Es wurde festgelegt, anstatt einer Einpunktmessung (konst. Schubspannung) die Fließkurve, bestehend aus Hin- und Rückkurve (steigende/fallende Schubspannung), im Arbeitsbereich des Meßsystems bei jeder Temperatur aufzunehmen.

#### 4.1.2.3 Ergebnisse

- Fließkurven

Auf die Darstellung der Meßergebnisse für die 8 Bitumenproben und je sechs Prüf­temperaturen in Form von Fließkurven wurde im Rahmen des Berichtes verzichtet.

Bei 60°C befanden sich die Meßpunkte generell im Bereich der Arbeitsgrenzen des Rheometers. Sie unterliegen daher größeren Schwankungen. Bei den Proben Nr. 1, B 80 und Nr. 2, B 65 wurden bei den niedrigen Temperaturen anfangs Unregelmäßigkeiten bei der Messung der Viskositäten festgestellt. Die Kurvenverläufe lassen Inhomogenitäten in den Proben vermuten.

Die Versuche zur Solltemperatur 160°C mußten vor Erreichen der programmierten maximalen Schubspannung nach Erreichen der maximalen Motordrehzahl beendet werden. Eine Rückkurve war in diesen Fällen nicht realisierbar.

Die gemessenen Fließkurven  $\tau = f(\dot{\gamma})$  bzw.  $\eta = f(\dot{\gamma})$  zeigen geringfügige Abweichungen vom linearen Viskositätsverhalten. Die Ursachen sind mit Hilfe der vorhandenen Meß­ergebnisse nicht exakt zuzuordnen. Am wahrscheinlichsten ist Erwärmung der Probe im Scherspalt durch Schererwärmung, wie durch Modellabschätzungen plausibel gemacht werden kann. Ein Viskositätsabbau in Abhängigkeit von Schergefälle und Scherdauer erwies sich als gering. Auf Grund der Verfahrensweise, d.h. Einbau der Probe und abgesehen von Temperierzeiten sofortiger Viskositätsmessung (ohne Abkühlung auf zumindest Raumtemperatur und anschließende Ruhephase und der daraus resultierenden Möglichkeit einer Strukturausbildung) war das auch nicht zu erwarten.

Das Viskositätsniveau der verschiedenen Bitumenproben korreliert grob mit deren Nadelpenetration bei 25 °C. Für Bitumen Nr. 7 (PmB 25) liegt es bei vergleichbarer Temperatur sichtbar über dem der anderen Bitumenproben und das der Bindemittel Nr. 2 (B 65) und Bindemittel Nr. 1 (B 80) deutlich unter dem der übrigen.

• Viskositäts-Temperatur-Daten

Die am Rheometer gemessenen Temperaturen wurden jeweils auf eine Kommastelle gerundet. Als Bezugswert für die Temperaturabhängigkeit wurde der Viskositätswert bei einer Schubspannung  $\tau=500$  Pa gewählt. Bei dieser Schubspannung wird am Rheometer ein mittleres Drehmoment (bezogen auf den Arbeitsbereich) erzeugt, so daß Sollwertregelprobleme auszuschließen sind. Weiterhin waren bei allen Versuchen die entsprechenden Viskositätsmeßwerte verfügbar. In den Tabellen 10-17 sind diese schubspannungsbereinigten Meßwerte aufgelistet.

Tab. 10: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 1 (B 80)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,5	331,7	3,015e-03	383,9	-
58,5	331,7	3,015e-03	-	383,9
77,9	351,1	2,848e-03	36,1	-
77,9	351,1	2,848e-03	-	35,8
97,3	370,5	2,699e-03	5,90	-
97,3	370,5	2,699e-03	-	5,80
117	390,2	2,563e-03	1,45	-
117	390,2	2,563e-03	-	1,12
136,7	409,9	2,440e-03	0,46	-
136,7	409,9	2,440e-03	-	0,46
156,5	429,7	2,327e-03	0,22	-

Tab. 11: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 2 (B 65)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,4	331,6	3,015e-03	811	-
58,5	331,7	3,015e-03	-	811
78,1	351,3	2,847e-03	64,2	-
78,1	351,3	2,847e-03	-	64,0
97,3	370,5	2,699e-03	9,36	-
97,3	370,5	2,699e-03	-	9,24
117	390,2	2,563e-03	2,13	-
117	390,2	2,563e-03	-	2,05
136,7	409,9	2,440e-03	0,63	-
136,7	409,9	2,440e-03	-	0,66
156,5	429,7	2,327e-03	0,28	-

Tab. 12: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 3 (B 45)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,2	331,4	3,017e-03	1511,8	-
58,3	331,5	3,017e-03	-	1499,4
77,8	351,0	2,849e-03	112,93	-
77,8	351,0	2,849e-03	-	111,96
97,2	370,4	2,700e-03	15,17	-
97,3	370,4	2,700e-03	-	15,18
116,9	390,1	2,564e-03	3,30	-
117,0	390,2	2,563e-03	-	3,22
136,7	409,8	2,440e-03	0,95	-
136,7	409,9	2,440e-03	-	0,89
156,6	429,7	2,327e-03	0,36	-

Tab. 13: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 4 (PmB 45 A)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,4	331,6	3,016e-03	1822,2	-
58,5	331,7	3,015e-03	-	2359,1
77,7	350,8	2,850e-03	227,02	-
77,7	350,8	2,850e-03	-	212,37
97,2	370,4	2,700e-03	21,96	-
97,2	370,4	2,700e-03	-	22,14
117,0	390,1	2,563e-03	5,37	-
117,0	390,1	2,563e-03	-	5,18
136,7	409,9	2,440e-03	1,72	-
136,8	409,9	2,440e-03	-	1,61
156,6	429,7	2,327e-03	0,69	-

Tab. 14: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 5 (PmB 45A)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,5	331,7	3,015e-03	1347,2	-
58,5	331,7	3,015e-03	-	1361
78,1	351,3	2,847e-03	109,47	-
78,1	351,3	2,847e-03	-	105,22
97,4	370,6	2,699e-03	17,11	-
97,4	370,6	2,699e-03	-	16,73
117,1	390,2	2,563e-03	4,30	-
117,1	390,3	2,562e-03	-	4,23
136,8	410,0	2,439e-03	1,45	-
136,8	410,0	2,439e-03	-	1,38
156,7	429,9	2,326e-03	0,55	-

Tab. 15: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 6 (PmB 45A)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,4	331,6	3,016e-03	3147,6	-
58,5	331,7	3,015e-03	-	3131,6
78,0	351,2	2,848e-03	194,57	-
78,0	351,2	2,848e-03	-	191,68
97,4	370,6	2,699e-03	24,36	-
97,5	370,6	2,698e-03	-	23,86
117,1	390,3	2,562e-03	4,94	-
117,2	390,3	2,562e-03	-	4,68
136,9	410,0	2,439e-03	1,47	-
136,8	410,0	2,439e-03	-	1,32
156,7	429,8	2,327e-03	0,53	-

Tab. 16: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 7 (PmB 25)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,3	331,5	3,017e-03	11541	-
58,3	331,5	3,017e-03	-	12638
77,6	350,7	2,851e-03	639,97	-
77,4	350,6	2,853e-03	-	568,91
97,2	370,4	2,700e-03	64,88	-
97,3	370,4	2,700e-03	-	64,16
116,9	390,0	23	11,47	-
117,0	390,1	2,563e-03	-	11,47
136,7	409,9	2,440e-03	3,13	-
136,4	409,6	2,442e-03	-	3,08
156,6	429,8	2,327e-03	1,16	-

Tab. 17: Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 8 (aus Granulat zurückgewonnenes Bindemittel)

gemessene Temperatur in °C	gemessene Temperatur in K	reziproke Temperatur in K <sup>-1</sup>	dynamische Viskosität (500 Pa, Hinkurve) in Pas	dynamische Viskosität (500 Pa, Rückkurve) in Pas
58,9	332,1	3,012e-03	2520,0	-
59,0	332,2	3,011e-03	-	2460,0
78,7	351,9	2,842e-03	158,0	-
78,7	351,9	2,842e-03	-	157,0
98,0	371,2	2,694e-03	19,4	-
98,0	371,2	2,694e-03	-	19,4
117,9	391,0	2,557e-03	3,87	-
117,9	391,0	2,557e-03	-	3,77
137,8	411,0	2,433e-03	1,07	-
137,9	411,1	2,433e-03	-	1,01
157,5	430,7	2,322e-03	0,377	-
157,5	430,7	2,322e-03	-	0,359

• Regression

Viskositäts-Temperatur-Funktionen wurden anhand der Daten der Hinkurven-Werte (aufsteigende Schubspannung) ermittelt. Mögliche schergeschwindigkeitsabhängige Zustände der kolloidalen Struktur werden hierbei nicht von der Deformationsgeschichte (zu kurze Erholungszeiten) beeinflusst. Des weiteren stand bei der höchsten Solltemperatur meist nur der Hinkurven-Wert zur Verfügung.

Die auf der ARRHENIUS-Beziehung basierende Darstellung  $\log \eta = f(1/T)$  ergibt in keinem Fall eine Regressionsgerade, so daß auf deren Darstellung verzichtet wird.

In der Ingenieurtechnik wird häufig die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität in Gestalt der Gleichung nach VOGEL benutzt (Gl. 3). Drei stoffspezifische Parameter beschreiben den exponentiellen Abfall der Viskosität ( $\eta$  in Pas) mit steigender Temperatur ( $\vartheta$  in °C).

$$\eta = A \cdot e^{\frac{B}{\vartheta+C}} \quad (3)$$

In der Tab. 18 sind die Regressionsparameter für alle 8 Bitumensorten zusammengestellt.

Tab. 18: Konstanten der VOGEL-Gleichung (Bindemittel-Nr. 4 ein Meßpunkt eliminiert)

Nr.	Bitumenprobe	A * 10 <sup>6</sup> Pas	B °C	C °C
1	B 80	55,482	1683,6	48,268
2	B 65	36,786	1831,1	49,763
3	B 45	19,084	2101,4	57,262
4	PmB 45 A	150,11	1717,3	46,883
5	PmB 45 A	120,21	1731,9	48,201
6	PmB 45 A	42,975	1927,8	48,002
7	PmB 25	60,754	1983,0	45,581
8	RC-Bitumen	13,250	2185,0	55,660

Abb. 7 stellt die Meßpunkte und die Ausgleichskurven nach VOGEL für die untersuchten Bitumenproben dar. Die dynamischen Viskositäten bei 180 °C sind keine Meßpunkte sondern wurden mittels der Vogelschen Gleichung (Regression) berechnet. Basierend auf den Faktoren der ausgeglichenen Temperaturabhängigkeiten sind die berechneten Viskositätswerte bei der Standardtemperatur von  $\vartheta = 135^\circ\text{C}$  sowie die Referenztemperaturen bzw. Äquiviskositäts-

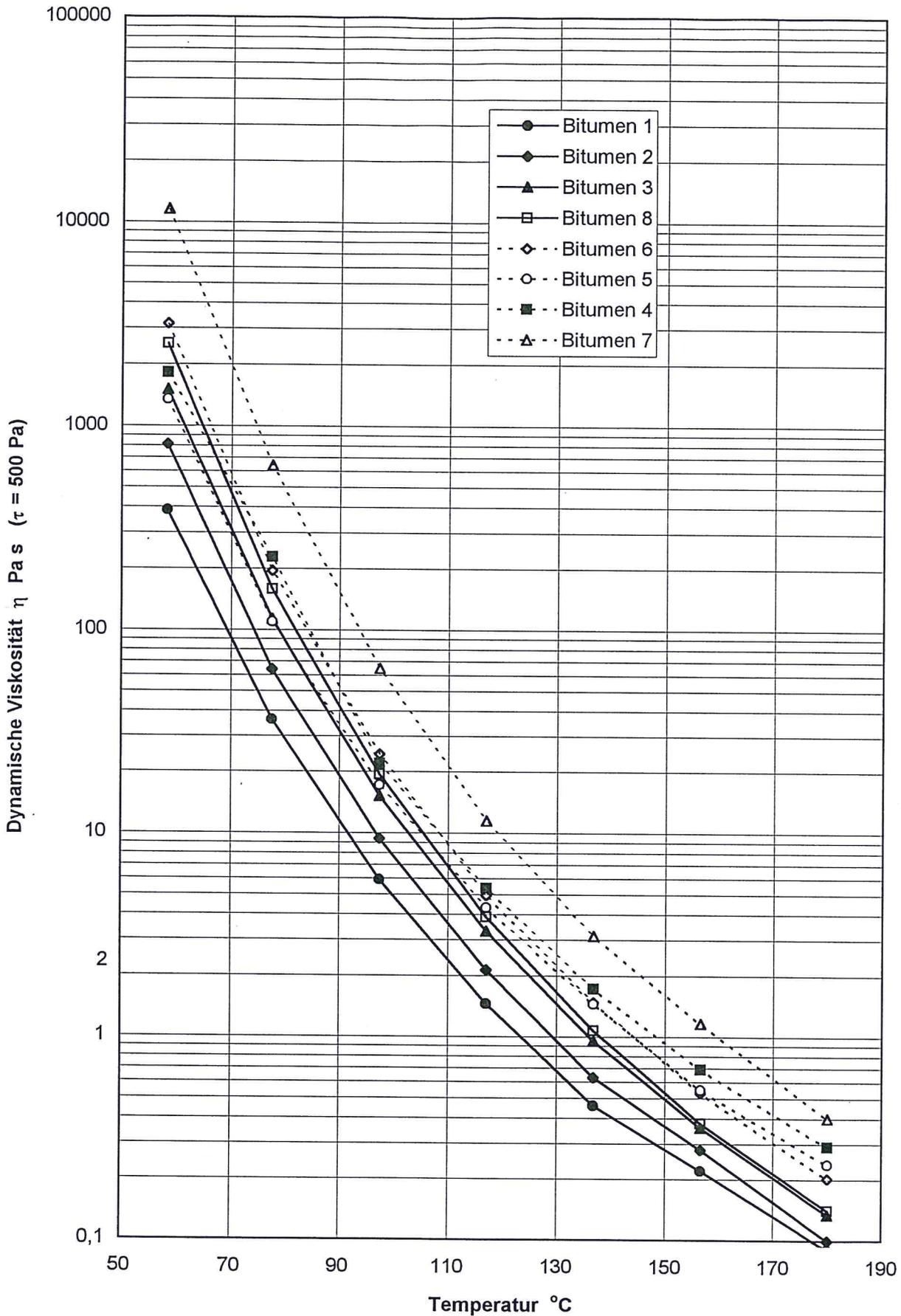


Abb. 7: Dynamische Viskosität  $\eta$  von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 -7) in Abhängigkeit von der Temperatur

temperaturen (dynamische Viskosität) für eine ausgewählte Bitumenviskosität von  $\eta = 2$  Pas in der Tab. 19 zusammengestellt.

Tab. 19: Dynamische Viskositäten bei 135°C und Äquiviskositätstemperatur (dynamisch) für Bitumenviskosität  $\eta$  von 2 Pas (Regression nach VOGEL)

Nr.	Bitumenprobe	$\eta_{135^\circ\text{C}}$ [Pas]	$\vartheta$ [°C] bei $\eta=2$ Pas	Temperaturmodul von $\eta$ bei 135 °C
1	B 80	0,54	112,2	- 0,05013
2	B 65	0,74	118,2	- 0,05364
3	B 45	1,07	124,5	- 0,05685
4	PmB 45 A	1,89	133,9	- 0,05191
5	PmB 45 A	1,53	130,0	- 0,05160
6	PmB 45 A	1,62	131,4	- 0,05756
7	PmB 25	3,57	145,1	- 0,06081
8	RC-Bitumen	1,26	127,6	- 0,06011

Eine vergleichende Betrachtung der Regressionskurven (Abb. 7) zeigt deutlich das abgestufte Verhalten der Bitumen unterschiedlicher Sorten, insbesondere von Bindemittel Nr. 7 (PmB 25) als „härtestes“ und des Bindemittel-Nr. 1 und Nr. 2 (B 80/B 65) als „weicheste“ Sorten im Vergleich zu den anderen 5 Bindemittelproben. Die Unterschiede in den 5 Proben sind vergleichsweise gering, aber nicht zu vernachlässigen. Die Verhaltensunterschiede sind vor allem im Vergleich der Viskosität bei konstanter Temperatur von 135 °C (1,07 bis 1,89 Pas) und der Temperaturen, als Äquiviskositätstemperaturen (dynamisch) bezeichnet, welche die gleiche Viskosität von 2 Pas bewirken (Temperaturspanne von immerhin 9,4 K), sichtbar (Tab. 19).

Darüberhinaus zeigen die polymermodifizierten Bitumen, Bindemittel-Nr. 5 und Nr. 4 eine merklich geringere Viskositäts-Temperatur-Abhängigkeit. Zur Quantifizierung wurde ein Temperaturmodul der Viskosität  $\frac{d\eta}{dT} \frac{1}{\eta}$  gebildet, der aus den Konstanten der Ausgleichsfunktion berechnet wurde, und dieser jeweils für die Temperatur 135 °C in der Tabelle 19 angegeben. Unter Beachtung des Viskositätsniveaus zeigt er für die genannten Bitumen deutlich geringere negative Viskositätsanstiege bzw. einen geringeren Viskositätsabfall.

Die Ergebnisse der Messungen können wie folgt zusammengefaßt werden.

Die Messungen der dynamischen Viskosität lassen für die untersuchten Bitumenproben im vorgegebenen Temperaturbereich eine deutliche Differenzierung erkennen.

Ebenso sind Unterschiede im Viskositäts-Temperatur-Verhalten festzustellen.

Eine Schergefälle-Abhängigkeit der Viskosität ist nur in geringem Umfang vorhanden.

Unter Einbeziehung temperaturabhängig ermittelter bzw. berechneter Dichtewerte  $\rho=f(\vartheta)$  ist die Darstellung von Temperaturfunktionen der kinematischen Viskosität  $\nu$  möglich.

#### 4.1.2.4 Äquiviskositätstemperaturen (kinematisch)

Gemäß DIN 1996 T. 4 hat die Verdichtung von Marshall-Probekörpern entweder bei einer Temperatur von  $135 \pm 5^\circ\text{C}$  zu erfolgen oder bei einer kinematischen Viskosität von  $\nu = 500$  bis  $600 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

Da die unter diesen Bedingungen erzielte Raumdichte des Asphaltes die Referenzdichte zur Ermittlung des Verdichtungsgrades darstellt, ist sie von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Mit dem Ziel, unter Einsatz verschiedenster Bindemittelsorten, Straßenbaubitumen und PmB, bei gleicher Bindemittelviskosität zu verdichten, wurden Äquiviskositätstemperaturen ermittelt. Es wurde wie folgt vorgegangen.

Zunächst erfolgte die Messung der dynamischen Viskosität im Rotationsviskosimeter MC 1 und RC 20 der Firma Paar-Physika Meßtechnik GmbH/RheoTecMeßtechnik GmbH bei sechs Temperaturen.

Der untersuchte Temperaturbereich umfaßte  $60^\circ\text{C}$  bis  $160^\circ\text{C}$ .

Die Untersuchungen wurden jeweils isotherm bei zunehmender Schubspannung (Hinkurve) als auch bei abnehmender Schubspannung (Rückkurve) durchgeführt.

Bei einer Schubspannung von  $500 \text{ Pa}$  (Hinkurve) wurde mit den resultierenden sechs Wertepaaren eine Regression unter Ansatz der Gleichung 3 nach Vogel durchgeführt.

$$\eta_{\vartheta} = A \cdot e^{\frac{B}{\vartheta+C}} \quad (3)$$

A, B und C stellen Regressionsparameter dar,  $\vartheta$  die Temperatur in  $^\circ\text{C}$  und  $\eta_{\vartheta}$  die dynamische Viskosität bei der Temperatur  $\vartheta$ .

Für die Berechnung der Äquiviskositätstemperatur war eine kinematische Viskosität von  $550 \pm 50 \text{ mm}^2/\text{s}$  maßgeblich.

Die mit den dynamischen Viskositäten (Pas) korrespondierenden kinematischen Viskositäten ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) wurden nach folgender Gleichung berechnet.

$$v_s = 1000 \frac{\eta_s}{\rho_s}, \quad (4)$$

wobei  $\rho_s$  die Dichte bei der jeweiligen Bezugstemperatur  $\vartheta$  darstellt.

Für sämtliche untersuchte Bindemittel wurde außer der Dichte bei Standardtemperatur von 25°C eine weitere Dichte entweder bei 45°C oder bei 60 °C bestimmt und nach folgender Gleichung der Volumenausdehnungskoeffizient  $\beta$  [3] des Bindemittels berechnet (vgl. Tab. 20 und Abb. 8).

$$\beta = \frac{\rho_{25} - \rho_{60}}{\rho_{60}(60 - 25)} = \frac{\rho_{25} - \rho_{60}}{\rho_{60} \cdot \Delta T} \quad (5)$$

Tab. 20: Dichten und Volumenausdehnungskoeffizient der untersuchten Bindemittel

Bindemittel-Nr.	Bindemittelsorte	Dichte g/cm <sup>3</sup>			Volumenausdehnungskoeffizient K <sup>-1</sup> 10 <sup>4</sup>
		25 °C	40 °C	60 °C	
1	B 80	1,017	1,006	-	6,96
2	B 65	1,025	1,013	-	7,90
3	B 45	1,031	1,019	-	8,51
4	PmB 45A	1,024	-	0,995	8,48
5	PmB 45 A	1,020	-	0,995	7,33
6	PmB 45A	1,034	-	1,009	7,08
7	PmB 25	1,024	-	0,994	8,77
8	RC-Bitumen	1,031	1,020	-	7,19

Die Dichten bei den zutreffenden Temperaturen wurden unter Annahme der Gültigkeit folgender Gleichung

$$\rho_s = \frac{\rho_{25}}{1 + \beta(\vartheta - 25)} = \frac{\rho_{25}}{1 + \beta \cdot \Delta T} \quad (6)$$

berechnet.

Durch iterative Näherung wurde die mit einer kinematischen Viskosität von 5,50 10<sup>2</sup> mm<sup>2</sup>/s korrespondierende Temperatur, die im Forschungsvorhaben als Äquiviskositätstemperatur ÄVT (kinematisch) bezeichnete Temperatur, ermittelt.

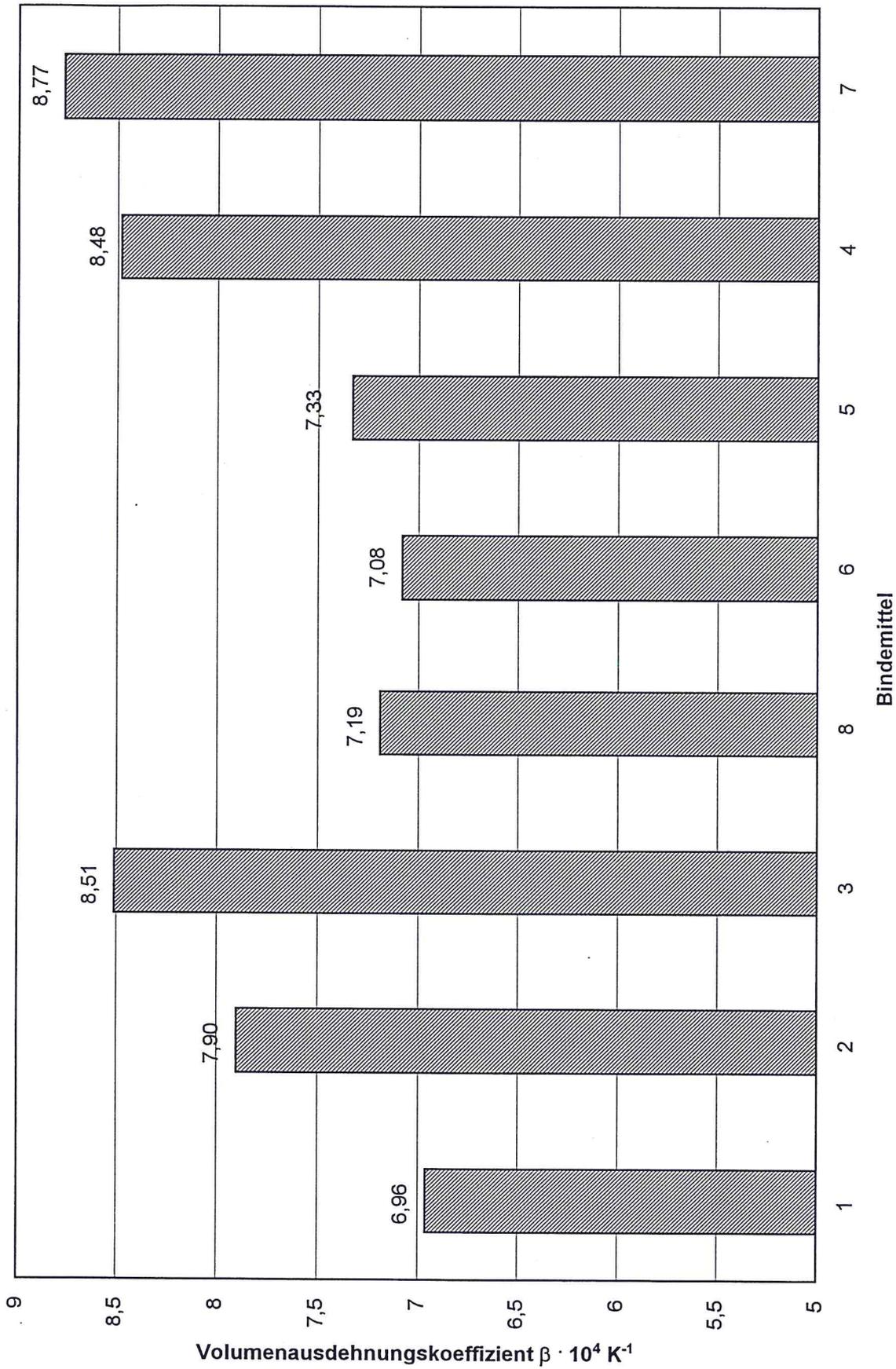


Abb. 8: Volumenausdehnungskoeffizient von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)

Am Beispiel des Bindemittels Nr. 4 soll die Vorgehensweise dokumentiert werden (vgl. Tab. 21) [3].

Tab. 21: Beispiel zur Berechnung der kinematischen Viskosität für Bindemittel Nr. 4

Temperatur $\vartheta$ °C	dynamische Viskosität/ gemessen ( $\tau=500$ Pa Hinkurve) $\eta_{\text{ex}}$ Pas	dynamische Viskosität/ berechnet Vogel $\eta_{\text{calc}}$ Pas	Dichte berechnet $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	kinematische Viskosität $\nu_{\text{ex}}$ mm <sup>2</sup> /s	kinematische Viskosität $\nu_{\text{calc}}$ mm <sup>2</sup> /s
58,4	1822,2	1821,0	0,9958	1,830 10 <sup>6</sup>	1,830 10 <sup>6</sup>
77,7	(27,02)	145,5	0,9802	2,316 10 <sup>5</sup>	1,484 10 <sup>5</sup>
97,2	21,96	22,53	0,9650	2,276 10 <sup>4</sup>	2,335 10 <sup>4</sup>
117,0	5,37	5,34	0,9499	5,650 10 <sup>3</sup>	5,620 10 <sup>3</sup>
136,7	1,72	1,73	0,9354	1,839 10 <sup>3</sup>	1,850 10 <sup>3</sup>
156,6	0,69	0,64	0,9212	7,490 10 <sup>2</sup>	6,950 10 <sup>2</sup>
100		17,95	0,9628		1,864 10 <sup>4</sup>
110		8,52	0,9552		8,920 10 <sup>3</sup>
130		2,47	0,9403		2,628 10 <sup>3</sup>
135		1,89	0,9367		2,018 10 <sup>3</sup>
140		1,47	0,9331		1,575 10 <sup>3</sup>
170		0,41	0,9119		4,520 10 <sup>2</sup>
162,3		0,551	0,9172		6,007 10 <sup>2</sup>
164,6 = AVT		0,504	0,9156		5,502 10 <sup>2</sup>
142,2		0,456	0,9138		4,995 10 <sup>2</sup>

ex =experimentell bestimmt, calc = berechnet

In den Abb. 9 und 10 sind die Äquiviskositätstemperaturen der 8 Bindemittel für  $5 \cdot 10^2$  mm<sup>2</sup>/s (kinematisch) und die kinematische Viskosität bei den Verdichtungstemperaturen von 100°C (1), 135 °C (2) und 170°C (3) dargestellt.

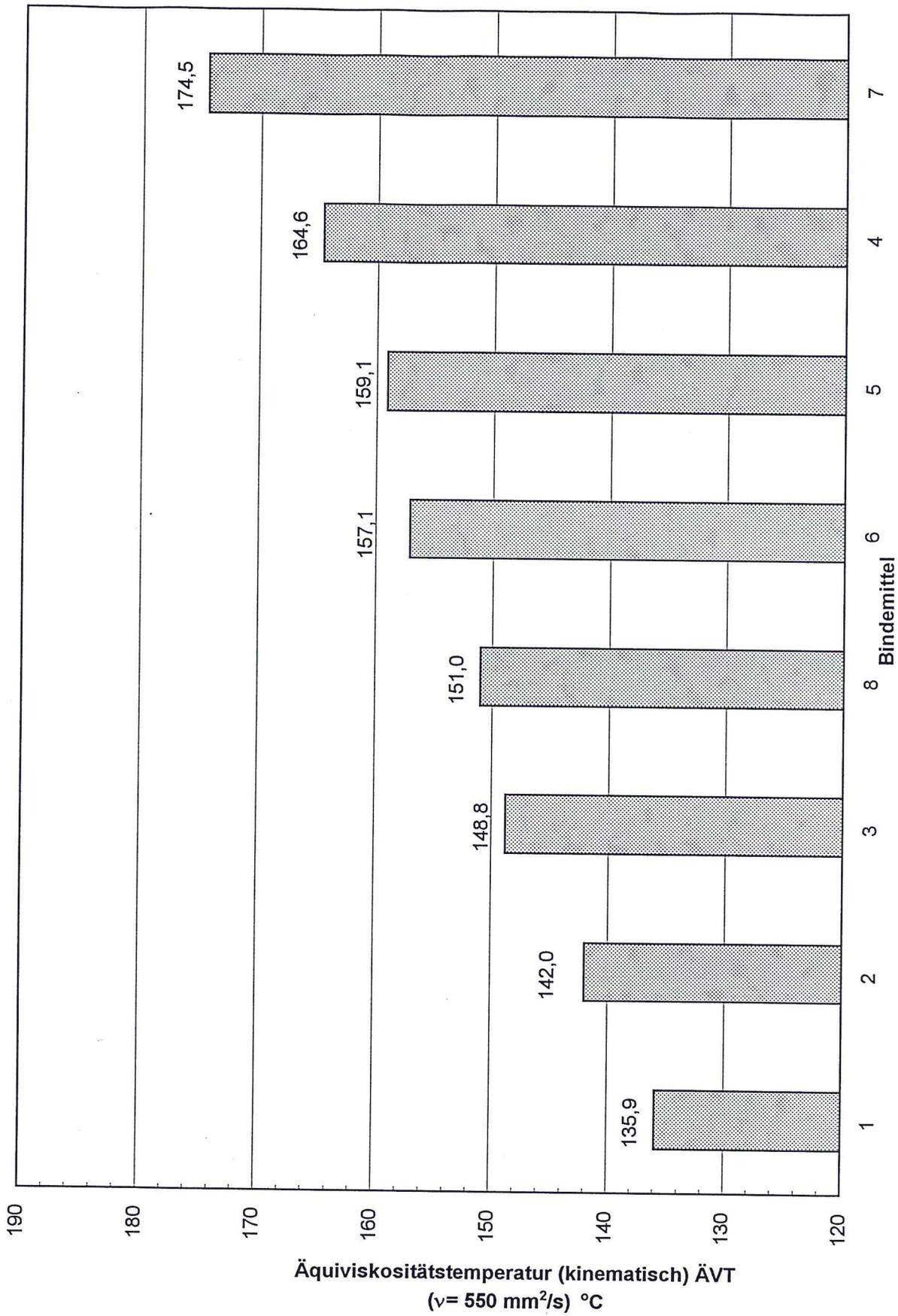


Abb.9: Äquivalenzviskositätstemperaturen (kinematisch) ÄVT von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)

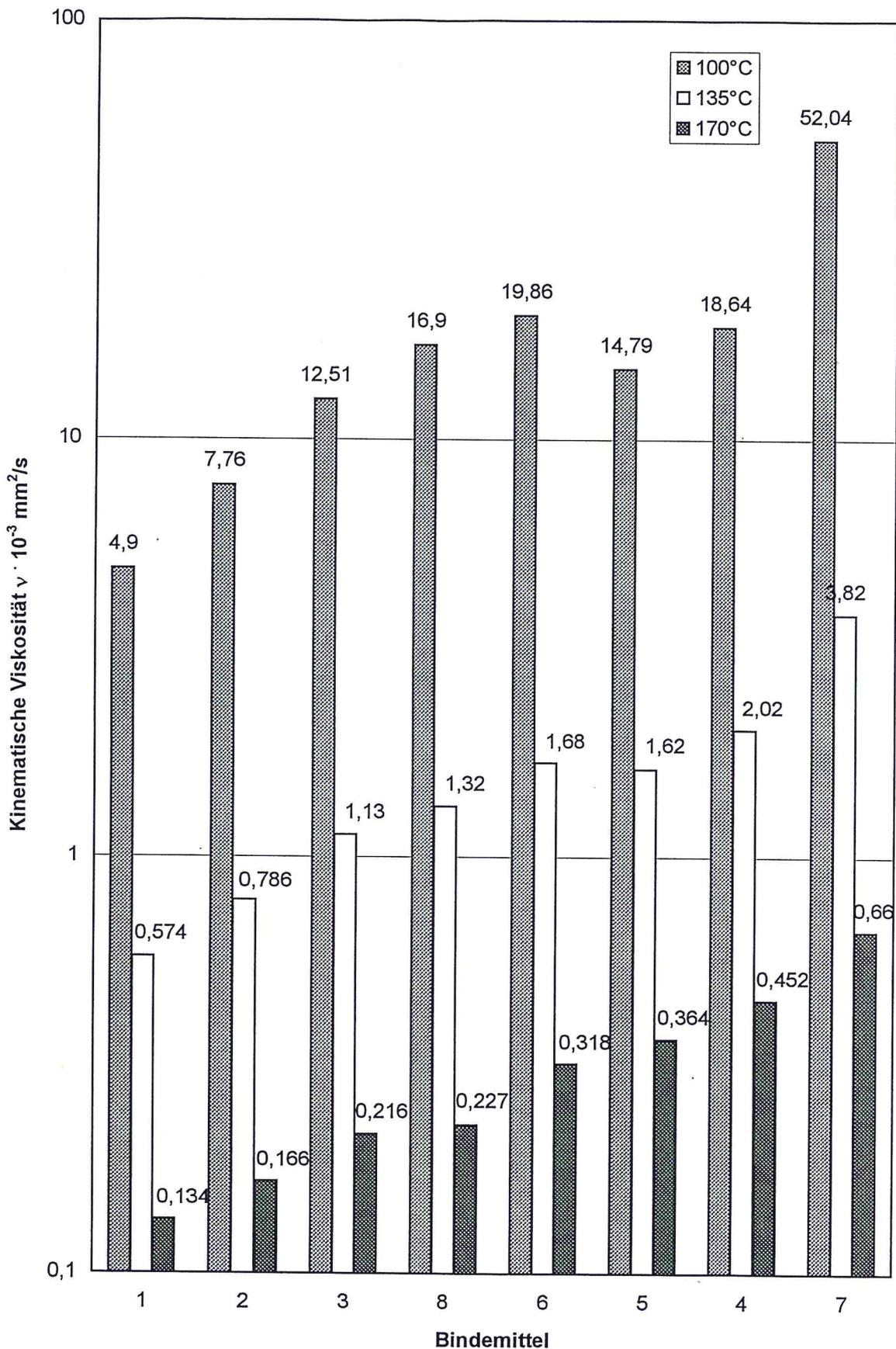


Abb. 10: Kinematische Viskosität von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7) bei unterschiedlichen Verdichtungstemperaturen

## 4.2 Mineralstoffe

### 4.2.1 Granulometrische Eigenschaften

Sämtliche für die Untersuchungen verwendeten Mineralstoffe, Edelsplitt, Kies und Sande ausgenommen die Füllstoffe, erfuhren in der Regel eine Vorbehandlung.

So wurden die Edelsplitt gewaschen, vom Über- und Unterkorn befreit und bis zur Massekonstanz bei  $110 \pm 5$  °C getrocknet. Somit standen über- und unterkornbereinigte Kornklassen 2/5; 5/8; 8/11; 11/16 und 16/22 zur Verfügung.

Der Kiessand (Röderau) wurde gewaschen und ebenfalls in entsprechende Kornklassen getrennt.

Die Sande, der Edelbrechsand EBS (Großkoschen) und der Natursand (Heller) wurden vom Überkorn befreit, der Eigenfülleranteil blieb jeweils erhalten.

Als Füllstoff wurde Kalksteinmehl (Wünschendorf/Caaschwitz) eingesetzt, wobei auf die Entfernung von Korn  $\geq 0,09$  mm verzichtet wurde.

Als stabilisierender Zusatz für Splittmastixasphalt wurde Technocel 1004 verwendet.

Die oben beschriebene Vorbehandlung der Mineralstoffe sollte der besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse dienen.

Die aus Grauwacke Großkoschen resultierenden Edelsplitt wurden bezüglich gesteinspezifischer Eigenschaften in Verbindung mit der TL Min-StB 94 untersucht.

Die Bestimmung der (Rein)-dichte nach DIN 52 102 erfolgte am aus 2/5-mm-Edelsplitt gemahlenem und abgeseibtem 0/0,063-mm-Gesteinsmehl.

Die Bestimmung der Trockenrohndichte nach DIN 52 102 erfolgte an den oben angeführten Kornklassen sowie in Hinblick auf die zu bestimmende Schlagfestigkeit an der speziell zusammengesetzten Kornklasse 8/12,5.

Die Ergebnisse sind in Tab. 22 zusammengestellt.

Tab. 22: Dichte und Kornform

Mineralstoff	Grauwacke Großkoschen		Kies Röderau	
Kornklasse	Dichte/Trocken- rohndichte	Kornformklasse S	Dichte/Trocken- rohndichte	Kornformklasse S
mm	g/cm <sup>3</sup>	M.-%	g/cm <sup>3</sup>	M.-%
0/0,063	2,762	-	-	-
0/2	2,755	-	2,652	-
2/5	2,716	-	2,647	-
5/8	2,732	19,0	2,645	8,5
8/11	2,738	18,5	2,647	14,0
8/12,5	2,714		2,633	-
11/16	2,733	6,5	2,652	15,5
16/22	2,718	5,0	2,650	11,5

Die Kornform wurde an je 300 Körnern mit dem Kornformmeßschieber nach DIN 52 114 von den drei (Splittmastixasphalt 0/11 S) bzw. vier (Asphaltbinder 0/16 S) relevanten Kornklassen bestimmt und das gewogene arithmetische Mittel für die angewendeten Rezepturen berechnet. Der prozentuale Anteil von spießigen Körnern S, deren Relation Länge zu Dicke des Korns  $l : d > 3 : 1$  ist, wird jeweils ermittelt.

Die mittlere Fehlförmigkeit  $S_m$  (berechnet am Korn  $d \geq 5$  mm von 64,6 M.-%) für das Korngemisch des Splittmastixasphalt 0/11 S beträgt  $S_m = 17,5$  M.-%, für das des Asphaltbinder 0/16 S (berechnet am Korn  $d \geq 5$  mm von 57,0 M.-%)  $S_m = 12,0$  M.-%.

Die mittlere Fehlförmigkeit  $S_m$  (berechnet am Korn  $d \geq 5$  mm von 38 M.-%) für das Korngemisch der granulatfreien Tragschicht 0/22 B beträgt  $S_m = 12,0$  M.-%.

Die Kornklasse 8/12,5, zusammengesetzt aus 50 M.-% 8/10-mm- und je 25 M.-% 10/11,2- und 11,2/12,5-mm-Splitt bzw. Kies, wurde in Hinblick auf den zu bestimmenden Schlagzertrümmerungsgrad SZ 8/12 durch die Kochprüfung, den Frost-Tau-Wechsel-Versuch mit vorausgehender Wasseraufnahme und die Prüfung auf Hitzebeständigkeit beansprucht.

#### 4.2.2 Beanspruchungsorientierte Eigenschaften

- Kochprüfung (nach TP Min-StB, Teil 4.2)

Diese Kornklasse 8/12,5 wurde im Rahmen der Kochprüfung nach TP Min T. 4.2 in destilliertem Wasser 36 h unter Rückfluß gekocht. Der Siebdurchgang  $D_5$  durch das nächst kleinere Sieb von 5 mm ist sowohl für Splitt als auch für Kies äußerst gering.

Die Absplitterungen betragen als Mittel aus drei Einzelwerten für Splitt (0,015 M.-%; 0,010 M.-%; 0,010 M.-%) bzw. für Kies (0,010 M.-%; 0,010 M.-%; 0,010 M.-%)

$$D_5 = 0,01 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$D_5 = 0,01 \text{ M.-% für Kies.}$$

- Wasseraufnahmegrad (nach DIN 52103)

Der massebezogene Wasseraufnahmegrad unter Atmosphärendruck wurde an je drei Proben der drei o.a. Körnungen (Tab. 23) bestimmt.

Tab. 23: Wasseraufnahme ausgewählter Kornklassen

Splitt	Kornklasse mm	Wasseraufnahmegrad $W_{m,a}$ M.-%			
		Einzelwerte			Mittel
	8/10	0,48	0,55	0,61	0,55
	10/11,2	0,61	0,83	0,56	0,67
	11,2/12,5	0,41	0,74	0,63	0,59
Kies		Einzelwerte			Mittel
	8/10	1,54	1,55	1,79	1,63
	10/11,2	1,46	1,47	1,51	1,48
	11,2/12,5	1,41	1,44	1,36	1,40

Für die drei Einzelkörnungen ergibt sich als arithmetisches Mittel für den Wasseraufnahmegrad ein Wert von

$$W_{m,a} = 0,6 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$W_{m,a} = 1,5 \text{ M.-% für Kies.}$$

Die Überschreitung des Grenzwertes für den Wasseraufnahmegrad ( $W_{m,a} \leq 0,5 \text{ M.-%}$ ) macht die Durchführung des Frost-Tau-Wechsel-Versuches notwendig.

- Frost-Tau-Wechsel-Versuch (nach DIN 52104, Teil 1)

Nach einer Wassertränkung unter Atmosphärendruck wird der Frost-Tau-Wechsel-Versuch nach DIN 52 104, Methode N (Frostbeanspruchung unter Wasser, d.h. Annahme einer starken Durchfeuchtung (vgl. Abb. 11) mit 10 Frost-Tau-Wechseln durchgeführt.

Drei Probeteile der Kornklasse 8/12,5 werden untersucht und der prozentuale Anteil an Absplitterungen, der Siebdurchgang durch das 5-mm-Sieb, bestimmt.

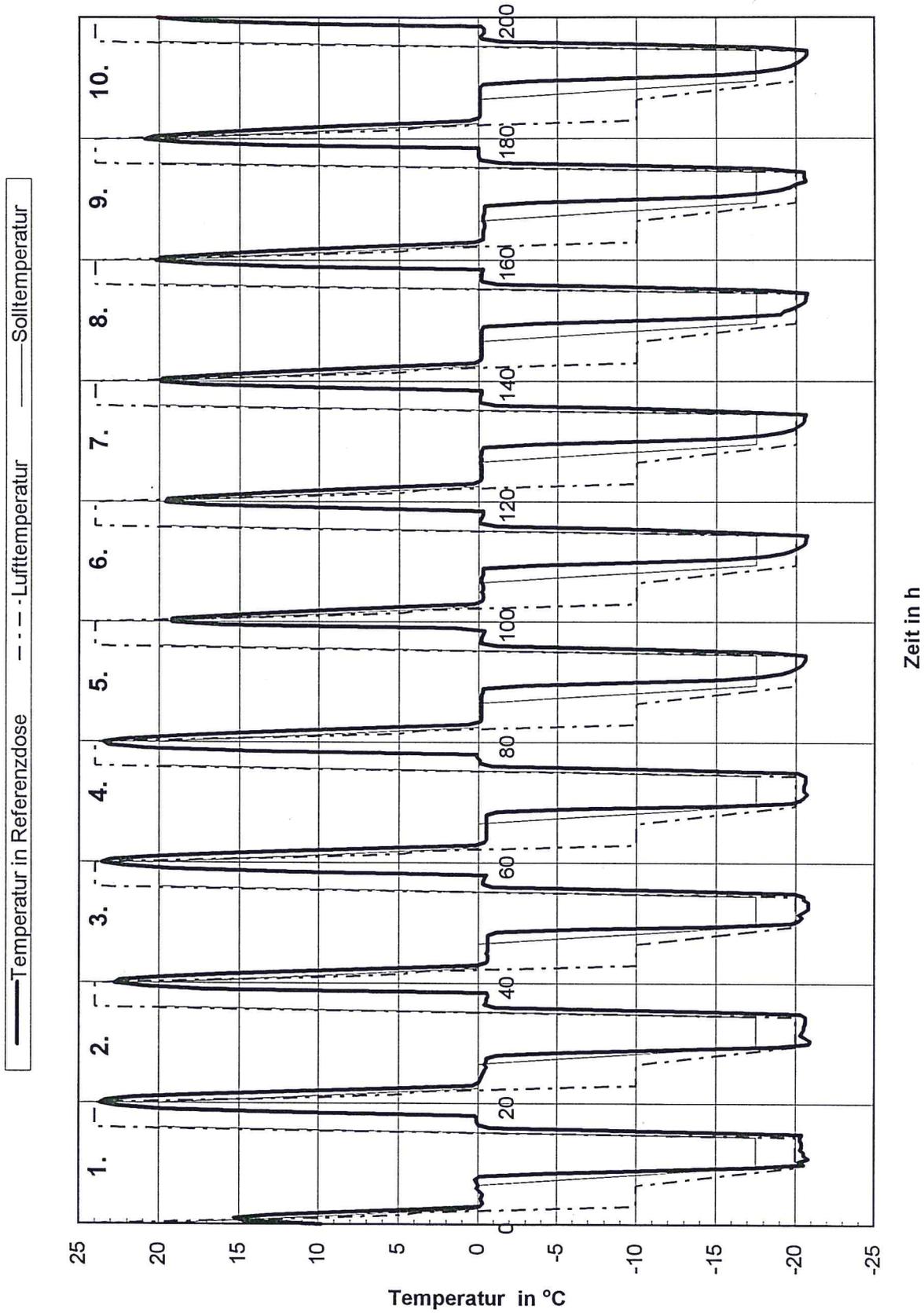


Abb. 11: Frost-Tau-Wechsel-Versuch nach DIN 52 104 (Verfahren N) an Splitt 8/12,5 (Großkoschen) und Kies 8/12,5 (Röderau)

Das Ergebnis ist das Mittel aus drei Einzelwerten (0,14 M.-%; 0,16 M.-%; 0,14 M.-%) für Splitt bzw. (0,32 M.-%; 0,18 M.-%; 0,31 M.-%) für Kies und beträgt

$$D_5 = 0,15 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$D_5 = 0,27 \text{ M.-% für Kies.}$$

- Prüfung auf Hitzebeständigkeit (nach TP Min-StB, Teil 4.5.1)

Die Beanspruchung bei Hitze (3 Minuten bei 700°C) wurde nach TP Min 4.5.1 -Widerstand gegen Hitzebeanspruchung- an je 6 Teilproben der Kornklasse 8/12,5 mm zu je 1 kg durchgeführt, wobei die erste Teilprobe verworfen wird. Der Siebdurchgang des durch Hitze beanspruchten Prüfgutes  $D_5$  durch das 5-mm-Sieb, die Absplitterungen, beträgt im Mittel

$$D_5 = 0,08 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$D_5 = 0,66 \text{ M.-% für Kies.}$$

- Schlagversuch an Splitt und Kies (nach DIN 52115, Teil 3)

Der Schlagversuch an Splitt der Kornklasse 8/12,5 nach DIN 52 115 T. 3 wurde sowohl für Splitt Großkoschen (vgl. Tab. 24) als auch für Kies Röderau (vgl. Tab. 25) an dem nicht beanspruchten sowie im voraus dem Kochversuch, dem Frost-Tau-Wechsel-Versuch und der Hitzebeständigkeitsprüfung ausgesetzten Mineralstoff durchgeführt. Die Einwaagen je Einzelprobe betragen  $0,5 \cdot \rho_R$  (vgl. Tab. 22).

Der mittlere Schlagzertrümmerungsgrad ohne zusätzliche Beanspruchung beträgt

$$SZ_{8/12} = 11,5 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$SZ_{8/12} = 23,6 \text{ M.-% für Kies.}$$

Der mittlere Schlagzertrümmerungsgrad nach dem Frost-Tau-Wechsel-Versuch beträgt

$$SZ_{8/12} = 12,4 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$SZ_{8/12} = 24,8 \text{ M.-% für Kies.}$$

Der mittlere Schlagzertrümmerungsgrad nach dem Kochversuch beträgt

$$SZ_{8/12} = 11,9 \text{ M.-% für Splitt}$$

$$SZ_{8/12} = 23,7 \text{ M.-% für Kies.}$$

Der mittlere Schlagzertrümmerungsgrad nach der Hitzebeständigkeitsprüfung beträgt

SZ 8/12 = 14,3 M.-% für Splitt

SZ 8/12 = 25,1 M.-% für Kies.

Tab. 24 Schlagzertrümmerungswert SZ 8/12 von Splitt ohne und nach zusätzlichen Beanspruchungen

Meßprobe	Schlagzertrümmerungsgrad M.-%											
	ohne zusätzliche Beanspruchung			nach F/T-Wechsel			nach Kochversuch			nach Hitzebeanspruchung		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sieblochweite in mm	Siebdurchgang D in M.-%			Siebdurchgang D in M.-%			Siebdurchgang D in M.-%			Siebdurchgang D in M.-%		
8,0	33,5	33,0	34,1	37,3	37,5	36,3	36,4	36,1	37,2	43,7	40,7	43,8
5,0	16,1	16,3	15,3	16,3	16,3	15,3	15,9	14,3	15,8	19,8	18,2	19,1
2,0	5,6	5,7	5,4	6,0	6,0	5,8	5,6	4,9	5,5	6,9	6,5	6,9
0,63	1,7	1,7	1,6	2,0	2,0	1,9	1,8	1,5	1,8	2,1	2,0	2,1
0,20	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
Summe $\Sigma D$	57,5	57,3	57,0	62,5	62,7	60,2	60,4	57,4	61,0	73,3	68,2	72,8
SZ 8/12	11,5	11,5	11,4	12,5	12,5	12,0	12,1	11,5	12,2	14,7	13,6	14,6

Tab. 25 Schlagzertrümmerungswert SZ 8/12 von Kies ohne und nach zusätzlichen Beanspruchungen

Meßprobe	Schlagzertrümmerungsgrad M.-%											
	ohne zusätzliche Beanspruchung			nach F/T-Wechsel			nach Kochversuch			nach Hitzebeanspruchung		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sieblochweite in mm	Siebdurchgang D in M.-%			Siebdurchgang D in M.-%			Siebdurchgang D in M.-%			Siebdurchgang D in M.-%		
8,0	59,7	56,7	58,2	58,2	59,2	61,3	57,7	59,6	59,4	58,2	60,9	59,5
5,0	35,2	32,8	35,4	36,0	35,5	35,8	33,6	35,5	34,1	36,7	36,9	36,8
2,0	16,4	14,6	16,3	17,6	16,9	17,4	15,5	16,3	15,2	17,6	18,0	17,9
0,63	6,9	5,9	6,9	7,7	7,5	7,6	6,5	6,8	6,4	7,4	7,9	7,6
0,20	3,2	2,8	3,3	3,8	3,7	3,8	2,9	3,0	2,9	3,6	4,0	3,8
Summe $\Sigma D$	121,4	112,8	120,1	123,4	122,8	125,8	116,3	121,2	118,0	123,5	127,7	125,6
SZ 8/12	24,3	22,6	24,0	24,7	24,6	25,2	23,2	24,2	23,6	24,7	25,5	25,1

- Prüfung von Mischgut auf Verhalten bei Lagerung in Wasser (nach DIN 1996, T. 10)

Wie gefordert, wurden 300 g der Kornklasse 8/11, gewaschen, mit 12 g eines Bindemittels, welches eine Penetration von  $> 160$  1/10 mm besitzt (B 200 wurde verwendet), gemischt, 24 h unter Wasser bei Raumtemperatur gelagert und beurteilt. Ergänzend wurde ungewaschenes Material der gleichen Kornklasse eingesetzt und ebenfalls mit B 200 gemischt. Die im Rahmen des Forschungsauftrages eingesetzten Bindemittel Nr.1 bis Nr. 8 waren für diese Untersuchung auf Grund niedrigerer Nadelpenetration nicht zutreffend.

Die vom Bindemittel freie unbedeckte Fläche wird beim gewaschenen Material bei Grauwacke-Edelsplitt (Großkoschen) mit ca. 10 %, beim ungewaschenen mit 0 % geschätzt, obwohl an Ecken und Kanten durchscheinende bräunliche Bereiche zu beobachten waren. Der Kies 8/11 (Röderau) verhielt sich ähnlich.

- Korngrößenverteilung der Sande

Tab. 26: Korngrößenverteilung der Sande

Maschenweite mm	Siebdurchgang M.-%	
	Edelbrechsand (EBS) Großkoschen	Natursand Heller
2	100,0	100,0
0,71	56,9	93,6
0,25	25,4	34,9
0,09	12,0	5,1

- Reinheit (nach DIN 52099)

Die mergelig-tonigen Bestandteile des Edelbrechsandes und des Natursandes wurden an der Kornklasse 0,063/2 nach DIN 52 099 bzw. TP Min-StB bestimmt.

Sie betragen für Edelbrechsand Großkoschen

$$\Delta D_m = 1,3 \text{ M.-%}$$

für Natursand Heller

$$\Delta D_m = 0,5 \text{ M.-%.}$$

- Fülleruntersuchung (nach TL Min-StB (vgl. Tab. 27 und Abb. 12, 13))

Eine Eigenfülleruntersuchung des Edelbrechsandes (12,0 M.%) wurde durchgeführt, auf die des Natursandes (5,1 M.%) wurde verzichtet.

Der aus dem Asphaltgranulat, welches zu unterschiedlichen Mengen bei der konzipierten Tragschicht 0/22 B eingesetzt wurde, rückgewonnene Füller wurde ebenfalls untersucht.

Der Fremdfüller Caaschwitz wurde nach TL Min-StB sowie zusätzlichen Sächsischen Vorschriften untersucht.

Tab. 27: Füllereigenschaften

Prüfung/Eigenschaften	Maßeinheit	Füller 0/0,09 aus Granulat	Fremdfüller 0/0,09 aus Caaschwitz	Eigenfüller 0/0,09 aus EBS Großkoschen
Äußere Beschaffenheit (TP Min Teil 3.1.3) Homogenität Farbe Geruch Korngrößenverteilung		homogen graubraun ohne abgestuft	homogen beigerosa ohne abgestuft	homogen hellbraungrau ohne wenig abgestuft
Organische Bestandteile (DIN 52 099) Färbung der Prüflüssigkeit		keine farblos	keine farblos	keine farblos
Rohdichte (DIN 52 102 - FM)	g/cm <sup>3</sup>	2,755	2,842	2,780
Hohlraumgehalt nach Rigden (TP Min Teil 3.8.3)	Vol.-%	44,8	33,3	38,0
Wasserlösliche Anteile (TP Min Teil 4.6.3.1)	M.-%	1,5	0,8	0,40
Versteifende Wirkung (DIN 52 096) Erweichungspunkt (DIN52 011) bei Füller/Bitumen-Verhältnis	°C			
0:1		42,0	42,0	42,0
1:1		51,0	47,5	48,0
1,5:1		61,0	52,5	55,5
1,86:1		72,0	58,5	64,0
1,57:1				
2,03:1		79,0	62,5	70,0
Stabilisierungsindex Erweichungspunkterhöhung	K	1,55:1 30,0	2,01:1 16,5	1,80:1 22,0
Wasserempfindlichkeit (TP Min Teil 4.6.3.) Stufe I: Trübung des Wassers Absetzen nicht umhüllter Teilchen		nein nein	nein nein	nein nein
Gehalt an CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	M.-%	8,5 (5,9 + 2,6)	88,2 (48,2+40,0)	-

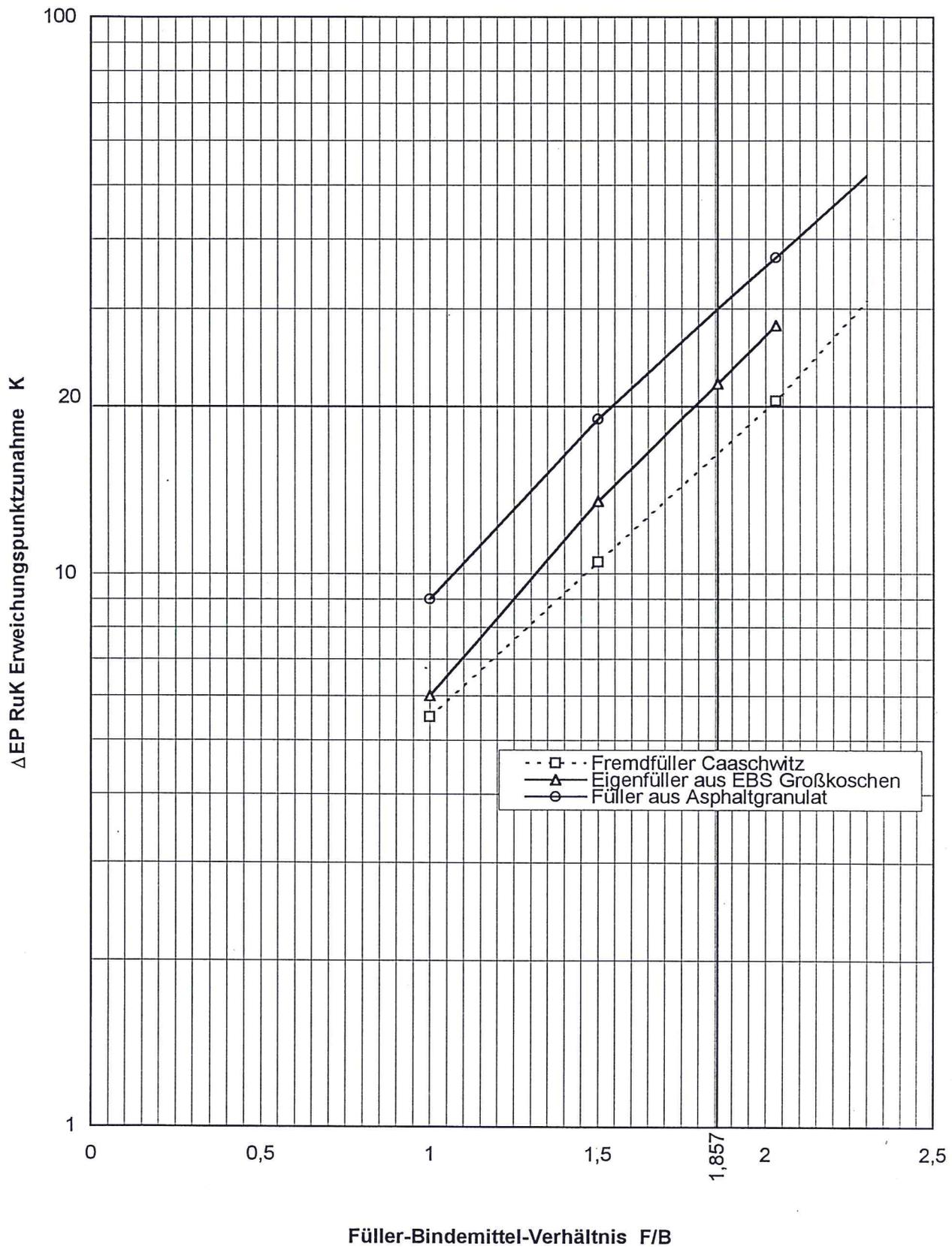


Abb. 12 : Prüfung der versteifenden Wirkung von Füller auf Bitumen nach DIN 52 096

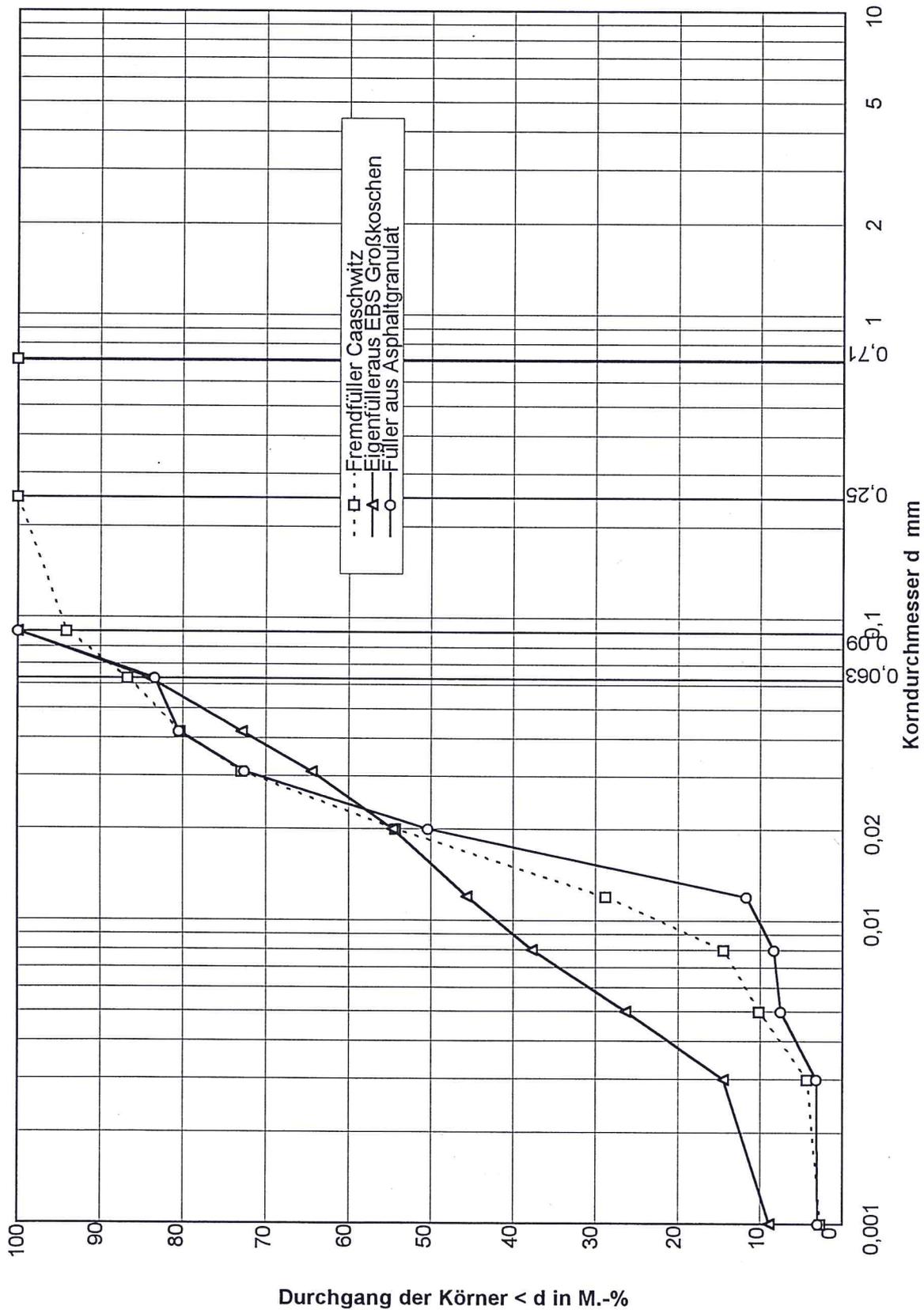


Abb. 13: Korngrößenverteilung durch Siebung und Sedimentation von Fremdfüller Caaschwitz, Eigenfüller Großkoschen aus Edelbrechsand und aus dem Asphaltgranulat zurückgewonnenen Füller

### 4.3 Asphaltgranulat

Das zur Verfügung stehende Asphaltgranulat wurde ohne Kenntnis seiner Herkunft von einer Mischanlage (DEUTAG Freital) angeliefert. Die Zusammensetzung des Asphaltgranulates wurde ermittelt, d.h. der Anteil von artfremden Stoffen wie Beton, Naturgestein, Glas, Keramik und Sonstiges. Das wird in folgender Tabelle für Proben von je ca. 15 kg dokumentiert.

Tab. 28: Stoffliche Zusammensetzung des Asphaltgranulates

Granulat	Asphalt	Naturstein	Beton	Glas/Keramik	Sonstiges
Probe	M.-%	M.-%	M.-%	M.-%	M.-%
1	94,5	5,3	0,1	-	0,1
2	92,7	7,3	-	-	-
3	94,5	5,2	0,2	0,1	-
4	92,1	7,8	-	0,1	-
5	92,1	7,5	0,3	-	0,1
6	94,1	5,8	0,1	-	-
7	89,2	10,7	0,1	-	-
8	94,6	5,3	-	0,1	-
9	95,6	4,1	0,2	-	0,1
10	96,2	3,8	-	-	-
11	94,5	5,4	0,05	-	0,05
12	92,7	7,3	-	-	-
13	96,7	3,3	-	-	-
14	97,0	3,0	-	-	-
Mittel	94,04	5,84	0,08	0,02	0,02

Die Rohdichte des Granulates beträgt  $2,565 \text{ g/cm}^3$ .

Zum anderen wird das Granulat mittels Extraktion in seine Komponenten, Bitumen als Bindemittel und Mineralstoffe zerlegt. Es werden zunächst deren Anteile quantitativ bestimmt, d.h. der Bindemittelgehalt einschließlich der Bindemittelleigenschaften (vgl. Tab. 2) und der Mineralstoffgehalt einschließlich der Korngrößenverteilung (vgl. Abb. 14) und einige Eigenschaften von ausgewählten Mineralstoffanteilen (vgl. 4.2) ermittelt.

Der Bindemittelgehalt (Anlage 12) beträgt 4,7 M.-%. Davon sind 4,5 M.-% lösliches und 0,2 M.-% unlösliches Bindemittel.

Der ursprüngliche Plan, aus dem Granulat zurückgewonnenes Bitumen dem ungebrauchten Bitumen B 80, welches für eine Asphalttragschicht eingesetzt wurde, in definierten und zulässigen Verhältnissen zuzumischen, wurde verworfen.

Es wurde anstatt dessen, wie es auch in der Praxis üblich ist, zum frischen Mischgut Asphaltgranulat in unterschiedlichen Prozentsätzen zugegeben.

### 4.3 Asphaltgranulat

Das zur Verfügung stehende Asphaltgranulat wurde ohne Kenntnis seiner Herkunft von einer Mischanlage (DEUTAG Freital) angeliefert. Die Zusammensetzung des Asphaltgranulates wurde ermittelt, d.h. der Anteil von artfremden Stoffen wie Beton, Naturgestein, Glas, Keramik und Sonstiges. Das wird in folgender Tabelle für Proben von je ca. 15 kg dokumentiert.

Tab. 28: Stoffliche Zusammensetzung des Asphaltgranulates

Granulat	Asphalt	Naturstein	Beton	Glas/Keramik	Sonstiges
Probe	M.-%	M.-%	M.-%	M.-%	M.-%
1	94,5	5,3	0,1	-	0,1
2	92,7	7,3	-	-	-
3	94,5	5,2	0,2	0,1	-
4	92,1	7,8	-	0,1	-
5	92,1	7,5	0,3	-	0,1
6	94,1	5,8	0,1	-	-
7	89,2	10,7	0,1	-	-
8	94,6	5,3	-	0,1	-
9	95,6	4,1	0,2	-	0,1
10	96,2	3,8	-	-	-
11	94,5	5,4	0,05	-	0,05
12	92,7	7,3	-	-	-
13	96,7	3,3	-	-	-
14	97,0	3,0	-	-	-
Mittel	94,04	5,84	0,08	0,02	0,02

Die Rohdichte des Granulates beträgt  $2,565 \text{ g/cm}^3$ .

Zum anderen wird das Granulat mittels Extraktion in seine Komponenten, Bitumen als Bindemittel und Mineralstoffe zerlegt. Es werden zunächst deren Anteile quantitativ bestimmt, d.h. der Bindemittelgehalt einschließlich der Bindemittelseigenschaften (vgl. Tab. 2) und der Mineralstoffgehalt einschließlich der Korngrößenverteilung (vgl. Abb. 14) und einige Eigenschaften von ausgewählten Mineralstoffanteilen (vgl. 4.2) ermittelt.

Der Bindemittelgehalt (Anlage 12) beträgt 4,7 M.-%. Davon sind 4,5 M.-% lösliches und 0,2 M.-% unlösliches Bindemittel.

Der ursprüngliche Plan, aus dem Granulat zurückgewonnenes Bitumen dem ungebrauchten Bitumen B 80, welches für eine Asphalttragschicht eingesetzt wurde, in definierten und zulässigen Verhältnissen zuzumischen, wurde verworfen.

Es wurde anstatt dessen, wie es auch in der Praxis üblich ist, zum frischen Mischgut Asphaltgranulat in unterschiedlichen Prozentsätzen zugegeben.

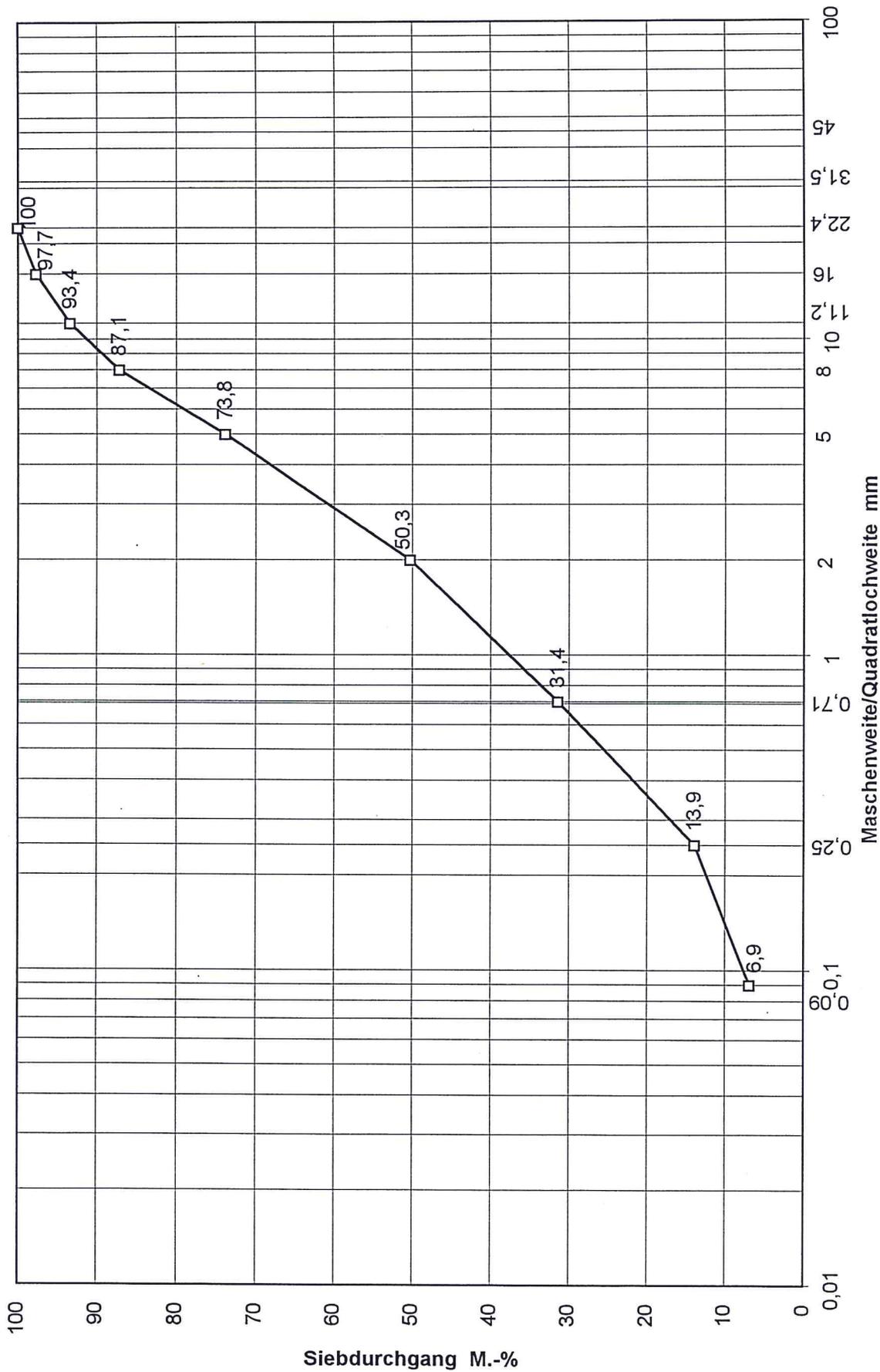


Abb. 14 : Korngrößenverteilung der aus dem Asphaltgranulat zurückgewonnenen Mineralstoffe

Es kann davon ausgegangen werden, daß das im Granulat befindliche in dünnen Schichten die Mineralstoffe umhüllende Bitumen nicht mit dem ungebrauchten Bitumen des Mischgutes im Mischer zu einem homogen Bindemittel verschmilzt und somit andere Bedingungen eintreten.

Dieser inhomogene Zustand der zwei Bindemittelkomponenten läßt sich nicht direkt erfassen.

Indirekt zeigt er sich in den Eigenschaften des Asphaltes, an den die Forderungen der ZTVT-StB gestellt werden. In Tabelle 29 soll diese Problematik angesprochen werden.

Laut Eignungsprüfung (Anlage 9) wird die Asphalttragschicht 0/22 B mit drei Bindemittelgehalten 3,9 M.-%, 4,4 M.-% und 4,9 M.-% hergestellt und die mittlere Variante wird als Vorzugsvariante vorgeschlagen. Bei Zumischung von 15 M.-% (Anlage 9.1) und 30 M.-% (Anlage 9.2) Asphaltgranulat ergibt sich in Abhängigkeit von den 3 Bindemittelgehalten ein Anteil bzw. Verhältnis an ungebrauchtem Bitumen B 80 zu dem aus dem Granulat stammenden Bitumen (RC-Bitumen), welches nach seinen Kennwerten im zurückgewonnenen bzw. extrahierten Zustand als B 25 (vgl. Tab. 2 und Anlage 8), einzustufen ist.

Tab. 29: Hypothetische Zusammensetzung des Bindemittelgemisches B 80 und RC-Bitumen

Sollbindemittelgehalt	B 80	Zusammensetzung des Mischbindemittels bei 15 %iger Granulatzugabe (absolut)		Bindemittel-Verhältnis B 80/RC-Bitumen	Zusammensetzung des Mischbindemittels bei 15 %iger Granulatzugabe (relativ)	
		B 80	RC-Bitumen		B 80	RC-Bitumen
M.-%	M.-%	M.-%	M.-%		M.-%	M.-%
3,9	100	3,195	0,705	4,53 : 1	81,9	18,1
4,4	100	3,695	0,705	5,24 : 1	84,0	16,0
4,9	100	4,195	0,705	5,95 : 1	85,6	14,4
		Zusammensetzung des Mischbindemittels bei 30 %iger Granulatzugabe (absolut)			Zusammensetzung des Mischbindemittels bei 30 %iger Granulatzugabe (relativ)	
3,9	100	2,49	1,41	1,77 : 1	63,85	36,15
4,4	100	2,99	1,41	2,12 : 1	67,95	32,15
4,9	100	3,49	1,41	2,48 : 1	71,22	28,78

Geht man nun davon aus, daß sich das B 80 (Nr. 1) mit einem Erweichungspunkt RuK von 47,0 °C (Nadelpenetration von 93 0,1 mm) und das RC-Bitumen mit einem Erweichungspunkt RuK von 61,0 °C (Nadelpenetration 25 0,1 mm) homogen miteinander in oben angeführten Verhältnissen mischen würden und die Mischungsregel zutreffen würde und keinerlei thermische Beanspruchungen wirksam würden, dann ergäbe sich für die resultierenden Erweichungspunkte (Nadelpenetration) folgendes Bild.

Bei 15-%iger Granulatzugabe zum Asphalttragschicht-Mischgut 0/22 B würde EP RuK (Nadelpenetration) bei einem Gesamtbindemittelgehalt von 3,9 M.-% 49,5 °C (73 0,1 mm), von 4,4 M.-% 49,2 °C (75 0,1 mm) und von 4,9 M.-% 49,0 °C (77 0,1 mm) betragen.

Bei 30-%iger Granulatzugabe würde EP RuK (Nadelpenetration) bei einem Gesamtbindemittelgehalt von 3,9 M.-% 52,0 °C (58 0,1 mm), von 4,4 M.-% 51,5 °C (61 0,1 mm) und von 4,9 M.-% 51,0 °C (64 0,1 mm) betragen.

Experimentell wurden der Erweichungspunkt RuK und die Nadelpenetration an zwei Extremen von granulathaltigem Asphalttragschicht-Mischgut 0/22 B, bezüglich der Granulatzugabe (30 M.-%), Bindemittelgehalt (3,9 M.-% und 4,9 M.-%), Verdichtungstemperatur (100 °C und 170 °C), frischhergestellte Mischung und gleichartiges 4 Monate gelagertes verdichtetes Mischgut bestimmt.

Tab. 30: Erweichungspunkt RuK und Nadelpenetration von rückgewonnenem resultierenden Bitumen aus granulathaltiger Asphalttragschicht 0/22 B (30 % Granulatzusatz)

Gesamtbindemittelgehalt	Verdichtungstemperatur	Lagerdauer	EP RuK	Nadelpenetration
M.-%	°C	Monat	°C	0,1 mm
4,9	100	ohne	53,0	54
4,9	100	4	59,0	38
3,9	170	ohne	56,0	44
3,9	170	4	64,0	33
4,4	135	ohne	53,0	56
4,4	theoretisch/rechnerisch		51,5	61

Aus Tab. 30 ist ersichtlich, daß

erstens die am rückgewonnenen resultierenden Bitumen erhaltenen Erweichungspunkte RuK (Nadelpenetration) für die betreffende Variante höher (niedriger) ausfallen als die auf Grund der Mischungsregel berechneten Kennwerte, daß

zweitens mit höherer Verdichtungs- und folglich höherer Mischtemperatur (vgl. Abb. 4) ein weiterer Anstieg (Abfall) der genannten Kennwerte feststellbar ist und daß

drittens der Untersuchungszeitpunkt des granulathaltigen Mischgutes, d.h. der Zeitpunkt der Rückgewinnung des resultierenden Bindemittels, die Kennwerte in der Art und Weise beeinflußt, daß der Erweichungspunkt RuK mit der Lagerdauer ansteigt (6 K) und die Nadelpenetration absinkt.

## 5. Untersuchungsergebnisse zu Asphalt

Wie unter 1.3 ausgeführt, wurde die Verdichtbarkeit der Mischgüter bestimmt. Ausgangsmaterial waren die in den Anlagen 9 - 11 angegebenen Materialzusammensetzungen. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefaßt (vgl. Anlage 15).

Tab. 31: Verdichtbarkeit der Mischgüter

Nr.	Mischgut	Verdichtbarkeit	Bestimmtheitsmaß
		D	B
-	-	21 Nm	%
1	Tragschichtmischgut B 0/22	22,7	88,3
2	Asphaltbinder 0/16 S	39,6	98,1
3	Splittmastixasphalt 0/11 S	36,0	86,4

Das Ziel, zwei schwer verdichtbare Mischgüter und ein leicht verdichtbares zu konzipieren, wurde erreicht.

### 5.1 Raumdichten und Hohlraumgehalt

Die Raumdichten der Marshall-Probekörper  $\rho'_{A,T}$ , der drei untersuchten Mischgutarten, der Asphalttragschicht 0/22 B, des Asphaltbinders 0/16 S und des Splittmastixasphaltes 0/11 S wurden nach DIN 1996 T. 7 (Tauchwägeverfahren, Verfahren 1996 - 07 B2-P) ermittelt.

Da auch in 2 Fällen von insgesamt 216 untersuchten Varianten, die sich 1. durch die Mischgutart, 2. durch die Bindemittelart - bzw. -sorte, 3. durch die angewandte Verdichtungstemperatur und 4. durch ihren Bindemittelgehalt unterscheiden, Hohlraumgehalte von > 12,0 Vol.-% (vgl. Abb. 15) auftraten, wurde auch die Bestimmung der Raumdichte  $\rho'_{A,A}$  nach dem Ausmeßverfahren (Verfahren 1996 - 07 F1-P) angewandt.

Die Raumdichten, d.h. das Volumen der Marshall-Probekörper, wurde generell durch Tauchwägung und Wägung nach 10-s-Abtropfen ermittelt.

In der Europäischen Normung (DIN EN 12697-6, Entwurf 12/97, englisch) wird diese Methode durch definiertes Abtupfen des entweder nur eingetauchten oder des wasser-gelagerten Probekörpers ersetzt. Des weiteren sind außer dem , auf Abmessungen beruhenden Verfahren oder Ausmeßverfahren 3 Varianten der Raumdichtebestimmung fixiert und die Dichte der Prüflüssigkeit, von Wasser bei Prüftemperatur wird berücksichtigt.

Die drei hydrostatischen Verfahren unterscheiden sich durch die spezielle Art der Volumenbestimmung. In einem Falle erfolgt die Unterwasser- oder Tauchwägung sofort (Raumdichte trocken), zum anderen wie bisher nach einer festgelegten Wasserlagerungsdauer (Raumdichte SSD, d.h. mit wassergesättigter Oberfläche) und des weiteren nach Umhüllung des Marshall-Probekörpers mit Paraffin. Letztere Methode ist sehr aufwendig und ist insbesondere bei hohlraumreichen Asphalten anzuwenden. Welche Methode jeweils anzuwenden ist, hängt von der Beschaffenheit des zu untersuchenden Asphaltes und den jeweiligen Produktnormen ab.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgte die Berechnung der Raumdichten nach folgenden z.Z. noch gültigen Gleichungen

$$\rho'_{A,T} = \frac{m_{tr}}{m_5 - m_4} \text{ in g/cm}^3 \quad (7)$$

bzw. unter Vorbehalt

$$\rho'_{A,A} = 4 \frac{m_{tr}}{d_m^2 \cdot \pi \cdot h_m} = \frac{m_{tr}}{V} \quad (8)$$

Hierin bedeuten  $m_{tr}$  die Trockenmasse des Marshall-Probekörpers,  $m_5$  die Masse des wassergelagerten Probekörpers an der Luft,  $m_4$  die Masse des Probekörpers unter Wasser,  $d_m$  der mittlere Durchmesser (3 Einzelwerte) des Probekörpers,  $h_m$  die mittlere Höhe (4 Einzelwerte) des Probekörpers und  $V$  das Volumen oder auch „Hüllvolumen“ des Probekörpers, durch Ausmessen bestimmt.

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

Die geringsten Differenzen  $\Delta\rho'_A$  ( $\rho'_{A,T} - \rho'_{A,A}$ ) traten bei der leicht verdichtbaren Asphalttragschicht 0/22 B auf, die größten beim schwer verdichtbaren Splittmastixasphalt 0/11 S.

Diese mischgutspezifischen Raumdichtedifferenzen werden auf die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit oder auch Textur der Marshall-Probekörper der drei Mischgutarten zurückgeführt.

Die durch das vorrangig angewendete Tauchwägevorgang (07 B2-P) ermittelten Raumdichtedifferenzen  $\Delta\rho'_{A,T}$  der 216 Meßreihen sind für die betrachteten 4 Einflußgrößen, Mischgutart, Bindemittelart bzw.-sorte, Verdichtungstemperatur und Bindemittelgehalt relativ geringfügig.

So treten bei Variation Bindemittelart, der Verdichtungstemperatur und des Bindemittelgehaltes maximale Differenzen für die Asphalttragschicht 0/22 B von 2,198 {1.7.1.1} bis 2,343 g/cm<sup>3</sup> {1.1.3.2}. beim Asphaltbinder 0/16 S von 2,279/2,289 {2.3.1.1/ 2.7.1.1} bis 2,382 g/cm<sup>3</sup> {2.2.3.3.} und beim Splittmastixasphalt 2,263 {3.7.1.2.} bis 2,374 g/cm<sup>3</sup> {3.2.3.2.} auf. Deshalb wurde zum besseren Verständnis anstatt der Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  in Verbindung mit der jeweils korrespondierenden Rohdichte des Asphalttes  $\rho_{R,bit}$ , die nach folgender Gleichung berechnet (DIN 1996 T.7. Verfahren 07 C1) wurde,

$$\rho_{R, bit} = \frac{100}{\frac{M}{\rho_{R, M}} + \frac{B}{\rho_B}} \quad (9)$$

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

$$H_{bit, T} = \frac{\rho_{R, bit} - \rho'_{A, T}}{\rho_{R, bit}} \cdot 100 \quad (10)$$

$$\{ H_{bit, A} = \frac{\rho_{R, bit} - \rho'_{A, A}}{\rho_{R, bit}} \cdot 100 \} \quad (11)$$

in den Abb. 15 bis 17 dargestellt.

Dabei bedeuten M Masseanteil der Mineralstoffe in M.-%,  $\rho_{R,M}$  die Rohdichte des Mineralstoffgemisches in g/cm<sup>3</sup>, B der Bindemittelgehalt in M.-% und  $\rho_B$  die Dichte des Bindemittels in g/cm<sup>3</sup>.

### 5.1.1 Asphalttragschicht 0/22 B

In folgenden Tabellen 32 bis 37 und Abb. 15 sind Raumdichten  $\rho'_{A,T}$  und daraus resultierende Hohlraumgehalte  $H_{bit,T}$  der untersuchten Asphalttragschicht unter Variation des Bindemittels, der Verdichtungstemperatur und des Bindemittelgehaltes dargestellt.

Tab. 32: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 1 (B 80)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,266	10,1	2,288	8,5	2,315	6,7
135	2,285	9,3	2,299	8,0	2,334	5,9
170	2,308	8,4	2,323	7,1	2,343	5,6
ÄVT = 135						
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,519		2,500		2,481	

Tab. 33: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,250	10,8	2,269	9,3	2,282	8,1
135	2,274	9,8	2,284	8,7	2,317	6,7
170	2,304	8,6	2,320	7,3	2,334	6,0
ÄVT = 142	2,295	9,0	2,304	7,9	2,328	6,3
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,521		2,502		2,484	

Tab. 34: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,247	10,9	2,271	9,3	2,280	8,3
135	2,246	11,0	2,256	9,9	2,274	8,5
170	2,303	8,7	2,321	7,3	2,335	6,0
ÄVT = 149	2,296	9,0	2,317	7,5	2,329	6,3
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,523		2,504		2,485	

Tab. 35: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,198	12,8	2,214	11,5	2,228	10,3
135	2,256	10,5	2,282	8,8	2,305	7,2
170	2,290	9,2	2,310	7,7	2,329	6,2
ÄVT = 174	2,257	10,5	2,268	9,4	2,283	8,1
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,521		2,502		2,484	

Tab. 36: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/1 (15 M.-% Granulat)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,245	11,3	2,258	10,1	2,284	8,3
135	2,279	9,9	2,290	8,8	2,281	8,5
170	2,300	9,1	2,293	8,7	2,318	7,0
ÄVT						
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,530		2,511		2,492	

Tab. 37: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/2 (30 M.-% Granulat)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,228	12,3	2,237	11,3	2,257	9,8
135	2,241	11,8	2,248	10,8	2,234	10,7
170	2,267	10,7	2,302	8,7	2,330	6,8
ÄVT						
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,541		2,521		2,502	

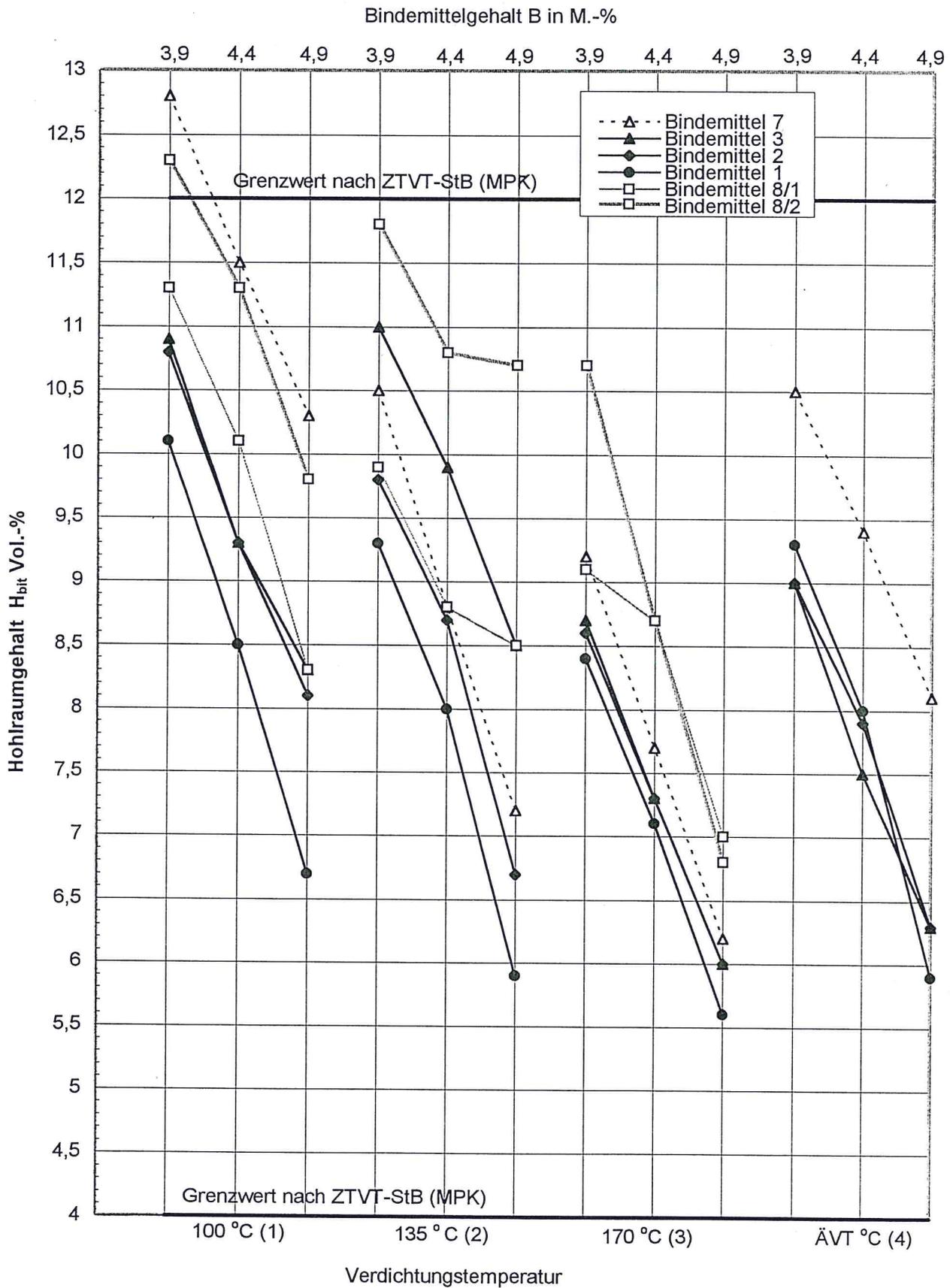


Abb. 15: Hohlraumgehalt  $H_{bit}$  einer Asphalttragsschicht 0/22 B in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungs-temperatur

Aus Abb. 15 ist ersichtlich, daß bis auf zwei Punkte von insgesamt 63 die Hohlraumgehaltsgrenzen nach ZTVT StB für eine Asphalttragschicht 0/22 B von 4,0 bis 12,0 Vol.-% eingehalten werden, obwohl die zwar zulässigen Abweichungen zur Vorzugsvariante laut Eignungsprüfung (Anlage 9) mit 4.4 M.-% B 80 ( $H_{bit,T} = 8,0$  Vol.-%) relativ groß sind. Für die 15 M.-%-granulathaltige-Asphalttragschicht 0/22 B (Anlage 9.1) ergibt sich ein Hohlraumgehalt von 8,8 Vol.-% und für die mit 30 M.-% ein Hohlraumgehalt von 10,8 Vol.-%.

### 5.1.2 Asphaltbinder 0/16 S

In folgenden Tabellen 38 bis 44 und Abb. 16 sind für die insgesamt 81 Varianten Raumdichten  $\rho'_{A,T}$  und daraus resultierende Hohlraumgehalte  $H_{bit,T}$  des untersuchten Asphaltbinders unter Variation des Bindemittels, der Verdichtungstemperatur und des Bindemittelgehaltes dargestellt.

Tab. 38: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 1 (B 80)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,297	9,8	2,313	8,4	2,306	8,0
135	2,325	8,7	2,341	7,3	2,328	7,1
170	2,326	8,6	2,329	7,8	2,346	6,4
ÄVT = 135						
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,546		2,526		2,506	

Tab. 39: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,288	10,2	2,285	9,6	2,299	8,4
135	2,326	8,7	2,334	7,7	2,354	6,2
170	2,340	8,2	2,347	7,2	2,382	5,1
ÄVT = 142	2,340	8,2	2,345	7,2	2,352	6,2
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,548		2,528		2,509	

Tab. 40: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,279	10,6	2,288	9,6	2,295	8,6
135	2,318	9,1	2,328	8,0	2,343	6,7
170	2,349	7,9	2,345	7,3	2,348	6,5
ÄVT = 149	2,331	8,6	2,330	7,9	2,356	6,2
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,549		2,530		2,511	

Tab. 41: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 4 (PmB 45 A)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,292	10,0	2,299	9,1	2,283	9,0
135	2,325	8,7	2,330	7,8	2,330	7,1
170	2,330	8,5	2,350	7,0	2,365	5,7
ÄVT = 165	2,331	8,5	2,342	7,4	2,348	6,4
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,548		2,528		2,508	

Tab. 42: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 5 (PmB 45 A)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,282	10,4	2,295	9,2	2,305	8,1
135	2,324	8,7	2,328	7,9	2,334	6,9
170	2,343	8,0	2,363	6,5	2,375	5,3
ÄVT = 159	2,337	8,2	2,332	7,7	2,333	6,9
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,546		2,527		2,502	

Tab. 43: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 6 (PmB 45 A)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,309	9,5	2,310	8,7	2,314	7,9
135	2,330	8,6	2,329	8,0	2,350	6,4
170	2,351	7,8	2,340	7,5	2,342	6,8
ÄVT = 157	2,339	8,3	2,330	7,9	2,345	6,6
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,550		2,531		2,512	

Tab. 44: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 4,5 M.-%		B = 5,0 M.-%		B = 5,5 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,289	10,1	2,291	9,4	2,293	8,6
135	2,301	9,7	2,309	8,7	2,311	7,9
170	2,330	8,5	2,337	7,5	2,341	6,7
ÄVT = 174	2,348	7,8	2,346	7,2	2,345	6,5
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,548		2,528		2,508	

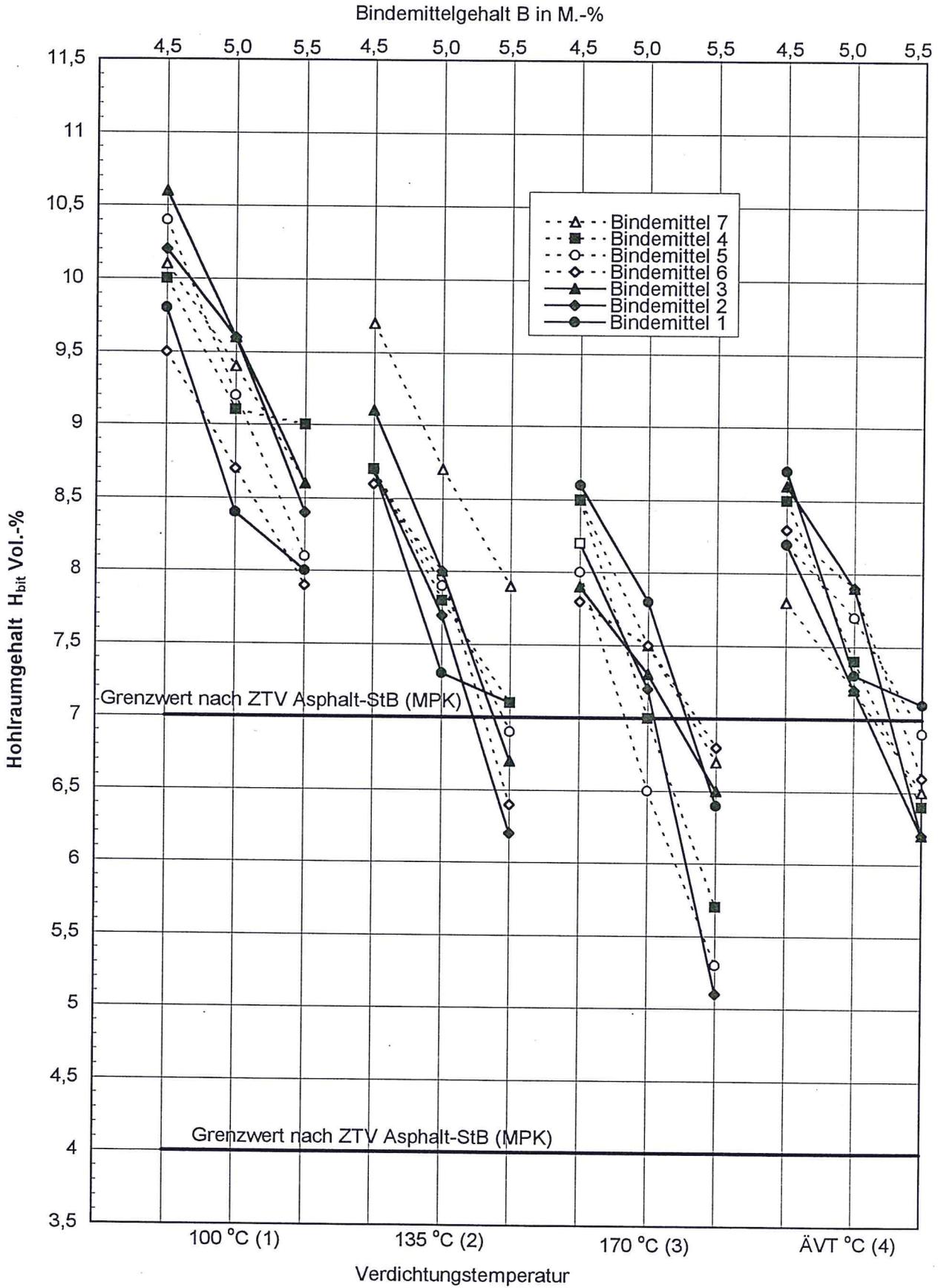


Abb. 16: Hohlraumgehalt  $H_{bit}$  von Asphaltbinder 0/16 S in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur

Aus Abb. 16 ist ersichtlich, daß für sämtliche bei Verdichtungstemperatur 1 (100°C) hergestellten 21 Varianten (7 Bindemittel, 3 Bindemittelgehalte) die Hohlraumgehaltsgrenzen nach ZTVAsphalt-StB für einen Asphaltbinder 0/16 S von 4,0 bis 7,0 Vol.-% nicht eingehalten werden.

Für die Standard-Verdichtungstemperatur 2 (135°C) erfüllen auch nur 4 der 21 Varianten den geforderten Hohlraumgehalt, wobei die aus der Eignungsprüfung (Anlage 10) resultierende Vorzugsvariante, eine Interpolationsvariante mit dem Bindemittelgehalt von 5,3 M.-% B 65 einen Hohlraumgehalt von 6,8 Vol.-% erreicht.

Bei der Verdichtungstemperatur 3 (170 °C) fallen 9 Varianten von den 21 untersuchten in den zulässigen Bereich des Hohlraumgehaltes.

Bei Äquiviskositätstemperatur ÄVT (4) erfüllen 6 von nur 20 Varianten, da für B 80 die ÄVT auch 135 °C beträgt, die Anforderungen.

Das bedeutet, daß von den untersuchten 81 Varianten 64 den oberen Grenzwert für den Hohlraumgehalt  $H_{bit,T}$  von 7,0 Vol.-% überschreiten.

Für die eingebaute Schicht sind in der ZTV Asphalt keine Forderungen bezüglich des Hohlraumgehaltes festgelegt. Nur der Verdichtungsgrad  $k$  wird mit  $\geq 97\%$  gefordert.

### 5.1.3 Splittmastixasphalt 0/11 S

In folgenden Tabellen 45 bis 50 und Abb. 17 sind Raumdichten  $\rho'_{A,T}$  und daraus resultierende Hohlraumgehalte  $H_{bit,T}$  des untersuchten Splittmastixasphaltes unter Variation des Bindemittels, der Verdichtungstemperatur und des Bindemittelgehaltes dargestellt.

Tab. 45: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 6,8 M.-%		B = 7,3 M.-%		B = 7,8 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,290	6,9	2,288	6,3	2,296	5,2
135	2,320	5,7	2,343	4,0	2,345	3,2
170	2,363	3,9	2,374	2,7	2,360	2,6
ÄVT = 142	2,352	4,4	2,351	3,7	2,347	3,1
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,459		2,441		2,423	

Tab. 46: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 6,8 M.-%		B = 7,3 M.-%		B = 7,8 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,278	7,5	2,269	7,1	2,279	6,0
135	2,318	5,8	2,324	4,9	2,336	3,7
170	2,361	4,1	2,368	3,1	2,358	2,8
ÄVT = 149	2,344	4,8	2,355	3,6	2,350	3,1
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,462		2,443		2,425	

Tab. 47: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 4 (PmB 45 A)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 6,8 M.-%		B = 7,3 M.-%		B = 7,8 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,280	7,3	2,273	6,9	2,270	6,3
135	2,289	6,9	2,302	5,7	2,307	4,8
170	2,352	4,3	2,359	3,3	2,346	3,2
ÄVT = 165	2,344	4,7	2,353	3,6	2,346	3,2
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,459		2,441		2,422	

Tab. 48: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 5 (PmB 45 A)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 6,8 M.-%		B = 7,3 M.-%		B = 7,8 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,276	7,4	2,280	6,5	2,278	5,9
135	2,302	6,3	2,311	5,2	2,331	3,7
170	2,355	4,2	2,355	3,4	2,354	2,8
ÄVT = 159	2,348	4,4	2,346	3,8	2,352	2,8
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,457		2,439		2,421	

Tab. 49: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 6 (PmB 45 A)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 6,8 M.-%		B = 7,3 M.-%		B = 7,8 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,269	7,9	2,278	6,8	2,279	6,1
135	2,309	6,2	2,313	5,4	2,313	4,7
170	2,350	4,6	2,364	3,3	2,356	2,9
ÄVT = 157	2,346	4,8	2,355	3,7	2,352	3,1
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,463		2,445		2,427	

Tab. 50: Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  aus Raumdichte  $\rho'_{A,T}$  und Rohdichte  $\rho_{R,bit}$  des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)

Verdichtungs- temperatur	Raumdichte und Hohlraumgehalt					
	B = 6,8 M.-%		B = 7,3 M.-%		B = 7,8 M.-%	
	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt	Raum- dichte	Hohlraum- gehalt
°C	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%	g/cm <sup>3</sup>	Vol.-%
100	2,266	7,8	2,263	7,3	2,271	6,3
135	2,311	6,0	2,312	5,3	2,331	3,8
170	2,336	5,0	2,340	4,1	2,345	3,2
ÄVT = 174	2,352	4,3	2,348	3,8	2,344	3,2
Rohdichte $\rho_{R,bit}$ g/cm <sup>3</sup>	2,459		2,441		2,422	

Aus Abb. 17 ist für insgesamt 72 Varianten ersichtlich, daß für sämtliche bei Verdichtungs-temperatur 1 (100°C) hergestellten 18 Varianten (6 Bindemittel, 3 Bindemittelgehalte) die sehr engen Hohlraumgehaltsgrenzen nach ZTV Asphalt-StB für einen Splittmastixasphalt 0/11 S von 3,0 bis 4,0 Vol.-% nicht eingehalten werden. Sie überschreiten den oberen Grenzwert, sind folglich zu hohlraumreich.

Für die Standard-Verdichtungstemperatur 2 (135°C) erfüllen auch nur gerade 4 der 18 Varianten den geforderten Hohlraumgehalt, die übrigen überschreiten 4,0 Vol.-%, wobei die aus der Eignungsprüfung (Anlage 11) resultierende Vorzugsvariante, eine Interpolations-variante mit dem Bindemittelgehalt von 7,5 M.-% B 65 einen Hohlraumgehalt von 3,7 Vol.-% erreicht.

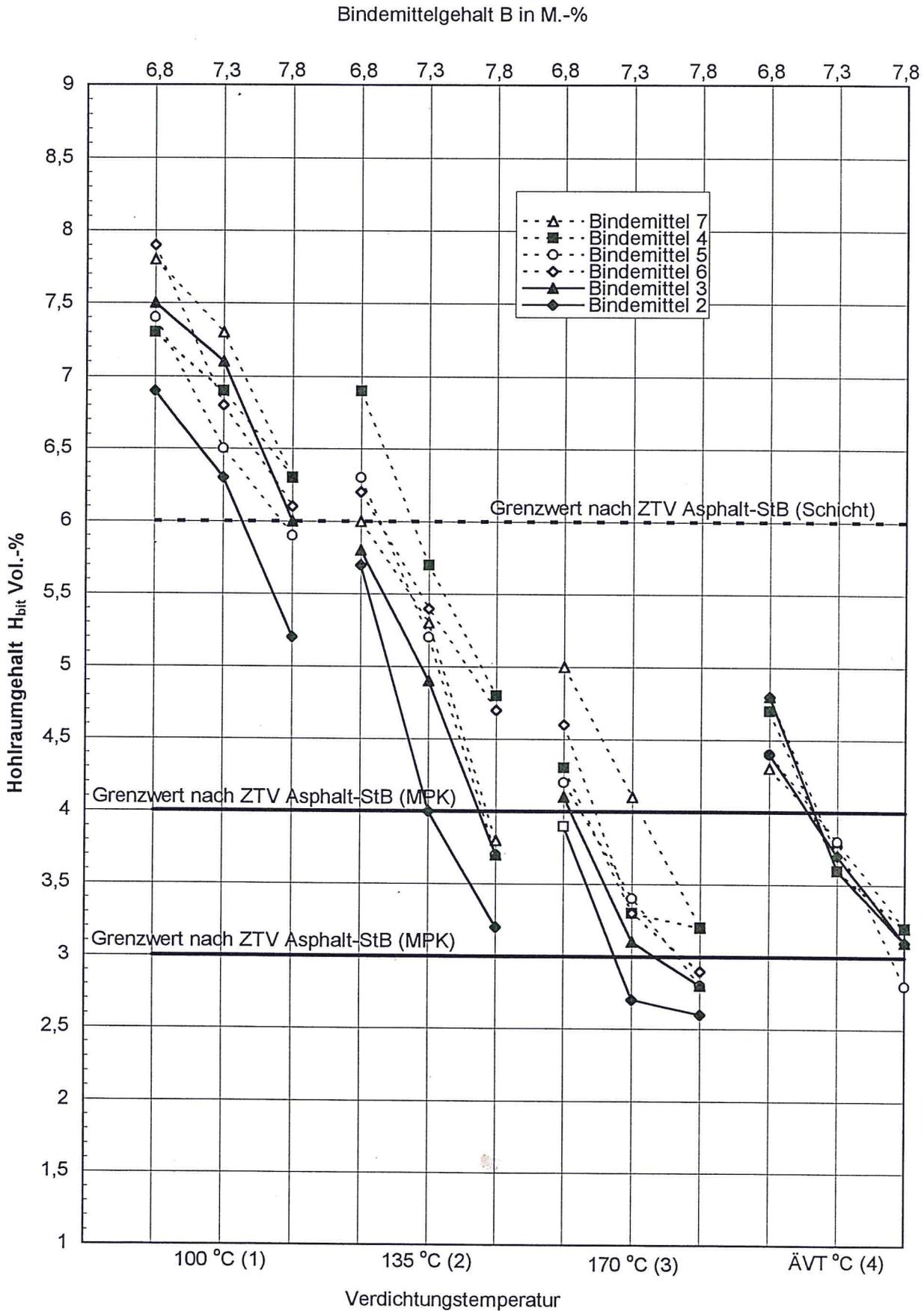


Abb. 17: Hohlraumgehalt  $H_{bit}$  von Splittmastixasphalt 0/11 S in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur

Bei der Verdichtungstemperatur 3 (170 °C) fallen 7 Varianten von den 18 untersuchten in den zulässigen Bereich des Hohlraumgehaltes, davon unterschreiten 5 Varianten den unteren Grenzwert von 3,0 Vol.-% und 6 Varianten liegen über dem zulässigen Grenzwert von 4,0 Vol.-%.

Bei Äquiviskositätstemperatur ÄVT (4) liegen 11 von 18 Varianten im zulässigen Bereich, alle 6 Varianten mit dem niedrigsten Bindemittelgehalt (1) liegen oberhalb von 4 Vol.-%, eine Variante unterschreitet den unteren Grenzwert von 3,0 Vol.-%.

Das bedeutet, daß für die 72 untersuchten Varianten, daß von 44 Meßreihen der Hohlraumgehalt  $H_{bit,T}$  von 4,0 Vol.-% überschritten und von 6 Varianten der Hohlraumgehalt von 3,0 Vol.-% unterschritten wird. Nur 22 von 72 Meßreihen erfüllen die Forderung nach ZTV Asphalt-StB an einen Splittmastixasphalt 0/11 S bezüglich des Hohlraumgehaltes  $H_{bit,T}$  von 3,0 bis 4,0 Vol.-%.

Für die eingebaute Schicht eines Splittmastixasphaltes 0/11 S beträgt die Anforderung laut ZTV Asphalt bezüglich des Hohlraumgehaltes  $\leq 6,0$  Vol.-%.

Für den Verdichtungsgrad  $k_T$  wird wie auch bei der im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Asphalttragschicht 0/22 B und des Asphaltbinders 0/16 S ein Wert von  $\geq 97$  % gefordert.

#### 5.1.4 Vergleich von verfahrensabhängig ermittelten Raumdichten und Hohlraumgehalt

An zwei ausgewählten Beispielen, d.h. zwei Mischgutarten, sollen die Unterschiede der nach dem hydrostatischen und dem auf Abmessungen basierenden Verfahren ermittelten Raumdichten  $\rho'_{A,T}$  und  $\rho'_{A,A}$  sowie der Hohlraumgehalte  $H_{bit,T}$  und  $H_{bit,A}$  dargestellt werden.

Aus folgender Tabelle ist ersichtlich, daß sich die Raumdichten und Hohlraumgehalte der leicht verdichtbaren [7] Asphalttragschicht 0/22 B (für 4 Verdichtungstemperaturen, Bindemittel-Nr. 2, mittlerer Bindemittelgehalt 2) nach den zwei genannten Verfahren bestimmt, wenig unterscheiden. Selbstverständlich sind alle mit dem Ausmeßverfahren bestimmten Dichten niedriger und Hohlraumgehalte höher als die durch Tauchwägung bestimmten, da ja von dem auf jeden Fall größeren „Hüllvolumen“ (Gl. 8) ausgegangen wird.

Deutlich hingegen sind diese Differenzen für den schwer verdichtbaren [7] Splittmastixasphalt 0/11 S, wobei ebenfalls die Raumdichten bei den 4 Verdichtungstemperaturen, bei Verwendung des gleichen Bindemittels Nr. 2 (B 65) und des mittleren Bindemittelgehaltes (2) ausgegangen wurde. Teilweise verdoppeln sich die Hohlraumgehalte beim Ausmeßverfahren.

Die in Tabelle 51 angeführten Werte der Raumdichte bzw. Hohlraumgehalte sind auch für die mit dem Ausmeßverfahren bestimmten stets Mittelwerte aus 5 Einzelwerten.

Tab. 51: Vergleich der Raumdichten und Hohlraumgehalte (verfahrensabhängig) der Asphalttragschicht 0/22 B (1.2.Ti.2) und des Splittmastixasphaltes 0/11 S (3.2.Ti.2)

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

Für die vorliegende Arbeit wurden die Ergebnisse des Ausmeßverfahrens nicht weiter verfolgt.

5.2 Marshall-Stabilität - und Fließwert nach DIN 1996 T. 14 der Asphalttragschicht 0/22 B  
Für Asphalttragschichten sind im Rahmen der Eignungs- und Kontrollprüfung außer den Anforderungen an Zusammensetzung, Hohlraum auch die Bestimmung der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes mit Einhaltung von Grenzwerten festgelegt.

Für die hier untersuchte Asphalttragschicht 0/22 B gilt nach ZTVT-StB-95, Fassung 1998 eine Mindest-Marshall-Stabilität von 4,0 kN und die Einhaltung eines Marshall-Fließwert-Bereiches von 1,5 bis 4,0 mm. Wie diese Forderungen bei den verschiedenen Varianten (6 Bindemittelsorten 3 bzw. 4 unterschiedliche Verdichtungstemperaturen, 3 Bindemittelgehalte) eingehalten wurden, soll in folgenden Tabellen 52 bis 57 und Abb. 18 dargestellt werden. Alle Werte sind Mittelwerte aus je 5 Einzelwerten.

Tab. 52: Abhängigkeit der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatifreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr: 1 (B 80)

Verdichtungs- temperatur	Marshall-Stabilitäten und Marshall-Fließwerte (Mittel aus 5 Einzelwerten)					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert
°C	kN	mm	kN	mm	kN	mm
100	4,4	1,4	4,2	1,5	4,8	1,6
135	5,8	1,3	5,6	1,5	6,4	1,5
170	7,5	1,4	7,5	1,6	7,2	1,6
ÄVT = 135						

Tab. 53: Abhängigkeit der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatifreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)

Verdichtungs- temperatur	Marshall-Stabilitäten und Marshall-Fließwerte (Mittel aus 5 Einzelwerten)					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert
°C	kN	mm	kN	mm	kN	mm
100	4,8	1,5	4,8	1,5	5,0	1,6
135	6,8	1,5	7,0	1,6	7,2	1,6
170	9,4	1,4	9,4	1,4	10,0	1,4
ÄVT = 142	7,6	1,4	7,4	1,6	7,0	1,7

Tab. 54: Abhängigkeit der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatfreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)

Verdichtungs- temperatur	Marshall-Stabilitäten und Marshall-Fließwerte (Mittel aus 5 Einzelwerten)					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert
°C	kN	mm	kN	mm	kN	mm
100	8,4	1,9	8,4	2,1	8,0	2,1
135	8,0	1,7	7,0	1,8	7,4	2,0
170	11,0	1,5	11,0	1,6	10,5	1,7
ÄVT = 149	9,2	1,5	9,6	1,6	8,8	1,7

Tab. 55: Abhängigkeit der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatfreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)

Verdichtungs- temperatur	Marshall-Stabilitäten und Marshall-Fließwerte (Mittel aus 5 Einzelwerten)					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert
°C	kN	mm	kN	mm	kN	mm
100	6,4	2,1	6,2	2,2	6,6	2,3
135	10,5	1,8	10,0	1,7	11,0	2,0
170	14,5	1,8	13,0	1,7	15,0	1,9
ÄVT = 174,5	13,5	1,7	13,0	1,8	13,5	1,9

Tab. 56: Abhängigkeit der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes der granulathaltigen (15 M.-%) Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/1

Verdichtungs- temperatur	Marshall-Stabilitäten und Marshall-Fließwerte (Mittel aus 5 Einzelwerten)					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert
°C	kN	mm	kN	mm	kN	mm
100	4,6	1,7	4,5	1,7	4,8	1,6
135	7,0	1,5	6,4	1,6	5,4	1,6
170	8,0	1,6	7,4	1,7	7,0	1,6
ÄVT						

Tab. 57: Abhängigkeit der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes der granulathaltigen (30 M.-%) Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/2

Verdichtungs- temperatur	Marshall-Stabilitäten und Marshall-Fließwerte (Mittel aus 5 Einzelwerten)					
	B = 3,9 M.-%		B = 4,4 M.-%		B = 4,9 M.-%	
	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert	Stabilität	Fließwert
°C	kN	mm	kN	mm	kN	mm
100	4,7	1,8	3,9	1,8	3,9	2,0
135	7,5	1,7	6,8	1,7	5,6	1,6
170	7,2	2,0	7,6	1,8	9,4	2,0
ÄVT						

Wenn die relativ geringen Veränderungen der Marshall-Stabilität in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt im untersuchten Bereich nicht berücksichtigt werden, kann eine deutliche Tendenz der Erhöhung der Marshall-Stabilität mit steigender Verdichtungstemperatur beobachtet werden. Besonders deutlich tritt dieser Effekt beim Verwendung von Bitumen Nr. 7 (PmB 25) auf.

Die Verdichtung bei Äquiviskositätstemperatur ergibt besonders hohe Werte der Marshall-Stabilität für mit PmB 25 hergestellten Asphalt, während die mit Straßenbaubitumen hergestellten Asphalte mit zunehmender Härte vom B 80 über B 65 zum B 45 höhere Stabilitäten ergeben, wobei mit zunehmendem Bindemittelgehalt eine Angleichung erfolgt.

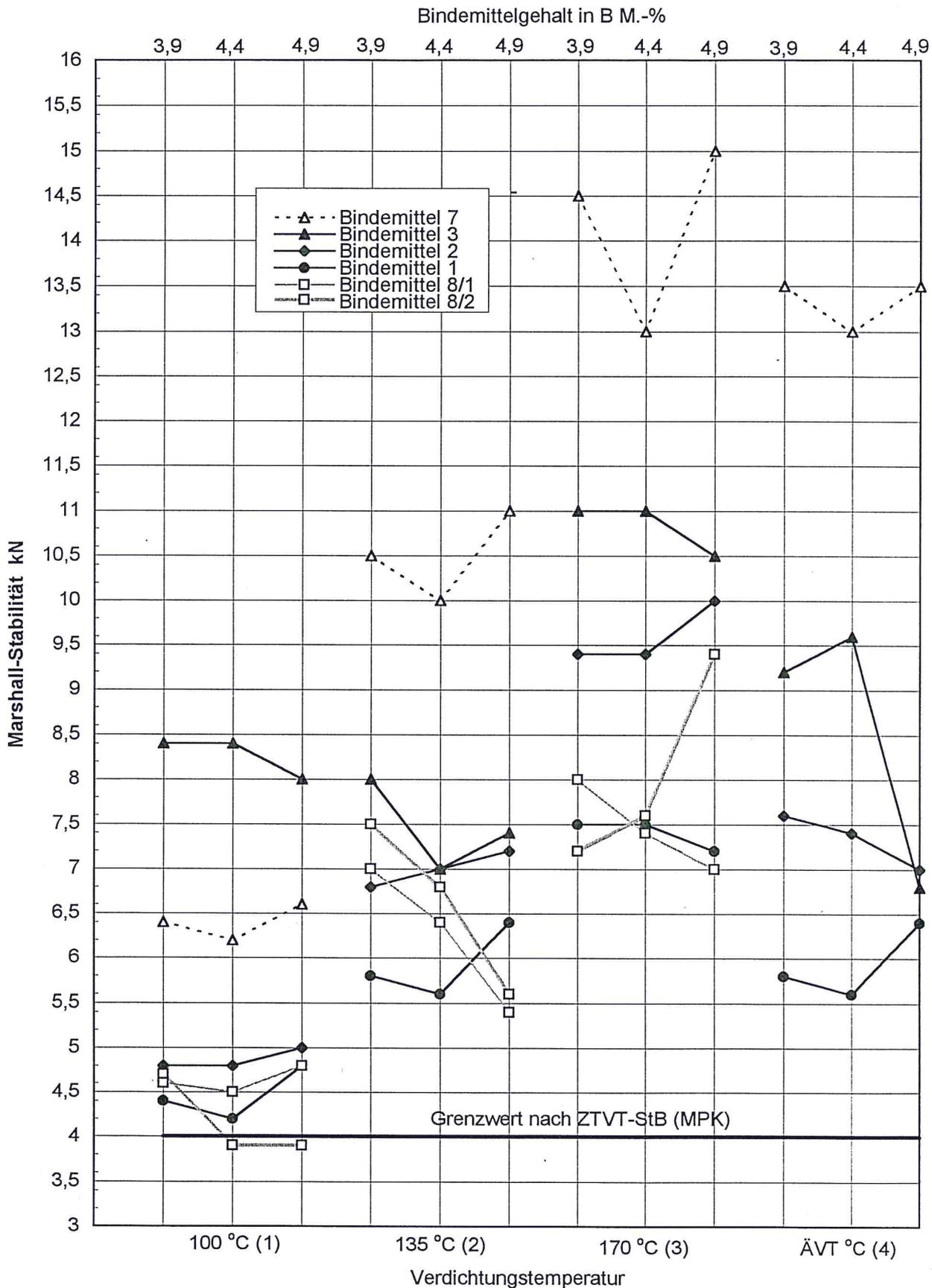


Abb. 18: Marshall-Stabilität einer Asphalttragsschicht 0/22 B in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur

## 6. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Diskussion

Die Berechnung des Verdichtungsgrades  $k$  in % erfolgt nach der Gleichung

$$k = \frac{\rho_{A,T}}{\rho'_{A,T}} 100 \quad \text{in \%} \quad (12)$$

In dieser Gleichung bedeuten:

$\rho_{A,T}$  = Raumdichte am Ausbaustück nach DIN 1996, T. 7, Abschnitt 5 (07 B2)

$\rho'_{A,T}$  = Raumdichte am Probekörper nach Marshall nach DIN 1996, T. 7, Abschnitt 5 (07 B2)

In der Praxis wird so vorgegangen, daß der Verdichtungsgrad  $k$  aus dem Verhältnis der Raumdichte am Ausbaustück zu der Raumdichte am Marshallprobekörper aus der zugehörigen Mischgutprobe berechnet wird. Mischgutprobe und Ausbaustück sollen aus ein und derselben Mischgutlieferung (Ladung eines Transportfahrzeuges) stammen.

Nur im Ausnahmefall darf  $\rho'_{A,T}$  an Probekörpern ermittelt werden, die aus dem wiedererwärmten Asphalt der Ausbaustücke hergestellt wurden.

Für die Präzision des Verfahrens der Raumdichtebestimmung gelten folgende Festlegungen:

### 1. Zulässige Spannweite

Die zulässige Spannweite ist abhängig von der Standardabweichung für Mehrfachbestimmungen  $\sigma_a$  (DIN 1996, Teil 1). Für zwei Einzelbestimmungen beträgt

$$a_{zul} = 2,77 \sigma_a \quad (13)$$

### 2. Wiederholstandardabweichung für Probekörper

$$\sigma'_T = (0,006 + 0,0001 A) \text{ in g/cm}^3 \quad (14)$$

$A$  = Siebrückstand der Mineralstoffe auf dem 11,2- mm- Sieb in M.-%

### 3. Wiederholstandardabweichung für Ausbaustücke

$$\sigma'_T = (0,006 + 0,0001 A) \text{ in g/cm}^3 \quad (14)$$

### 4. Die Vertrauensbereiche sind abhängig von der Anzahl der für die Mittelwertbildung herangezogen Einzelwerte.

Wie aus den Anlagen 16 bis 18 hervorgeht, wurden für die Bildung der Prüfergebnisse je 5 Einzelwerte herangezogen.

Betrachten wir zunächst die Spannweiten der einzelnen Meßreihen der Asphalte, so finden wir die in Tab. 58 angegebenen Größen.

Tab.58: Extremwerte der Spannweiten der Meßreihen

Mischgutart	Minimalwerte der Spannweiten	Maximalwerte der Spannweiten	Mittelwerte der Spannweiten
1	2	3	4
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Tragschichtmischgut 0/22 B (einschl. RC- Varianten)	0,005	0,047	0,021
Asphaltbinder 0/16 S	0,008	0,052	0,022
Splittmastixasphalt 0/11 S	0,002	0,037	0,023

Im Falle des Splittmastixasphaltes wird der Wert von 0,030 g/cm<sup>3</sup> in 9 Meßreihen von 72 (das sind 12,5 %) überschritten. Im Falle des Asphaltbinders wird der Wert von 0,030 g/cm<sup>3</sup> in 9 Meßreihen von 81 (das sind 11,1 %) und im Falle des Tragschichtasphaltes in 5 Fällen von 63 (das sind 7,9 %) überschritten. Für eine Aussonderung nach einer statistischen Ausreißerregel bestand aber keine Veranlassung. Betrachtet man die Standardabweichungen für die einzelnen Meßreihen der Mischgüter, so ergeben sich die in Tab. 59 angegebenen Größen:

Tab. 59: Standardabweichungen

Mischgutart	Minimalwerte der Standardabweichungen	Maximalwerte der Standardabweichungen	Mittelwerte der Standardabweichung
1	2	3	4
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Tragschichtmischgut 0/22 B (einschl. RC- Varianten)	0,002	0,015	0,0073
Asphaltbinder 0/16 S	0,004	0,022	0,0078
Splittmastixasphalt 0/11 S	0,001	0,014	0,0083

Um die mittleren Standardabweichungen der Tabelle 59 (Spalte 4) mit den Standardabweichungen unter Wiederholbedingungen, die im Abschnitt 5.7.2. der DIN 1996, Teil 7, angegeben sind, zu vergleichen, erfolgt deren Berechnung in Tabelle 60.

Tab. 60: Berechnung der Wiederholstandardabweichungen

Mischgutart	Anteil > 11,2 A	0,0001 A	$\sigma'_r$
1	2	3	4
	M.- %	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Tragschichtmischgut 0/22 B	22,0	0,0022	0,0082
Asphaltbinder 0/16 S	21,0	0,0021	0,0081
Splittmastixasphalt 0/11 S	5,6	0,0006	0,0066

Tab.61 zeigt den Vergleich der Standardabweichungen

Tab.61: Standardabweichungen im Vergleich

Mischgutart	Wiederholungsstandardabweichungen $\sigma'_r$ nach Tabelle 60	mittlere Standardabweichungen nach Tabelle 59
	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
Tragschichtmischgut 0/22 B	0,0082	0,0073
Asphaltbinder 0/16 S	0,0081	0,0078
Splittmastixasphalt 0/11 S	0,0066	0,0083

Wie sich zeigt, wurde im Falle des Splittmastixasphaltes die nach der DIN 1996, Teil 7, berechnete Wiederholstandardabweichung überschritten. Im Falle des Asphaltbinders und der Asphalttragschicht liegt sie unter dem berechneten Wert der DIN 1996, Teil 7. Das ist insofern bemerkenswert, weil mit großer Sorgfalt gearbeitet worden ist. Die Erklärung liegt in der Textur des Splittmastixasphaltes begründet, die bei der Volumenbestimmung zu größeren Abweichungen führt.

Im Rahmen der Forschungsarbeit sollte festgestellt werden, inwieweit die höhere Viskosität der polymermodifizierten Bitumen und Abweichungen von der Verdichtungstemperatur zu Abweichungen bei der Ermittlung des Verdichtungsgrades  $k$  führen könnten.

Bezugswert ist die Raumdichte  $\rho'_{A,T}$ , d.h. der am Marshall-Probekörper durch Tauchwägung ermittelte Wert. Diese am Marshall- Probekörper ermittelte Größe müßte mit der im Rahmen der Eignungsprüfung festgestellten Raumdichte übereinstimmen. Durch Verschiebungen im Bereich der mittleren Dichte der Mineralstoffe ( $\rho_{R,M}$ ) in der Praxis kann es über längere Zeit zu Abweichungen kommen. Diese Abweichungen können für die vorliegenden Betrachtungen ausgeschlossen werden. Einflüsse die in der Gerätetechnik begründet sind, wie Veränderungen durch Verschleiß u.a. können mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Es wurde immer dasselbe Marshall- Verdichtungsgerät genutzt. Bei den folgenden Betrachtungen sind die Bezugswerte der Raumdichte wie folgt festgelegt worden:

In der Reihe der vier Verdichtungstemperaturen wurde der Wert 135 ° C als Bezugswert gewählt, weil diese Verdichtungstemperatur nach DIN 1996, Teil 4, vorgeschrieben ist.

Die Raumdichten, die zur Ermittlung der Verdichtungsgrade an den Ausbaustücken zu bestimmen sind, können für die Betrachtungen nicht mit herangezogen werden, da sie von betriebsbedingten Faktoren abhängen, wie z.B. ungenügende Verdichtung und zu stark abgekühltes Mischgut. Angenommen, die technologischen Bedingungen werden eingehalten,

dann werden die in der Eignungsprüfung angegebenen Raumdichten im allgemeinen auch erreicht. Der Verdichtungsgrad beträgt in diesem Fall 100 %.

Hier geht es nur um die Fehler, die durch die Herstellung der Marshallprobekörper im Labor hervorgerufen werden, speziell durch Veränderung der Viskosität der Bitumen. Es läßt sich also ein Quotient bilden, der das Verhältnis der Raumdichten bei variabler Verdichtungstemperatur  $T_i$  zu der Dichte bei Normverdichtungstemperatur (135 °C) darstellt.

$$Q_T = \frac{\rho'_{A,T(T_i)}}{\rho'_{A,T(135^\circ)}} \quad (15)$$

Der für jede der 216 Meßreihen zutreffende Bindemittelgehalt ist konstant. Die Ergebnisse dieser Betrachtungsweise sind in den Tabellen 62 - 80 dargestellt. Daraus ergibt sich die bekannte Tatsache, daß sich zu niedrige Verdichtungstemperaturen bei der Probekörperherstellung im Labor für den Auftragnehmer günstig auswirken, während zu hohe Verdichtungstemperaturen bei der Probekörperherstellung das Gegenteil bewirken. Die Problematik ist insofern kompliziert, weil auch Viskositätserhöhungen des Bitumens im Verlaufe des Misch- und Einbauprozesses sowie das Wiedererwärmen der Mischgüter diesen Faktor überlagern können. Wenn diese Einflüsse ausgeschaltet werden können, bewegen sich die Abweichungen im Verdichtungsgrad in der Größenordnung bis -4,1 % (Asphalttragschicht mit 30 % Granulat 1.8/2.3.3.) und überschreiten damit den Grenzwert von 97 % der Bezugsdichte, der für die meisten Asphalte toleriert wird. Unterschreitungen führen nach Berücksichtigung der Toleranzen zu Abzügen.

In den Tabellen 62 bis 80 sind die Quotienten  $Q_T$  berechnet worden.

Tab.62 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 1)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	$Q_T$	Einfluß auf k %
1	100	3,9	2,266	0,992	0,8
		4,4	2,288	0,996	0,4
		4,9	2,315	0,992	0,8
2	135	3,9	2,285	1,000	0
		4,4	2,299	1,000	0
		4,9	2,334	1,000	0
3	170	3,9	2,308	1,010	-1,0
		4,4	2,323	1,011	-1,1
		4,9	2,343	1,004	-0,4

Tab. 63 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 2)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	3,9	2,250	0,989	1,1
		4,4	2,269	0,993	0,7
		4,9	2,282	0,985	1,5
2	135	3,9	2,274	1,000	0
		4,4	2,284	1,000	0
		4,9	2,317	1,000	0
4	ÄVT = 142	3,9	2,295	1,009	-0,9
		4,4	2,304	1,009	-0,9
		4,9	2,328	1,005	-0,5
3	170	3,9	2,304	1,013	-1,3
		4,4	2,320	1,016	-1,6
		4,9	2,334	1,007	-0,7

Tab. 64 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 3)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>		%
1	100	3,9	2,247	1,000	0
		4,4	2,271	1,007	-0,7
		4,9	2,280	1,003	-0,3
2	135	3,9	2,246	1,000	0
		4,4	2,256	1,000	0
		4,9	2,274	1,000	0
4	ÄVT = 149	3,9	2,296	1,022	-2,2
		4,4	2,317	1,027	-2,6
		4,9	2,329	1,024	-2,3
3	170	3,9	2,303	1,025	-2,5
		4,4	2,321	1,029	-2,8
		4,9	2,335	1,027	-2,6

Tab. 65 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 7)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>		%
1	100	3,9	2,198	0,974	2,6
		4,4	2,214	0,970	3,0
		4,9	2,228	0,967	3,4
2	135	3,9	2,256	1,000	0
		4,4	2,282	1,000	0
		4,9	2,305	1,000	0
3	170	3,9	2,290	1,015	-1,5
		4,4	2,310	1,012	-1,2
		4,9	2,327	1,010	-1,0
4	ÄVT = 174	3,9	2,257	1,000	0
		4,4	2,268	0,994	0,6
		4,9	2,283	0,990	1,0

Tab. 66 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 8/1, 15 % Asphaltgranulat)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>T</sub> -	Einfluß auf k %
1	100	3,9	2,245	0,985	1,5
		4,4	2,258	0,986	1,4
		4,9	2,284	1,001	-0,1
2	135	3,9	2,279	1,000	0
		4,4	2,290	1,000	0
		4,9	2,281	1,000	0
3	170	3,9	2,300	1,009	-0,9
		4,4	2,293	1,000	0
		4,9	2,318	1,016	-1,6

Tab. 67 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 8/2, 30 % Asphaltgranulat)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>T</sub> -	Einfluß auf k %
1	100	3,9	2,228	0,994	0,6
		4,4	2,237	0,995	0,5
		4,9	2,257	1,010	-0,1
2	135	3,9	2,241	1,000	0
		4,4	2,248	1,000	0
		4,9	2,234	1,000	0
3	170	3,9	2,267	1,011	-1,1
		4,4	2,302	1,024	-2,2
		4,9	2,330	1,043	-4,1

Tab. 68 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 1)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>T</sub> -	Einfluß auf k %
1	100	4,5	2,297	0,988	1,2
		5,0	2,313	0,988	1,2
		5,5	2,306	0,991	0,9
2	135	4,5	2,325	1,000	0
		5,0	2,341	1,000	0
		5,5	2,328	1,000	0
3	170	4,5	2,326	1,000	0
		5,0	2,329	0,995	0,5
		5,5	2,346	1,008	-0,8

Tab. 69 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 2)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>		%
1	100	4,5	2,288	0,983	1,7
		5,0	2,285	0,979	2,1
		5,5	2,299	0,977	2,3
2	135	4,5	2,326	1,000	0
		5,0	2,334	1,000	0
		5,5	2,354	1,000	0
4	ÄVT = 142	4,5	2,340	1,006	-0,6
		5,0	2,345	1,005	-0,5
		5,5	2,352	0,999	-0,1
3	170	4,5	2,340	1,006	-0,6
		5,0	2,347	1,006	-0,6
		5,5	2,382	1,012	-1,2

Tab. 70 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 3)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>		%
1	100	4,5	2,279	0,983	1,7
		5,0	2,288	0,983	1,7
		5,5	2,295	0,979	2,1
2	135	4,5	2,318	1,000	0
		5,0	2,328	1,000	0
		5,5	2,343	1,000	0
4	ÄVT = 149	4,5	2,331	1,006	-0,6
		5,0	2,330	1,001	-0,1
		5,5	2,356	1,006	-0,6
3	170	4,5	2,349	1,013	-1,3
		5,0	2,345	1,007	-0,7
		5,5	2,348	1,002	-0,2

Tab. 71 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 4)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	4,5	2,292	0,986	1,4
		5,0	2,299	0,987	1,3
		5,5	2,283	0,980	2,0
2	135	4,5	2,325	1,000	0
		5,0	2,330	1,000	0
		5,5	2,330	1,000	0
4	ÄVT = 165	4,5	2,331	1,003	-0,3
		5,0	2,342	1,006	-0,6
		5,5	2,348	1,007	-0,7
3	170	4,5	2,330	1,002	-0,2
		5,0	2,350	1,009	-0,9
		5,5	2,365	1,015	-1,5

Tab. 72 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 5)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	4,5	2,282	0,982	1,8
		5,0	2,295	0,986	1,4
		5,5	2,305	0,988	1,2
2	135	4,5	2,324	1,000	0
		5,0	2,328	1,000	0
		5,5	2,334	1,000	0
4	ÄVT = 159	4,5	2,337	1,006	-0,6
		5,0	2,332	1,002	-0,2
		5,5	2,333	0,999	0,1
3	170	4,5	2,343	1,008	-0,8
		5,0	2,363	1,015	-1,5
		5,5	2,375	1,018	-1,8

Tab. 73 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 6)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	4,5	2,309	0,991	0,9
		5,0	2,310	0,992	0,8
		5,5	2,314	0,984	1,6
2	135	4,5	2,330	1,000	0
		5,0	2,329	1,000	0
		5,5	2,350	1,000	0
4	ÄVT = 157	4,5	2,339	1,004	-0,4
		5,0	2,330	1,000	0
		5,5	2,345	0,998	0,2
3	170	4,5	2,351	1,009	-0,9
		5,0	2,340	1,005	-0,5
		5,5	2,342	0,997	0,3

Tab. 74 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 7)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	4,5	2,289	0,995	0,5
		5,0	2,291	0,993	0,7
		5,5	2,293	0,992	0,8
2	135	4,5	2,301	1,000	0
		5,0	2,309	1,000	0
		5,5	2,311	1,000	0
3	170	4,5	2,330	1,012	-1,2
		5,0	2,337	1,012	-1,2
		5,5	2,341	1,013	-1,3
4	ÄVT = 174	4,5	2,348	1,020	-2,0
		5,0	2,346	1,016	-1,6
		5,5	2,345	1,015	-1,5

Tab. 75 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 2)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>T</sub>	Einfluß auf k %
1	100	6,8	2,290	0,987	2,3
		7,3	2,288	0,976	2,5
		7,8	2,296	0,979	2,7
2	135	6,8	2,320	1,000	0
		7,3	2,343	1,000	0
		7,8	2,345	1,000	0
4	ÄVT = 142	6,8	2,352	1,014	-1,4
		7,3	2,351	1,003	-0,3
		7,8	2,347	1,001	-0,1
3	170	6,8	2,363	1,018	-1,8
		7,3	2,374	1,013	-1,3
		7,8	2,360	1,006	0

Tab. 76 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 3)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>T</sub>	Einfluß auf k %
1	100	6,8	2,278	0,983	1,7
		7,3	2,269	0,976	2,4
		7,8	2,279	0,976	2,4
2	135	6,8	2,318	1,000	0
		7,3	2,324	1,000	0
		7,8	2,336	1,000	0
4	ÄVT = 149	6,8	2,344	1,011	-1,1
		7,3	2,355	1,013	-1,3
		7,8	2,350	1,006	-0,6
3	170	6,8	2,361	1,019	-1,9
		7,3	2,368	1,019	-1,9
		7,8	2,358	1,009	-0,9

Tab. 77 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 4)

Nr.	Verdichtungstemperatur °C	Bindemittelgehalt M-%	Raumdichte $\rho'_{A,T}$ g/cm <sup>3</sup>	Q <sub>T</sub>	Einfluß auf k %
1	100	6,8	2,280	0,996	0,4
		7,3	2,273	0,987	1,3
		7,8	2,270	0,984	1,6
2	135	6,8	2,289	1,000	0
		7,3	2,302	1,000	0
		7,8	2,307	1,000	0
4	ÄVT = 165	6,8	2,344	1,024	-2,3
		7,3	2,353	1,022	-2,2
		7,8	2,346	1,017	-1,7
3	170	6,8	2,352	1,028	-2,7
		7,3	2,359	1,025	-2,4
		7,8	2,346	1,017	-1,7

Tab. 78 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 5)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	6,8	2,276	0,989	1,1
		7,3	2,280	0,986	1,4
		7,8	2,278	0,977	2,4
2	135	6,8	2,302	1,000	0
		7,3	2,311	1,000	0
		7,8	2,331	1,000	0
4	ÄVT = 159	6,8	2,348	1,020	-2,0
		7,3	2,346	1,015	-1,5
		7,8	2,352	1,009	-0,9
3	170	6,8	2,355	1,023	-2,3
		7,3	2,355	1,019	-1,9
		7,8	2,354	1,010	-1,0

Tab. 79 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 6)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	6,8	2,269	0,983	1,7
		7,3	2,278	0,985	1,5
		7,8	2,279	0,985	1,5
2	135	6,8	2,309	1,000	0
		7,3	2,313	1,000	0
		7,8	2,313	1,000	0
4	ÄVT = 157	6,8	2,346	1,016	-1,6
		7,3	2,355	1,018	-1,8
		7,8	2,352	1,017	-1,7
3	170	6,8	2,350	1,018	-1,8
		7,3	2,364	1,022	-2,2
		7,8	2,356	1,019	-1,9

Tab. 80 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 7)

Nr.	Verdichtungstemperatur	Bindemittelgehalt	Raumdichte $\rho'_{A,T}$	$Q_T$	Einfluß auf k
	°C	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
1	100	6,8	2,266	0,981	1,9
		7,3	2,263	0,979	2,1
		7,8	2,271	0,974	2,6
2	135	6,8	2,311	1,000	0
		7,3	2,312	1,000	0
		7,8	2,331	1,000	0
3	170	6,8	2,336	1,011	-1,1
		7,3	2,340	1,012	-1,2
		7,8	2,345	1,006	-0,6
4	ÄVT = 174	6,8	2,352	1,018	-1,8
		7,3	2,349	1,016	-1,6
		7,8	2,344	1,006	-0,6

Während der Einfluß der Verdichtungstemperatur auf den Verdichtungsgrad damit abschätzbar ist, wäre noch zu prüfen, inwieweit sich der Einfluß der Viskosität auf den Verdichtungsgrad auswirkt. Hierbei wird methodisch so vorgegangen, daß als Bezugswert die Raumdichte des Marshall- Probekörpers eingesetzt wird, die sich bei 135 °C unter Verwendung eines B 65 (Bitumen Nr. 2) ergibt. Das B 80 (Bitumen Nr. 1) wurde deshalb nicht gewählt, weil der Einsatz in den betrachteten Fällen nur in der Asphalttragschicht und ergänzend als unübliche Variante bei dem Asphaltbinder erfolgt.

$$Q_B = \frac{\rho'_{A,T(135^\circ, B_n)}}{\rho'_{A,T(135^\circ, B65)}} \quad (16)$$

B<sub>n</sub> soll die verschiedenen Bitumen bedeuten (1 ≤ n ≤ 8).

Die Ergebnisse sind in Tab. Nr. 81 bis 83 dargestellt. Zu beachten ist, daß nur bei Splittmastixasphalt 0/11 S Bitumen 1 nicht berücksichtigt wurde.

Tab. 81 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B)

Bindemittelsorte	Bindemittelgehalt	Raumdichte ρ'_{A,T}	Q <sub>B</sub>	Einfluß auf k
Nr.	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
Bitumen 1	3,9	2,285	1,005	-0,5
	4,4	2,299	1,006	-0,6
	4,9	2,334	1,007	-0,7
Bitumen 2	3,9	2,274	1,000	0
	4,4	2,284	1,000	0
	4,9	2,317	1,000	0
Bitumen 3	3,9	2,246	0,988	1,2
	4,4	2,256	0,987	1,3
	4,9	2,274	0,981	1,9
Bitumen 7	3,9	2,256	0,992	0,8
	4,4	2,282	0,999	0,1
	4,9	2,305	0,995	0,5
Bitumen 8/1	3,9	2,279	1,003	-0,3
	4,4	2,290	1,003	-0,3
	4,9	2,281	0,984	1,6
Bitumen 8/2	3,9	2,241	0,985	1,5
	4,4	2,248	0,984	1,6
	4,9	2,234	0,964	3,6

Tab. 82 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S)

Bindemittelsorte	Bindemittelgehalt	Raumdicke $\rho'_{A,T}$	$Q_B$	Einfluß auf k
Nr.	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
Bitumen 1	4,5	2,325	0,999	0,1
	5,0	2,341	1,003	-0,3
	5,5	2,328	0,989	1,1
Bitumen 2	4,5	2,326	1,000	0
	5,0	2,334	1,000	0
	5,5	2,354	1,000	0
Bitumen 3	4,5	2,318	0,997	0,3
	5,0	2,328	0,997	0,3
	5,5	2,343	0,995	0,5
Bitumen 4	4,5	2,325	0,999	0,1
	5,0	2,330	0,998	0,2
	5,5	2,330	0,990	1,0
Bitumen 5	4,5	2,324	0,999	0,1
	5,0	2,328	0,997	0,3
	5,5	2,334	0,992	0,8
Bitumen 6	4,5	2,330	1,002	-0,2
	5,0	2,329	0,998	0,2
	5,5	2,350	0,998	0,2
Bitumen 7	4,5	2,301	0,989	1,1
	5,0	2,309	0,989	1,1
	5,5	2,311	0,982	1,8

Tab. 83 Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S)

Bindemittelsorte	Bindemittelgehalt	Raumdicke $\rho'_{A,T}$	$Q_B$	Einfluß auf k
Nr.	M-%	g/cm <sup>3</sup>	-	%
Bitumen 2	6,8	2,320	1,000	0
	7,3	2,343	1,000	0
	7,8	2,345	1,000	0
Bitumen 3	6,8	2,318	0,999	0,1
	7,3	2,324	0,991	0,9
	7,8	2,336	0,996	0,4
Bitumen 4	6,8	2,289	0,987	1,3
	7,3	2,302	0,982	1,8
	7,8	2,307	0,984	1,6
Bitumen 5	6,8	2,302	0,992	0,8
	7,3	2,312	0,986	1,4
	7,8	2,331	0,994	0,6
Bitumen 6	6,8	2,309	0,995	0,5
	7,3	2,313	0,987	1,3
	7,8	2,313	0,986	1,4
Bitumen 7	6,8	2,311	0,996	0,4
	7,3	2,312	0,987	1,3
	7,8	2,331	0,994	0,6

In Abhängigkeit von der Mischgutart liegen die maximalen Abweichungen infolge der Veränderung der Viskosität zwischen 1,8 % absolut (Asphaltbinder 0/16 S) und 3,6 % absolut (Tragschichtmischgut 0/22 B mit 30 M.-% Granulat) bzw. 2,3 % absolut (Splittmastixasphalt 0/11 S). Da in der Praxis die Art des Bindemittels in den Eignungsprüfungen berücksichtigt ist, wären andere Gründe für die Viskositätsveränderung heranzuziehen.

Einige Fehlerbetrachtungen sollen diesen Abschnitt abrunden.

Zunächst wird vorausgesetzt, daß es sich bei den vorgenommenen Untersuchungen um *zufällige* Fehler handelt. Die große Sorgfalt, die bei der Herstellung der Marshall-Probekörper aufgewandt wurde, berechtigt zu dieser Annahme.

Nach Gauß wird die Verteilung zufälliger Fehler durch den Mittelwert und die Standardabweichung charakterisiert.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (17)$$

$\bar{x}$  arithmetischer Mittelwert

$x_i$  Einzelwerte  $i = (1 \dots n)$

$n$  Anzahl der Einzelwerte

Als Maß für die mittlere Streuung der Einzelwerte  $x_i$  um den Mittelwert  $\bar{x}$  ist der mittlere Fehler der Einzelmessung bzw. die Standardabweichung definiert:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} \quad (18)$$

Der Fehler  $s$  ist ein absoluter Fehler und hat die gleiche Maßeinheit wie der Mittelwert. Um die Genauigkeit verschiedener Messungen miteinander vergleichen zu können, wird der prozentuale Fehler oder Variationskoeffizient eingeführt.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} 100 \quad \text{in \%} \quad (19)$$

Trägt man in einer grafischen Darstellung die Häufigkeit der Meßwerte ( $n \geq 100$ ) über den Meßwerten auf, so erhält man im allgemeinen eine Glockenkurve. Für ausreichend viele Meßwerte ergibt sich die Form der Gauß'schen Normalverteilung. Ist die Zahl der Wiederholungen eher klein, so wird die Form der Normalverteilung im allgemeinen nicht erreicht. Die Vertrauensgrenzen werden dann abhängig von der Anzahl der Meßwerte und der Standardabweichung.

Ist eine Größe  $z$  nicht direkt meßbar, aber ein funktionaler Zusammenhang  $f(x,y)$  mit einzelnen, meßbaren Größen  $x$  und  $y$  gegeben, so erhält man den Mittelwert nach:

$$\bar{z} = f(x,y) \quad (20)$$

Der mittlere Fehler des Funktionsmittelwertes folgt aus dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$s_z = \sqrt{\left(\frac{\delta f}{\delta x}\right)^2 s_{x^2} + \left(\frac{\delta f}{\delta y}\right)^2 s_{y^2}} \quad (21)$$

Geht man von der Gleichung zur Berechnung des Verdichtungsgrades (das T als Index für Tauchwägung wird aus Gründen der Vereinfachung weggelassen)

$$k = \frac{\rho_A}{\rho'_A} 100 \quad \text{in \%} \quad (12)$$

aus und differenziert nach den meßbaren Größen  $\rho_A$  und  $\rho'_A$ , so ergibt sich:

$$\frac{\delta k}{\delta \rho_A} = \frac{100}{\rho'_A} \quad (22)$$

$$\frac{\delta k}{\delta \rho'_A} = -\frac{100 \rho_A}{\rho'^2_A} \quad (23)$$

in die Gleichung für den mittleren Fehler eingesetzt wird

$$s_k = \sqrt{\frac{100^2}{\rho'_A{}^2} s_{\rho_A}{}^2 + \frac{100^2 \rho_A{}^2}{\rho'_A{}^4} s_{\rho'_A}{}^2}$$

oder vereinfacht

$$s_k = \frac{100}{\rho'_A{}^2} \sqrt{s_{\rho_A}{}^2 + \frac{\rho_A{}^2}{\rho'_A{}^2} s_{\rho'_A}{}^2}$$

Wird  $s_{\rho_A} = s_{\rho'_A}$  gesetzt wird, so ergibt sich

$$s_k = \frac{100 \cdot s_{\rho'_A}{}^2}{\rho'_A{}^2} \sqrt{\left\{ 1 + \frac{\rho_A{}^2}{\rho'_A{}^2} \right\}} \quad (24)$$

Für  $s_{\rho'_A} = 0,022 \text{ g/cm}^3$  (Maximalwert aus Tabelle 59) und  $\rho_A = \rho'_A = 2,5 \text{ g/cm}^3$  wird  $s_k$

$$s_k = \frac{0,0484}{6,25} \sqrt{\left\{ 1 + \frac{6,25}{6,25} \right\}} = 0,00774 \cdot 1,414 = 0,011 \text{ (1,1 \%)}$$

Die Anrechnung der Standardabweichung des Verdichtungsgrades  $s_k$  (bzw. einer daraus hergeleiteten Toleranz) ist bei Abrechnung und Abnahme der Bauleistung nicht möglich.

## 7. Zusammenfassung

Die Bestimmung der Raumdichten an Asphaltprobekörpern und Ausbaustücken ist für die Ermittlung des Verdichtungsgrades und des Hohlraumgehaltes erforderlich. Insofern kommt der Methode der Raumdichtebestimmung große Bedeutung zu. Neben diesem Einfluß der methodenbedingten Fehler spielen weitere Faktoren eine Rolle, die in der vorgelegten Arbeit untersucht worden sind. In erster Linie sind das die Verdichtungstemperatur und die Viskosität bei festgelegter Temperatur. Einflüsse aus den Schwankungen der Zuschlagstoffzusammensetzung können auf Grund der Vorbereitung der Zuschlagstoffe im Rahmen der Arbeit ausgeschlossen werden. Es wurden für die drei Mischgüter drei den Anforderungen der ZTVen entsprechende Bindemittelgehalte festgelegt, die um jeweils 0,5 M.-% differieren.

Gewählt wurden drei Mischgüter, die sich in der Verdichtbarkeit nach ARAND unterscheiden. Dabei handelt es sich um einen Splittmastixasphalt 0/11 S, einen Asphaltbinder 0/16 S und ein Tragschichtmischgut 0/22 B. Das Tragschichtmischgut wurde auch mit 15,0 M.-% und 30,0 M.-% Granulat hergestellt.

Um die Einflüsse aus der Viskosität näher zu betrachten, wurden drei Straßenbaubitumen nach DIN 1995, Teil 1, drei polymermodifizierte Bitumen nach den TL- PmB 89 und ein härteres polymermodifiziertes Bitumen PmB 25) eingesetzt. Das aus dem Asphaltgranulat isolierte Bitumen wurde untersucht, jedoch als solches nicht verwendet. Durch die Zugabe des Asphaltgranulates in zwei unterschiedlichen Prozentsätzen ergaben sich theoretisch zwei „resultierende“ Bitumen. Die Äquiviskositätstemperaturen (kinematisch) für  $\nu = 550 \text{ mm}^2/\text{s}$  liegen für diese 8 Bitumen im Bereich zwischen ca. 135 °C und ca. 175 °C.

An den Straßenbaubitumen wurden zunächst alle 13 Kennwerte nach DIN 1995, Teil 1, bestimmt. Ebenso wurden für die polymermodifizierten Bitumen die in TL-PmB 89 geforderten 13 Kennwerte ermittelt. Das aus dem Granulat zurückgewonnene Bitumen wurde wie ein Straßenbaubitumen entsprechend DIN 1995, Teil 1 untersucht. Zusätzlich zu den in DIN 1995, Teil 1, angegebenen Kennwerten wurde das Viskositäts- Temperaturverhalten der Bitumen über einen Temperaturbereich von 60 °C bis 160 °C sowie die Abhängigkeit der Penetration und der Dichte von der Temperatur (Zweipunktverfahren) ermittelt. Die maximalen Unterschiede in der Viskosität (dynamisch) liegen bei einer Temperatur von 135 °C zwischen 0,54 Pas (Nr. 1) und 3,57 Pas (Nr.7), bei der Viskosität (kinematisch) zwischen  $0,57 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{s}$  und  $3,82 \cdot 10^3 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Die Messungen erfolgten bei einer Schubspannung von 500 Pa bzw. N/mm<sup>2</sup>.

Die oben angegebenen drei Mischgüter wurden bei 4 Temperaturen verdichtet. Die Herstellung der Marshall-Probekörper erfolgte standardgemäß. Eine ursprünglich vorgesehene Einhausung zur besseren Temperaturkonstanthaltung erwies sich im Verlaufe der Arbeiten als nicht erforderlich und wurde nicht mehr genutzt. Es kann davon ausgegangen werden, daß das Temperaturregime sehr sorgfältig eingehalten wurde. Insgesamt wurden  $216 \times 5 = 1080$  Marshall-Probekörper, abgesehen von notwendig erscheinenden Wiederholungen von Meßreihen, hergestellt.

Die Ermittlung der Raumdichten der Marshall-Probekörper erfolgte nach DIN 1996, Teil 7, wobei die Tauchwägung als für die Untersuchungen zutreffendes Verfahren eingesetzt wurde. Zusätzlich wurden auch Raumdichten unter Berücksichtigung des durch Ausmessen ermittelten Volumens bestimmt. Dabei zeigten sich besonders bei dem Splittmastixasphalt 0/11 S beträchtliche Unterschiede. Aus den durch das Tauchwägeverfahren ermittelten Raumdichten wurde der Hohlraumgehalt und der Einfluß auf den Verdichtungsgrad bestimmt.

Betrachtet man die Asphalte im einzelnen, so liegen diese Hohlraumgehalte besonders bei dem Asphaltbinder 0/16 S und dem Splittmastixasphalt 0/11 S zum großen Teil außerhalb der Bereiche, die nach ZTV Asphalt-StB 94, Fassung 98 verbindlich sind. Ein Vergleich mit der zugehörigen Eignungsprüfung ist jedoch nur bedingt möglich, da bei jeweils konstanter Mineralstoffzusammensetzung die Bindemittelart bzw. -sorte variiert wurde.

Da die Raumdichten am Ausbaustück bzw. am Bohrkern, die den Eignungsprüfungen bzw. daraus resultierender Varianten entsprechen, nicht verfügbar sind, kann hier nur der Einfluß auf die Veränderung des Verdichtungsgrades betrachtet werden, der einmal durch die Variation der Verdichtungstemperatur ( $Q_T$ ) und zum anderen durch die Veränderung der Viskosität des Bindemittels ( $Q_B$ ) auftritt. Während über die Fortpflanzung der Fehler der Raumdichtebestimmung etwa 1 % absolut angerechnet werden könnten, liegt der Einfluß der Verdichtungstemperatur für die drei betrachteten Mischgüter im betrachteten Bereich von 100 °C bis 170 °C zwischen - 4,1 und 2,7 % absolut. Der Einfluß aus der veränderten Viskosität, bezogen auf B 65 (Nr. 2) liegt zwischen - 0,7 % bis 3,6 % absolut.

Dabei ist es unerheblich, aus welchen Gründen der Viskositätsanstieg erfolgt. In der Praxis können sich verarbeitungsbedingte Einflüsse, wie z. B. Überhitzung viskositätserhöhend auswirken.

Würde aus an sich nicht erklärlichen Gründen bei der Marshall-Probekörperherstellung im Rahmen der Kontrollprüfung eine zu niedrige Verdichtungstemperatur angewendet, führte dies zu einer günstigeren Einschätzung der Qualität der Asphaltherstellung, konkret zu einem höheren Verdichtungsgrad, während eine Herstellung der Probekörper bei einer höheren

Temperatur wegen eines zu niedrigen Verdichtungsgrades nachteilige Auswirkungen auf Abrechnung und Abnahme haben kann. Auch die Erhöhung der Viskosität führt zu einer günstigeren Beurteilung, während der Fall der Verringerung der Viskosität bei der Herstellung des Asphaltes eine untergeordnete Rolle spielt.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] Arand, W.; Renken, P.:  
Über die Beziehungen zwischen der Verdichtbarkeit und mechanischen Merkmalen von Walzasphalten  
Das stationäre Mischwerk, 5/1980
- [2] Arand, W.; Renken, P.:  
Grundlegende Untersuchungen über den Einfluß der Zusammensetzung auf die Verdichtbarkeit von Walzasphalten mittels systematischer Variation kompositioneller Merkmale zur Schaffung quantitativer Bewertungsmaßstäbe  
Schlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben Nr. 8167  
Braunschweig 1992
- [3] Fritsche, H.:  
Beitrag zur Klärung der Beeinflussung der Gebrauchseigenschaften von Straßenbaubitumen durch Haftverbesserer, thermische Beanspruchung und „harte“ Paraffine.  
Dissertation Hochschule für Verkehrswesen Dresden 1980
- [4] FGSV  
Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt mit Hilfe des Marshall-Verfahrens  
Köln, 1987
- [5] DIN EN 12697-6, Determination of bulk density of bituminous specimens by hydrostatic method or by dimensions, englische Fassung 12/97, Entwurf
- [6] DIN EN 12697-29, Bestimmung der Maße von Asphalt-Probekörpern, deutsche Fassung 3/97 Entwurf

- [7] Arand, W.; Renken, P.:  
Entwicklung eines im Laboratorium anwendbaren Verdichtungsverfahrens,  
durch welches Walzasphalten dieselben mechanischen Eigenschaften wie bei der  
Walzverdichtung in der Praxis vermittelt werden  
BMV FA 7.123, Braunschweig 1990

## 9. Verzeichnis der Tabellen

Tab. Nr.	Seite	Titel
1	5	Verwendete Bitumen
2	6	Kennwerte der verwendeten Bitumen
3	7	Edelbrechsand, Splitt und Füllstoff
4	8	Natursand und Kies
5	10	Zusammenstellung der Probekörperserien in Abhängigkeit vom Mischgut, von Art und Sorte des Bindemittels, der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt
6	13	Kennwerte der Vorzugsvarianten von granulatfreier und granulathaltiger Asphalttragschicht 0/22 B
7	13	Kennwerte der Vorzugsvariante des Asphaltbinders 0/16 S
8	15	Kennwerte der Vorzugsvariante des Splittmastixasphaltes 0/11 S
9	19	Plastizitätsspanne und Nadelpenetration der untersuchten Bindemittel
10	25	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 1 (B 80)
11	25	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 2 (B 65)
12	26	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 3 (B 45)
13	26	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 4 (PmB 45 A)
14	26	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 5 (PmB 45 A)
15	27	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 6 (PmB 45 A)
16	27	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 7 (PmB 25)
17	27	Meßergebnisse für Bindemittel-Nr. 8 (aus Granulat zurückgewonnenes Bitumen)
18	28	Konstanten der VOGEL-Gleichung (Bindemittel-Nr. 4 ein Meßpunkt eliminiert)
19	30	Dynamische Viskositäten bei 135 °C und Äquiviskositätstemperatur (dynamisch) für Bitumenviskosität $\eta$ von 2 Pas (Regression nach VOGEL)

---

20	32	Dichten und Volumenausdehnungskoeffizient der untersuchten Bindemittel
21	34	Beispiel zur Berechnung der kinematischen Viskosität für Bindemittel-Nr. 4
22	38	Dichte und Kornform
23	39	Wasseraufnahme ausgewählter Kornklassen
24	42	Schlagzertrümmerungsgrad SZ 8/12 von Splitt ohne und nach zusätzlichen Beanspruchungen
25	42	Schlagzertrümmerungsgrad SZ 8/12 von Kies ohne und nach zusätzlichen Beanspruchungen
26	43	Korngrößenverteilung der Sande
27	44	Füllereigenschaften
28	47	Stoffliche Zusammensetzung des Asphaltgranulates
29	49	Hypothetische Zusammensetzung des Bindemittelgemisches B 80 und RC-Bitumen
30	50	Erweichungspunkt Ring und Kugel und Nadelpenetration von rückgewonnenem resultierenden Bitumen aus granulathaltiger Asphalttragschicht 0/22 B (30 % Granulatzusatz)
31	51	Verdichtbarkeit der Mischgüter
32	54	Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 1 (B 80)
33	54	Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)
34	54	Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)

- |    |    |   |
|----|----|---|
| 35 | 55 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)             |
| 36 | 55 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/1 (15 M.-% Granulat) |
| 37 | 55 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ der Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/2 (30 M.-% Granulat) |
| 38 | 57 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 1 (B 80)                   |
| 39 | 58 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)                   |
| 40 | 58 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)                   |
| 41 | 58 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 4 (PmB 45 A)               |
| 42 | 59 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 5 (PmB 45 A)               |
| 43 | 59 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{\text{bit},T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,\text{bit}}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 6 (PmB 45 A)               |

- |    |    |  |
|----|----|--|
| 44 | 59 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Asphaltbinders 0/16 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)          |
| 45 | 61 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)     |
| 46 | 62 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)     |
| 47 | 62 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 4 (PmB 45 A) |
| 48 | 62 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 5 (PmB 45 A) |
| 49 | 63 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 6 (PmB 45 A) |
| 50 | 63 | Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes $H_{bit,T}$ aus Raumdichte $\rho'_{A,T}$ und Rohdichte $\rho_{R,bit}$ des Splittmastixasphaltes 0/11 S von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)   |
| 51 | 66 | Vergleich der Raumdichten und Hohlraumgehalte (verfahrensabhängig) der Asphalttragschicht 0/22 B (1.2.T <sub>i</sub> .2) und des Splittmastixasphaltes 0/11 S (3.2.T <sub>i</sub> .2)  |
| 52 | 67 | Abhängigkeit der Marshallstabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatfreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 1 (B 80)                                |
| 53 | 67 | Abhängigkeit der Marshallstabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatfreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 2 (B 65)                                |

---

54	68	Abhängigkeit der Marshallstabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatifreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 3 (B 45)
55	68	Abhängigkeit der Marshallstabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatifreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 7 (PmB 25)
56	68	Abhängigkeit der Marshallstabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatifreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/1
57	69	Abhängigkeit der Marshallstabilität und des Marshall-Fließwertes der granulatifreien Asphalttragschicht 0/22 B von der Verdichtungstemperatur und dem Bindemittelgehalt für Bitumen Nr. 8/2
58	72	Extremwerke der Spannweiten der Meßreihen
59	72	Standardabweichungen
60	72	Berechnung der Wiederholstandardabweichungen
61	73	Standardabweichungen im Vergleich
62	74	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 1)
63	75	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 2)
64	75	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 3)
65	75	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 7)
66	76	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 8/1, 15 % Asphaltgranulat)
67	76	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B, Bitumen Nr. 8/2, 30 % Asphaltgranulat)
68	76	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 1)
69	77	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 2)

---

70	77	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 3)
71	77	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 4)
72	78	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 5)
73	78	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 6)
73	78	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 6)
74	78	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S, Bitumen Nr. 7)
75	79	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 2)
76	79	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 3)
77	79	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 4)
78	80	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 5)
79	80	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 6)
80	80	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S, Bitumen Nr. 7)
81	80	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphalttragschicht 0/22 B)
82	82	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Asphaltbinder 0/16 S)
83	82	Einfluß auf den Verdichtungsgrad (Splittmastixasphalt 0/11 S)

## 10. Verzeichnis der Abbildungen

Abb.-Nr.	Seite	Titel
1	12	Kornzusammensetzung der Asphalttragschicht 0/22 B (granulatfrei und granulathaltig)
2	14	Kornzusammensetzung des Asphaltbinders 0/16 S
3	16	Kornzusammensetzung des Splittmastixasphaltes 0/11 S
4	17	Temperaturmodus bei der Probekörperherstellung - Verdichtungstemperatur
5	20	Erweichungspunkt Ring und Kugel (Hand, Automat) und Brechpunkt nach Fraaß von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)
6	22	Penetrationsindizes von Straßenbaubitumen (1- 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)
7	29	Dynamische Viskosität $\eta$ von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7) in Abhängigkeit von der Temperatur
8	33	Volumenausdehnungskoeffizient von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)
9	35	Äquiviskositätstemperaturen (kinematisch) ÄVT von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7)
10	36	Kinematische Viskosität von Straßenbaubitumen (1 - 3), aus Granulat zurückgewonnenem Bitumen (8) und polymermodifizierten Bitumen (4 - 7) bei unterschiedlichen Verdichtungstemperaturen
11	40	Frost-Tau-Wechsel-Versuch nach DIN 52104 (Verfahren N) an Splitt 8/12,5 (Großkoschen) und Kies 8/12,5 (Röderau)
12	45	Prüfung der versteifenden Wirkung von Füller auf Bitumen nach DIN 52096

13	46	Korngrößenverteilung durch Siebung und Sedimentation von Fremdfüller Caaschwitz, Eigenfüller Großkoschen aus Edelbrechsand und aus dem Asphaltgranulat zurückgewonnenen Füller
14	48	Korngrößenverteilung der aus dem Asphaltgranulat zurückgewonnenen Mineralstoffe
15	56	Hohlraumgehalt $H_{bit}$ einer Asphalttragschicht 0/22 B in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur
16	60	Hohlraumgehalt $H_{bit}$ von Asphaltbinder 0/16 S in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur
17	64	Hohlraumgehalt $H_{bit}$ von Splittmastixasphalt 0/11 S in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur
18	70	Marshall-Stabilität einer Asphalttragschicht 0/22 B in Abhängigkeit vom Bindemittel, Bindemittelgehalt und der Verdichtungstemperatur
19		

## 11. Verzeichnis der Anlagen:

- Anlage 1: Kennwerte der Probe Nr. 1 (B 80 nach DIN 1995, T. 1)
- Anlage 2: Kennwerte der Probe Nr. 2 (B 65 nach DIN 1995, T. 1)
- Anlage 3: Kennwerte der Probe Nr. 3 (B 45 nach DIN 1995, T. 1)
- Anlage 4: Kennwerte der Probe Nr. 4 (PmB 45A nach TL-PmB 89, T. 1)
- Anlage 5: Kennwerte der Probe Nr. 5 (PmB 45A nach TL-PmB 89, T. 1)
- Anlage 6: Kennwerte der Probe Nr. 6 (PmB 45A nach TL-PmB 89, T. 1)
- Anlage 7: Kennwerte der Probe Nr. 7 (PmB 25)
- Anlage 8: Kennwerte der Probe Nr. 8 (aus Granulat)
- Anlage 9 Eignungsprüfung Asphalttragschicht 0/22 B
- Anlage 9.1 Eignungsprüfung Asphalttragschicht 0/22 B (15 %)
- Anlage 9.1 Eignungsprüfung Asphalttragschicht 0/22 B (30 %)
- Anlage 10 Eignungsprüfung Asphaltbinder 0/16 S
- Anlage 11 Eignungsprüfung Splittmastixasphalt 0/11 S
- Anlage 12 Korngrößenverteilung Asphaltgranulat
- Anlage 13 Heißextraktion Asphaltgranulat
- Anlage 14 Rohdichte Asphaltgranulat
- Anlage 15 Tabelle Verdichtbarkeit
- Anlage 16 Zusammenstellung der Raumdichten des Tragschicht-Mischgutes 0/22 B
- Anlage 17 Zusammenstellung der Raumdichten des Asphaltbinders 0/16 S
- Anlage 18 Zusammenstellung der Raumdichten des Splittmastixasphaltes 0/11 S

## Kennwerte der Probe Nr. 1 (B 80 nach DIN 1995, Teil 1)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach DIN 1995 T. 1	Istwerte			Mittelwert
					Einzelwerte	Einzelwerte	Einzelwerte	
1	Nadelpenetration (100g,5s,25°C)	DIN 52010	0,1 mm	70 bis 100	92,5	92,8	92,3	93,0
2	Nadelpenetration (100g,5s,40°C)	DIN 52011	°C	44 bis 49	390	399	394	394
3	Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52012	°C	≤ -10	H: 47,0 A: 45,0	47,5 44,7		47,0 45,0
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	≤ -10	-13,5	-14,0		-14,0
4	Asche	DIN 52005	M.-%	≤ 0,50	0,13	0,13		0,13
5	Gehalt an Trichlorethen-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0,08	0,08		0,08
	Siebrückstand		M.-%		0	0		0
6	Gehalt an Cyclohexan-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0,06	0,06		0,06
	Siebrückstand		M.-%		0,01	0,01		0,01
7	Duktilität bei 7°C	DIN 52013	cm	≥ 5,0	> 100	> 100	> 100	> 100
8	Paraffin	DIN 52015	M.-%	≤ 2,0	0,58	0,57		0,6
	Erstarrungspunkt am rot. Thermometer	ISO 2207	°C		60,5	61,0		61,0
9	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	≥ 1,000	1,017	1,017		1,017
	Dichte bei 40°C		g/cm <sup>3</sup>		1,006	1,005		1,006
10	Relative Masseänderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 1,00	+ 0,01	+ 0,01		+ 0,01
11	Anstieg des EP <sub>Rak</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	Anstieg ≤ 6,5	H: 4,5 A: 4,5			4,5 4,5
12	Verminderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	Abnahme ≤ 40	27,2			27,2
13	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 7°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 2	18,9	19,0	18,5	19,0

H.: Handgerät

A.: Automat

## Kennwerte der Probe Nr. 2 (B 65 nach DIN 1995, T. 1)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach DIN 1995 T.1	Istwerte Einzelwerte	Mittelwert
1	Nadelpenetration (100g, 5s, 25°C)	DIN 52010	0,1 mm	50 bis 70	52,9 53,0	53
2	Nadelpenetration bei 40°C Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52011	°C	49,0 bis 54,0	231,0 234,1	231
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	≤ -8	H: 51,8 A: 49,9 -10	52,0 50,0 -10
4	Asche	DIN 52005	M.-%	≤ 0,50	0,15 0,14	0,14
5	Gehalt an Trichlorethen-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0	0
	Siebrückstand		M.-%		0	0
6	Gehalt an Cyclohexan-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0	0
	Siebrückstand		M.-%		0	0
7	Duktilität bei 13°C	DIN 52013	cm	≥ 8	>100	>100
8	Paraffin	DIN 52015	M.-%	≤ 2,0	0,28	0,3
	Erstarrungspunkt am rot. Thermometer	ISO 2207	°C		Ausw. zu gering Ausw. zu gering	Ausw. zu gering
9	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	≥ 1,000	1,025	1,025
	Dichte bei 40°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>		1,013	1,013
10	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 0,80	+0,023 +0,022	+0,02
11	Anstieg des EP <sub>ruik</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	≤ 6,5	H: 4,0 A: 4,5	4,0 4,5
12	Verminderung der Nadelpen. durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	≤ 40	27,6	27,6
13	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 13°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 2	23,3 24,7	24

H.: Handgerät

A.: Automat

Kennwerte der Probe: Nr. 3 (B 45 nach DIN 1995, T. 1)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach DIN 1995 T.1	Istwerte Einzelwerte	Mittelwert
1	Nadelpenetration (100g, 5s, 25°C)	DIN 52010	0,1 mm	35 bis 50	42,0 43,0	43
2	Nadelpenetration (100g, 5s, 40°C)	DIN 52011	°C	54,0 bis 59,0	173,1 H: 57,0 56,8	172 57,0
3	Brechkpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	≤ -6	A: 55,0 -9	55,0 -8
4	Asche	DIN 52005	M.-%	≤ 0,50	0,096	0,08
5	Gehalt an Trichlorethen-Unlösl.	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0	0
	Siebrückstand		M.-%		0	0
6	Gehalt an Cyclohexan-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0	0
	Siebrückstand		M.-%		0	0
7	Duktilität bei 25°C	DIN 52013	cm	≥ 40	>100 >100	>100
8	Paraffin	DIN 52015	M.-%	≤ 2,0	1,44	1,6
	Erstarrungspunkt am rot. Thermometer	ISO 2207	°C		62	62
9	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	≥ 1,000	1,031	1,031
	Dichte bei 40°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>		1,018	1,019
10	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 0,80	+0,008 +0,010	+0,01
11	Anstieg des EP <sub>Ruk</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	≤ 6,5	H: 4,5 A: 5,0	4,5 5,0
12	Verminderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	≤ 40	26,0	26,0
13	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 15	70,4 72,9	72 71,5

H.: Handgerät

A.: Automat

Kennwerte der Probe Nr. 4 (PmB 45A nach TL-PmB 89, T. 1)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach TL-PmB 89 T.1	Istwerte			Mittelwert
					Einzelwerte	Einzelwerte	Einzelwerte	
1	Nadelpenetration (100g, 5s, 25°C)	DIN 52010	0,1 mm	20	51,0	50,9	51,0	51
2	Nadelpenetration bei 40°C	DIN 52011	°C	55,0 - 63,0	171,2	169,0	168,1	169
	Erweichungspunkt Ring und Kugel				H: 69,8	69,8		70,0
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	≤ 10	A: 68,2	68,2		68,0
					-19	-20		-20
4	Duktilität bei 25°C	DIN 52013	cm	≥ 40	71,0	79,0	75,0	75
5	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	1,000 bis 1,100	1,024	1,024		1,024
6	Dichte bei 60°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>		0,997	0,992		0,995
	Flammpunkt im offenen Tiegel nach Cleveland	ISO 2592	°C	≥ 200	339	344		342
7	Brennpunkt		°C		385	387		386
	Elastische Rückstellung	DIN 52021 T. 1 (Entwurf)	%	≥ 50	77,0	78,5		78
8	Homogenität nach Heißlagerung	TL-PmB 89 T.1	K	≤ 2,0	H: 0,5			0,5
	Differenz der EP <sub>RuK</sub>	Abschn. 3.2.2			A: 0,0			0,0
9	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 1,00	+0,001	+0,002		+0,00
10	Änderung des EP <sub>RuK</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	Anstieg ≤ 6,5 Abnahme ≤ 2,0	H: 1,0 A: 1,5			1,0 1,5
11	Änderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	Abnahme ≤ 40 Anstieg ≤ 10	30,2			30,2
12	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 20	32,0	35,5	39,0	36
13	Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52021 T. 1 (Entwurf)	%	≥ 50	75,5	76,5		76

H.: Handgerät

A.: Automat

Kennwerte der Probe Nr. 5 (PmB 45A nach TL-PmB 89, T. 1)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach TL-PmB 89 T1	Istwerte Einzelwerte			Mittelwert
1	Nadelpenetration (100g, 5s, 25°C)	DIN 52010	0,1 mm	≥ 20	43,9	43,0	43,2	43
2	Nadelpenetration bei 40°C				186,8	185,0	184,5	185
3	Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52011	°C	55,0 bis 63,0	H: 65,0	65,2		65,0
					A: 63,8	63,2		63,5
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	≤ -10	-10	-10		-10
4	Duktilität bei 25°C	DIN 52013	cm	≥ 40	> 100	> 100	> 100	> 100
5	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm³	1,000 bis 1,100	1,020	1,020		1,020
6	Dichte bei 60°C	DIN 52004	g/cm³	≥ 200	0,995	0,994		0,995
					357	359		358
6	Flammpunkt im offenen Tiegel nach Cleveland	ISO 2592	°C					
7	Brennpunkt		°C		385	384		384
7	Elastische Rückstellung	52021 T. 1 (Entwurf)	M.-%	≥ 50	88,0	86,0		87
8	Homogenität nach Heißlagerung, Differenz der EP <sub>Rak</sub>	TL-PmB 89 T.1 Abschn. 3.2.2	K	≤ 2,0	H: 1,0			1,0
					A: 1,0			1,0
9	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 1,00	+0,018	+0,015		+0,02
10	Änderung des EP <sub>Rak</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	Anstieg ≤ 6,5				
11	Änderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	Abnahme ≤ 2,0	H: 3,0			3,0
					A: 3,5			3,5
12	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 20	> 100	> 100	> 100	> 100
13	Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52021 T. 1 (Entwurf)	%	≥ 50	69,0	70,0		70

H.: Handgerät

A.: Automat

## Kennwerte der Probe Nr. 6 (PmB 45A nach TL-PmB 89, T. 1)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach TL-PmB 89 T. 1	Istwerte Einzelwerte			Mittelwert
1	Nadelpenetration (100g, 5s, 25°C)	DIN 52010	0,1 mm	≥ 20	33,2	33,9	33,5	34
2	Nadelpenetration bei 40°C Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52011	°C	55,0 bis 63,0	131,1 H: 60,4 A: 59,0	129,5	129,2	130
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	≤ -10	-10	-11		-10
4	Duktilität bei 25°C	DIN 52013	cm	≥ 40	> 100	> 100	> 100	> 100
5	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	1,000 bis 1,100	1,034	1,034		1,034
6	Dichte bei 60°C Flammpunkt im offenen Tiegel nach Cleveland	DIN 52004 ISO 2592	g/cm <sup>3</sup> °C	≥ 200	1,010 307	1,008 310		1,009 308
7	Brennpunkt Elastische Rückstellung	52021 T.1 (Entwurf)	°C M.-%	≥ 50	355 76,5	358 75,0		356 76
8	Homogenität nach Heißlagerung, Differenz der EP <sub>Ruk</sub>	TL-PmB 89 T.1 Abschn. 3.2.2	K	≤ 2,0	H: 4,0 A: 4,5			4,0 4,5
9	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 1,00	+0,026	+0,027		+0,03
10	Änderung des EP <sub>Ruk</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	Anstieg ≤ 6,5 Abnahme ≤ 2,0	H: 4,0 A: 4,0			4,0 4,0
11	Änderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	Abnahme ≤ 40 Anstieg ≤ 10	17,9			17,9
12	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 20	> 100	> 100	> 100	> 100
13	Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52021 T. 1 (Entwurf)	%	≥ 50	69,5	68,0		69

H.: Handgerät

A.: Automat

## Kennwerte der Probe Nr. 7 (PmB 25)

Lfd Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Istwerte Einzelwerte	Mittelwert
1	Nadelpenetration (100g,5s,25°C)	DIN 52010	0,1 mm	37,0 37,1	36,8 37
2	Nadelpenetration bei 40°C			100,3 101,2	100
2	Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52011	°C	H: 70,2	70,5
				A: 69,2	69,3
3	Brechpunkt nach Fraaß	DIN 52012	°C	-5	-5
4	Duktilität bei 25°C	DIN 52013	cm	51,0	50
5	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	1,024	1,024
6	Dichte bei 60°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	0,992	0,994
6	Flammpunkt im offenen Tiegel nach Cleveland	ISO 2592	°C	317	316
7	Brennpunkt			360	360
7	Elastische Rückstellung	DIN 52021 T.1 (Entwurf)	M.-%	81,5	82
8	Homogenität nach Heißlagerung, Differenz der EP <sub>Ruk</sub>	TL-PmB 89 T.1 Abschn.3.2.2	K	H: 10,5	10,5
				A: 13,0	13,0
9	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	+0,01	+0,01
10	Änderung des EP <sub>Ruk</sub> durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52011	K	H: 0,5	0,5
				A: 1,0	1,0
11	Änderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52010	%	Abnahme: 25,9	25,9
12	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	39 41,5	41
13	Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung	DIN 52016 DIN 52021 T. 1 (Entwurf)	%	76,5	76

H.: Handgerät

A.: Automat

## Kennwerte der Probe Nr. 8 (aus Granulat)

Lfd. Nr.	Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Sollwert nach DIN 1995 T.1	Istwerte Einzelwerte			Mittelwert
1	Nadelpenetration (100g,5s,25°C)	DIN 52010	0,1 mm	20 bis 30	25,0,0	24,2	24,5	25
2	Nadelpenetration (100g,5s,40°C)	DIN 52011	°C	59,0 bis 67,0	99,2	98,2	102,0	100
3	Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52012	°C	≤ -2	H: 61,0 A: 58,2	60,8 58,9		61,0 58,5
4	Brechpunkt nach Fraab	DIN 52012	°C	≤ -2	-7	-8		-8
5	Asche	DIN 52005	M.-%	≤ 0,50	0,41	0,43		0,42
6	Gehalt an Trichlorethen-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,50	0,04	0,05		0,04
7	Siebrückstand	DIN 52014	M.-%	≤ 0,5	0	0		0
8	Gehalt an Cyclohexan-Unlöslichem	DIN 52014	M.-%	≤ 0,5	0,02	0,04		0,03
9	Siebrückstand	DIN 52013	cm	≥ 15	0,007	0,003		0,005
10	Duktilität bei 25°C	DIN 52013	cm	≥ 15	> 100	> 100	> 100	> 100
11	Paraffin	DIN 52015	M.-%	≤ 2,0	1,36	1,58		1,5
12	Erstarrungspunkt am rot. Thermometer	ISO 2207	°C	≤ 2,0	59,5	59,5		59,5
13	Dichte bei 25°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>	≥ 1,000	1,031	1,032		1,031
14	Dichte bei 40°C	DIN 52004	g/cm <sup>3</sup>		1,020	1,020		1,020
15	Relative Masseveränderung durch thermische Beanspruchung	DIN 52016	M.-%	≤ 0,8	-0,205	-0,215		-0,21
16	Anstieg des EPRuK	DIN 52016	K	≤ 6,5	H: 2,0			2,0
17	durch thermische Beanspruchung	DIN 52011	%	≤ 40	A: 2,5			2,5
18	Verminderung der Nadelpenetration durch thermische Beanspruchung	DIN 52010	%	≤ 40	8,5			8,5
19	Duktilität nach therm. Beanspruchung bei 25°C	DIN 52016 DIN 52013	cm	≥ 5	> 100	> 100	> 100	> 100

H.: Handgerät

A.: Automat

Unsere Leistungen:  
 Fremdüberwachungen nach RG Min-StB  
 und TLG Asphalt  
 Eignungsprüfungen,  
 Kontroll- und Schiedsprüfungen  
 an Straßenbaustoffen und -gemischen  
 einschl. Recyclingbaustoffen,  
 Bitumen, Pech, bitumen- und pechhaltige  
 Bindemittel, Fugenvergußmassen,  
 Tragfähigkeitsprüfungen u. a.

Ihre Nachricht vom

Ihre Zeichen

Unsere Zeichen

Datum

07.12.1997

## Eignungsprüfung FO 1.1.2

Artikel

**Asphalttragschicht 0/22 Mischgutart B**

Forschungsauftrag 2166/96

Technische Vorschriften

1. ZTVT - StB 95
2. Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt
3. DIN 1995, T.1, DIN 1996
4. TL Min-StB 94

**Bindemittel**

**B 80**

### Verwendete Lieferkörnungen

Nr.	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte/Hersteller	M.-%
<b>Mineralstoffe</b>				
971	Kalkstein	Füllstoff	Caaschwitz	5,0
972	Natursand	Natursand 0/2	Heller	22,0
973	Grauwacke	Edelbrechsand 0/2	Großkoschen	21,0
	Kies	Kies 2/5	Röderau	14,0
	Kies	Kies 5/8	Röderau	10,0
	Kies	Kies 8/11	Röderau	6,0
	Kies	Kies 11/16	Röderau	8,0
	Kies	Kies 16/22	Röderau	14,0

Rohdichte des Mineralstoffgemisches: 2,680 g/cm<sup>3</sup>

Brechsand-Natursand-Verhältnis: keine Forderung

Friedrich-List-Platz 1  
 01069 Dresden

Postanschrift:  
 PF 120701  
 01008 Dresden

### Siebanalysen der Lieferkörnungen

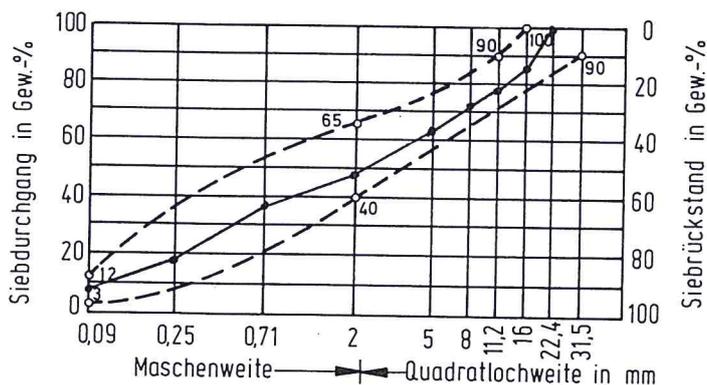
Nennöffnungsweite des Analysensiebess mm	Siebrückstand in M.-%							
	Mineralstoff-Nr.							
	971	972	973	Kies 2/5	Kies 5/8	Kies 8/11	Kies 11/16	Kies 16/22
31,5	-	-	-	-	-	-	-	-
22,4	-	-	-	-	-	-	-	0,0
16,0	-	-	-	-	-	-	0,0	100,0
11,2	-	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0
8,0	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-
5,0	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-	-
2,0	-	0,0	0,0	100,0	0,0	-	-	-
0,71	-	6,5	43,1	0,0	-	-	-	-
0,25	-	58,7	31,5	-	-	-	-	-
0,09	4,4	29,7	13,4	-	-	-	-	-
< 0,09	95,6	5,1	12,0	-	-	-	-	-
Überkorn	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sollkorn	95,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Unterkorn	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

### Sieblinie des Mineralstoffgemisches

Nennöffnungsweite des Analysensiebess mm	Rückstand	Anteile		Durchgang
	M.-%	M.-%		M.-%
45,0	-			100,0
31,5	-			100,0
22,4	-			100,0
16,0	14,0	Kies	52,0	86,0
11,2	8,0			78,0
8,0	6,0			72,0
5,0	10,0			62,0
2,0	14,0			48,0
0,71	10,5	Sand	39,6	37,5
0,25	19,5			18,0
0,09	9,6			8,4
<0,09	8,4	Füller	8,4	-

### Kornzusammensetzung

AS 6/30 bituminöse Tragschichten der Mischgutart B



**Prüfergebnisse der Eignungsprüfung**

Merkmale		Mischgutzusammensetzung			
		1	2	3	I*
<b>Bindemittelanteil u. -eigenschaften</b>					
Bindemittelgehalt B 80	M.-%	3,90	4,40	4,90	
Bindemittel auf 100 Teile Mineral	M.-%	4,06	4,60	5,15	
Dichte des Bindemittels	g/cm <sup>3</sup>	1,017			
<b>Eigenschaften des Mischgutes sowie des verdichteten Asphaltes</b>					
Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,285	2,299	2,334	
Mischgutrohndichte	g/cm <sup>3</sup>	2,519	2,500	2,481	
Hohlräume errechnet	Vol.-%	9,3	8,0	5,9	
Bindemittelvolumen	Vol.-%	8,8	9,9	11,2	
Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	18,1	17,9	17,1	
Hohlraumfüllungsgrad	%	48,5	55,3	65,5	
Marshall-Stabilität	kN	5,8	5,6	6,4	
Marshall-Fließwert	mm	1,3	1,5	1,5	

\* Interpolationsvariante

**Beurteilung:**

Mit den auf Blatt 1 aufgeführten Zuschlagstoffen wurden 3 Mischungen gleicher Kornzusammensetzung, jedoch unterschiedlicher Bindemittelgehalte hergestellt. Die Mischgutzusammensetzung und die Parameter entsprechen jeweils den Anforderungen der ZTVT-StB 95 an eine Asphalttragschicht 0/22 Mischgutart B gemäß Tabelle 4.2 dieser zusätzlichen Vertragsbedingungen.

Unter Beachtung der angegebenen Randbedingungen empfehlen wir bei der vorgegebenen Kornzusammensetzung die **Mischung 2** mit **4,4 M.-% B 80** nach DIN 1995, Teil 1.



Unsere Leistungen:  
Fremdüberwachungen nach RG Min-StB  
und TLG Asphalt  
Eignungsprüfungen,  
Kontroll- und Schiedsprüfungen  
an Straßenbaustoffen und -gemischen  
einschl. Recyclingbaustoffen,  
Bitumen, Pech, bitumen- und pechhaltige  
Bindemittel, Fugenvergußmassen,  
Tragfähigkeitsprüfungen u. a.

Ihre Nachricht vom

Ihre Zeichen

Unsere Zeichen

Datum

04.01.1998

## Eignungsprüfung FO 1.8/1.2 (15%)

Artikel

**Asphalttragschicht 0/22 Mischgutart B**

Mischwerk

Forschungsauftrag 2166/96

Technische Vorschriften

1. ZTVT-StB 95
2. Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt 1991
3. DIN 1995 Teil 1, DIN 1996
4. TL Min-StB 94
5. Merkblatt für die Lieferung von Asphaltgranulat 1990
6. Merkblatt für die Verwendung von Asphaltgranulat 1993

Bindemittel

**B 80**

### Verwendete Lieferkörnungen

Nr.	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte/Hersteller	M.-%
<b>Mineralstoffe</b>				
971	Kalkstein	Füllstoff	Caaschwitz	3,0
972	Natursand	Natursand 0/2	Heller	20,0
973	Grauwacke	Edelbrechsand 0/2	Großkoschen	20,0
	Kies	Kies 2/5	Röderau	13,0
	Kies	Kies 5/8	Röderau	8,0
	Kies	Kies 8/11	Röderau	5,0
	Kies	Kies 11/16	Röderau	6,0
	Kies	Kies 16/22	Röderau	10,0
1036	Asphaltgranulat	Asphaltgranulat 0/11	MA DEUTAG Freital	15,0

Rohdichte des Mineralstoffgemisches: 2,693 g/cm<sup>3</sup>

Brechsand-Natursand-Verhältnis: keine Forderung

Friedrich-List-Platz 1  
01069 Dresden

Postanschrift:  
PF 120701  
01008 Dresden

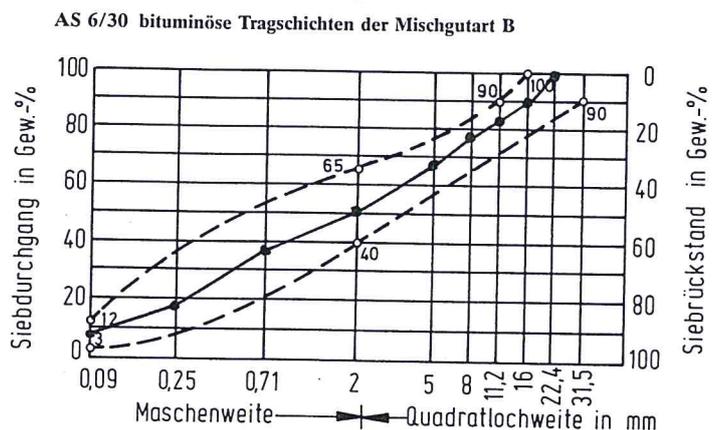
## Siebanalysen der Lieferkörnungen

Nennöffnungsweite des Analysensiebes mm	Siebrückstand in M.-%								
	Mineralstoff-Nr.								
	971	972	973	Kies 2/5	Kies 5/8	Kies 8/11	Kies 11/16	Kies 16/22	Granu- lat
31,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,4	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-
16,0	-	-	-	-	-	-	0,0	100,0	2,2
11,2	-	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0	4,3
8,0	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-	6,3
5,0	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-	-	13,3
2,0	-	0,0	0,0	100,0	0,0	-	-	-	23,6
0,71	-	6,5	43,1	0,0	-	-	-	-	18,8
0,25	-	58,7	31,5	-	-	-	-	-	17,5
0,09	4,4	29,7	13,4	-	-	-	-	-	7,1
< 0,09	95,6	5,1	12,0	-	-	-	-	-	6,9
Überkorn	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sollkorn	95,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Unterkorn	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

## Sieblinie des Mineralstoffgemisches

Nennöffnungsweite des Analysensiebes mm	Rückstand	Anteile		Durchgang
	M.-%	M.-%		M.-%
45,0	-	Kies	49,5	100,0
31,5	-			100,0
22,4	-			100,0
16,0	10,3			89,7
11,2	6,7			83,0
8,0	5,9			77,1
5,0	10,0			67,1
2,0	16,6	50,5		
0,71	12,7	Sand	43,2	37,8
0,25	20,7			17,1
0,09	9,8			7,3
<0,09	7,3	Füller	7,3	0,0

## Kornzusammensetzung



## Prüfergebnisse der Eignungsprüfung

Merkmale		Mischgutzusammensetzung			
		1	2	3	I*
<b>Bindemittelanteil u. -eigenschaften</b>					
B 80 nach DIN 1995, T. 1	M.-%	3,20	3,70	4,20	
Bitumen aus Granulat	M.-%	0,71	0,71	0,71	
Gesamtbitumengehalt im Gemisch	M.-%	3,91	4,41	4,91	
Bindemittelteile auf 100 Teile Mineral	M.-Teile	4,06	4,61	5,16	
Dichte des B 80	g/cm <sup>3</sup>	1,017			
EP RuK des result. Bitumens	°C	50,5			
<b>Eigenschaften des Mischgutes sowie des verdichteten Asphaltes</b>					
Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,279	2,290	2,281	
Mischgutrohndichte	g/cm <sup>3</sup>	2,530	2,511	2,492	
Hohlräume errechnet	Vol.-%	9,9	8,8	8,5	
Bindemittelvolumen	Vol.-%	8,8	9,9	11,0	
Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	18,7	18,7	19,5	
Hohlraumfüllungsgrad	%	46,9	53,0	56,6	
Marshall-Stabilität	kN	7,0	6,4	5,4	
Marshall-Fließwert	mm	1,5	1,6	1,6	

\* Interpolationsvariante

### Beurteilung:

Mit den auf Blatt 1 aufgeführten Zuschlagstoffen wurden 3 Mischungen gleicher Kornzusammensetzung, jedoch unterschiedlicher Bindemittelgehalte hergestellt. Die Mischgutzusammensetzung und die Parameter entsprechen jeweils den Anforderungen der ZTVT-StB 95 an eine Asphalttragschicht 0/22 Mischgutart B gemäß Tabelle 4.2 dieser zusätzlichen Vertragsbedingungen.

Für die Zuordnung der Mischgutarten zu den Bauklassen und zur Einbauart gilt Tab. 4.1. der ZTVT-StB 95.

Unter Beachtung der angegebenen Randbedingungen empfehlen wir bei der vorgegebenen Kornzusammensetzung die **Mischung 2** mit einem Gesamtbindemittelgehalt von **4,4 M-%**.

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Pilz  
Leiter der Prüfstelle



Unsere Leistungen:

Fremdüberwachungen nach RG Min-StB  
 und TLG Asphalt  
 Eignungsprüfungen,  
 Kontroll- und Schiedsprüfungen  
 an Straßenbaustoffen und -gemischen  
 einschl. Recyclingbaustoffen,  
 Bitumen, Pech, bitumen- und pechhaltige  
 Bindemittel, Fugenvergußmassen,  
 Tragfähigkeitsprüfungen u. a.

Ihre Nachricht vom

Ihre Zeichen

Unsere Zeichen

Datum

04.01.1998

## Eignungsprüfung FO 1.8/2.2 (30%)

Artikel **Asphalttragschicht 0/22 Mischgutart B**

Mischwerk Forschungsauftrag 2166/96

Technische Vorschriften

1. ZTVT-StB 95
2. Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt 1991
3. DIN 1995 Teil 1, DIN 1996
4. TL Min-StB 94
5. Merkblatt für die Lieferung von Asphaltgranulat 1990
6. Merkblatt für die Verwendung von Asphaltgranulat 1993

Bindemittel **B 80**

### Verwendete Lieferkörnungen

Nr.	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte/Hersteller	M.-%
<b>Mineralstoffe</b>				
971	Kalkstein	Füllstoff	Caaschwitz	2,0
972	Natursand	Natursand 0/2	Heller	16,0
973	Grauwacke	Edelbrechsand 0/2	Großkoschen	16,0
	Kies	Kies 2/5	Röderau	10,0
	Kies	Kies 5/8	Röderau	8,0
	Kies	Kies 8/11	Röderau	4,0
	Kies	Kies 11/16	Röderau	6,0
	Kies	Kies 16/22	Röderau	8,0
1036	Asphaltgranulat	Asphaltgranulat 0/11	MA DEUTAG Freital	30,0

Rohdichte des Mineralstoffgemisches: 2,704 g/cm<sup>3</sup>

Brechsand-Natursand-Verhältnis: keine Forderung

Friedrich-List-Platz 1  
 01069 Dresden

Postanschrift:  
 PF 120701  
 01008 Dresden

## Prüfergebnisse der Eignungsprüfung

Merkmale		Mischgutzusammensetzung			
		1	2	3	I*
<b>Bindemittelanteil u. -eigenschaften</b>					
B 80 nach DIN 1995, T. 1	M.-%	2,50	3,00	3,50	
Bitumen aus Granulat	M.-%	1,41	1,41	1,41	
Gesamtbitumengehalt im Gemisch	M.-%	3,91	4,41	4,91	
Bindemittelteile auf 100 Teile Mineral	M.-Teile	4,07	4,61	5,16	
Dichte des B 80	g/cm <sup>3</sup>	1,017			
EP RuK des result. Bitumens	°C	53,0			
<b>Eigenschaften des Mischgutes sowie des verdichteten Asphaltes</b>					
Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,241	2,248	2,234	
Mischgutrohndichte	g/cm <sup>3</sup>	2,540	2,520	2,501	
Hohlräume errechnet	Vol.-%	11,8	10,8	10,7	
Bindemittelvolumen	Vol.-%	8,6	9,8	10,8	
Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	20,4	20,6	21,5	
Hohlraumfüllungsgrad	%	42,3	47,4	50,3	
Marshall-Stabilität	kN	7,5	6,8	5,6	
Marshall-Fließwert	mm	1,7	1,7	1,6	

\* Interpolationsvariante

### Beurteilung:

Mit den auf Blatt 1 aufgeführten Zuschlagstoffen wurden 3 Mischungen gleicher Kornzusammensetzung, jedoch unterschiedlicher Bindemittelgehalte hergestellt. Die Mischgutzusammensetzung und die Parameter entsprechen jeweils den Anforderungen der ZTVT-StB 95 an eine Asphalttragschicht 0/22 Mischgutart B gemäß Tabelle 4.2 dieser zusätzlichen Vertragsbedingungen.

Für die Zuordnung der Mischgutarten zu den Bauklassen und zur Einbauart gilt Tab. 4.1. der ZTVT-StB 95.

Unter Beachtung der angegebenen Randbedingungen empfehlen wir bei der vorgegebenen Kornzusammensetzung die **Mischung 2** mit einem Gesamtbindemittelgehalt von **4,4 M-%**.

Prof. Dr.-Ing. habil. P. Pilz  
Leiter der Prüfstelle

## Siebanalysen der Lieferkörnungen

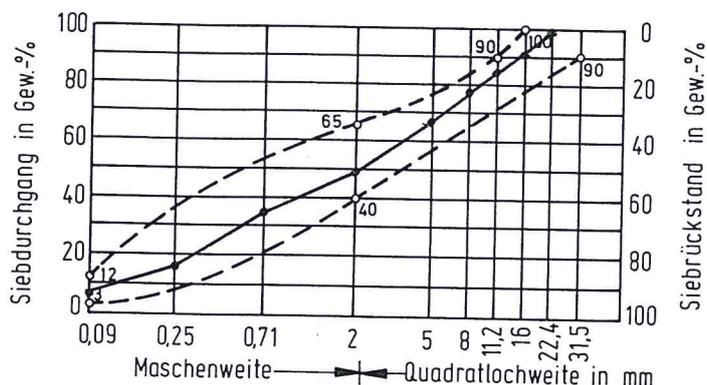
Nennöffnungsweite des Analysensiebess mm	Siebrückstand in M.-%								
	Mineralstoff-Nr.								
	971	972	973	Kies 2/5	Kies 5/8	Kies 8/11	Kies 11/16	Kies 16/22	Granu- lat
31,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,4	-	-	-	-	-	-	-	0,0	-
16,0	-	-	-	-	-	-	0,0	100,0	2,2
11,2	-	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0	4,3
8,0	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-	6,3
5,0	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-	-	13,3
2,0	-	0,0	0,0	100,0	0,0	-	-	-	23,6
0,71	-	6,5	43,1	0,0	-	-	-	-	18,8
0,25	-	58,7	31,5	-	-	-	-	-	17,5
0,09	4,4	29,7	13,4	-	-	-	-	-	7,1
< 0,09	95,6	5,1	12,0	-	-	-	-	-	6,9
Überkorn	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sollkorn	95,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Unterkorn	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

## Sieblinie des Mineralstoffgemisches

Nennöffnungsweite des Analysensiebess mm	Rückstand M.-%	Anteile		Durchgang M.-%
			M.-%	
45,0	-			100,0
31,5	-			100,0
22,4	0,0			100,0
16,0	8,7	Kies	50,9	91,3
11,2	7,2			84,1
8,0	5,9			78,2
5,0	12,0			66,2
2,0	17,1			49,1
0,71	13,6			35,5
0,25	19,7	Sand	42,4	15,8
0,09	9,1			6,7
<0,09	6,7	Füller	6,7	0,0

## Kornzusammensetzung

AS 6/30 bituminöse Tragschichten der Mischgutart B



Unsere Leistungen:  
 Fremdüberwachungen nach RG Min-StB  
 und TLG Asphalt  
 Eignungsprüfungen,  
 Kontroll- und Schiedsprüfungen  
 an Straßenbaustoffen und -gemischen  
 einschl. Recyclingbaustoffen,  
 Bitumen, Pech, bitumen- und pechhaltige  
 Bindemittel, Fugenvergußmassen,  
 Tragfähigkeitsprüfungen u. a.

Ihre Nachricht vom      Ihre Zeichen      Unsere Zeichen      Datum

09.12.1997

## Eignungsprüfung FO 2.2.2

Artikel **Asphaltbinder 0/16 S**

Forschungsauftrag 2166/96

Technische Vorschriften

1. ZTV Asphalt - StB 94 (Fassung Jan.1997)
2. Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt
3. DIN 1995, T.1, DIN 1996
4. TL Min-StB 94

Bindemittel **B 65**

### Verwendete Lieferkörnungen

Nr.	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte/Hersteller	M.-%
<b>Mineralstoffe</b>				
971	Kalkstein	Füllstoff	Caaschwitz	4,5
973	Grauwacke	Edelbrechsand 0/2	Großkoschen	22,5
974	Grauwacke	Edelsplitt 2/5	Großkoschen	16,0
975	Grauwacke	Edelsplitt 5/8	Großkoschen	12,0
976	Grauwacke	Edelsplitt 8/11	Großkoschen	14,0
977	Grauwacke	Edelsplitt 11/16	Großkoschen	25,0
978	Grauwacke	Edelsplitt 16/22	Großkoschen	6,0

Rohdichte des Mineralstoffgemisches: 2,740 g/cm<sup>3</sup>

Brechsand-Natursand-Verhältnis: 1 : 0

Friedrich-List-Platz 1  
 01069 Dresden

Postanschrift:  
 PF 120701  
 01008 Dresden

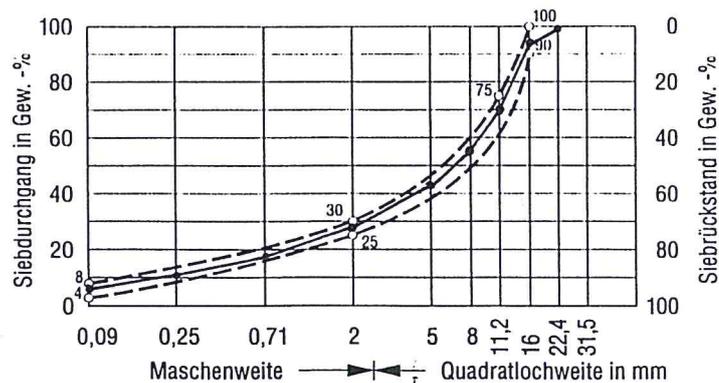
### Siebanalysen der Lieferkörnungen

Nennöffnungsweite des Analysensiebes mm	Siebrückstand in M.-%							
	Mineralstoff-Nr.							
	971	973	974	975	976	977	978	
31,5	-	-	-	-	-	-	-	
22,4	-	-	-	-	-	-	0,0	
16,0	-	-	-	-	-	0,0	100,0	
11,2	-	-	-	-	0,0	100,0	0,0	
8,0	-	-	-	0,0	100,0	0,0	-	
5,0	-	-	0,0	100,0	0,0	-	-	
2,0	-	0,0	100,0	0,0	-	-	-	
0,71	-	43,1	0,0	-	-	-	-	
0,25	-	31,5	-	-	-	-	-	
0,09	4,4	13,4	-	-	-	-	-	
< 0,09	95,6	12,0	-	-	-	-	-	
Überkorn	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sollkorn	95,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Unterkorn	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

### Sieblinie des Mineralstoffgemisches

Nennöffnungsweite des Analysensiebes mm	Rückstand	Anteile		Durchgang
	M.-%	M.-%		M.-%
45,0	-			100,0
31,5	-			100,0
22,4	-			100,0
16,0	6,0	Splitt	73,0	95,0
11,2	25,0			70,0
8,0	14,0			55,0
5,0	12,0			43,0
2,0	16,0			27,0
0,71	9,7	Sand	20,0	17,3
0,25	7,1			10,2
0,09	3,2			7,0
<0,09	7,0	Füller	7,0	-

### Kornzusammensetzung



Prüfergebnisse der Eignungsprüfung

Merkmale		Mischgutzusammensetzung			
		1	2	3	I*
<b>Bindemittelanteil u. -eigenschaften</b>					
Bindemittelgehalt B 65	M.-%	4,50	5,00	5,50	5,30
Bindemittel auf 100 Teile Mineral	M.-%	4,71	5,26	5,82	5,60
Dichte des Bindemittels	g/cm <sup>3</sup>	1,025			
<b>Eigenschaften des Mischgutes sowie des verdichteten Asphalt</b>					
Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,326	2,334	2,354	2,346
Mischgutrohdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,548	2,528	2,509	2,516
Hohlräume errechnet	Vol.-%	8,7	7,7	6,2	6,8
Bindemittelvolumen	Vol.-%	10,2	11,4	12,6	12,1
Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	18,9	19,1	18,8	18,9
Hohlraumfüllungsgrad	%	54,0	59,7	67,2	64,2
Marshall-Stabilität	kN				
Marshall-Fließwert	mm				

\* Interpolationsvariante

**Beurteilung:**

Mit den auf Blatt 1 aufgeführten Zuschlagstoffen wurden 3 Mischungen gleicher Kornzusammensetzung, jedoch unterschiedlicher Bindemittelgehalte hergestellt. Die Mischgutzusammensetzung entspricht den Anforderungen der ZTV Asphalt-StB 94 (Fassung Jan. 1997) an einen Asphaltbinder 0/16 S.

Unter Beachtung der angegebenen Randbedingungen empfehlen wir bei der vorgegebenen Kornzusammensetzung die **Mischung I** mit **5,3 M.-% B 65** nach DIN 1995, Teil 1.

Prof. Dr.-Ing.habil. P. Pilz  
Leiter der Prüfstelle

Unsere Leistungen:  
 Fremdüberwachungen nach RG Min-StB  
 und TLG Asphalt  
 Eignungsprüfungen,  
 Kontroll- und Schiedsprüfungen  
 an Straßenbaustoffen und -gemischen  
 einschl. Recyclingbaustoffen,  
 Bitumen, Pech, bitumen- und pechhaltige  
 Bindemittel, Fugenvergußmassen,  
 Tragfähigkeitsprüfungen u. a.

05.12.1997

Ihre Nachricht vom      Ihre Zeichen      Unsere Zeichen      Datum

## Eignungsprüfung FO 3.2.2

Artikel      **Splittmastixasphalt 0/11 S**

Forschungsauftrag 2166/96

Technische Vorschriften      1. ZTV Asphalt - StB 94 (Fassung Jan.1997)  
 2. Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt  
 3. DIN 1995, T.1, DIN 1996  
 4. TL Min-StB 94

Bindemittel      **B 65**

### Verwendete Lieferkörnungen

Nr.	Bezeichnung	Lieferkörnung	Gewinnungsstätte/Hersteller	M.-%
<b>Mineralstoffe</b>				
971	Kalkstein	Füllstoff	Caaschwitz	9,1
973	Grauwacke	Edelbrechsand 0/2	Großkoschen	14,0
974	Grauwacke	Edelsplitt 2/5	Großkoschen	12,0
975	Grauwacke	Edelsplitt 5/8	Großkoschen	22,0
976	Grauwacke	Edelsplitt 8/11	Großkoschen	37,0
977	Grauwacke	Edelsplitt 11/16	Großkoschen	5,6
<b>Additive</b>				
528	Technocel 1004		Cellulose-Füllstoff-Fabrik Mönchengladbach	0,3

Rohdichte des Mineralstoffgemisches:      2,739 g/cm<sup>3</sup>

Brechsand-Natursand-Verhältnis:      1 : 0

Friedrich-List-Platz 1  
 01069 Dresden

Postanschrift:  
 PF 120701  
 01008 Dresden

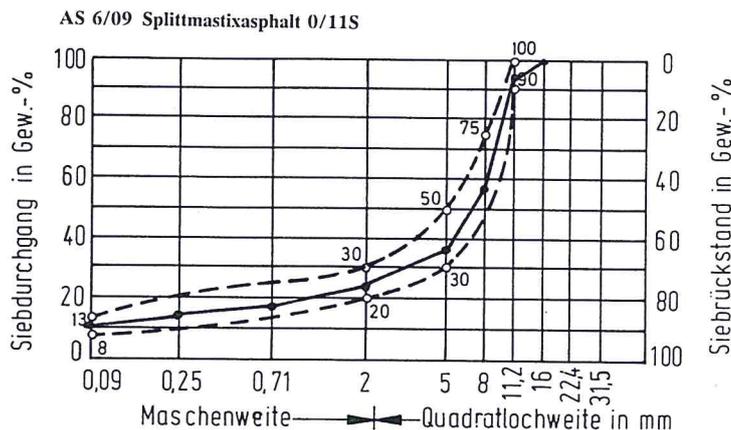
**Siebanalysen der Lieferkörnungen**

Nennöffnungsweite des Analysensieb mm	Siebrückstand in M.-%						
	Mineralstoff-Nr.						
	971	973	974	975	976	977	
31,5	-	-	-	-	-	-	
22,4	-	-	-	-	-	-	
16,0	-	-	-	-	-	0,0	
11,2	-	-	-	-	0,0	100,0	
8,0	-	-	-	0,0	100,0	0,0	
5,0	-	-	0,0	100,0	0,0	-	
2,0	-	0,0	100,0	0,0	-	-	
0,71	-	43,1	0,0	-	-	-	
0,25	-	31,5	-	-	-	-	
0,09	4,4	13,4	-	-	-	-	
< 0,09	95,6	12,0	-	-	-	-	
Überkorn	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sollkorn	95,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Unterkorn	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	

**Sieblinie des Mineralstoffgemisches**

Nennöffnungsweite des Analysensieb mm	Rückstand	Anteile		Durchgang
	M.-%	M.-%		M.-%
45,0	-			100,0
31,5	-			100,0
22,4	-			100,0
16,0	-	Splitt	76,6	100,0
11,2	5,6			94,4
8,0	37,0			57,4
5,0	22,0			35,4
2,0	12,0			23,4
0,71	6,0	Sand	12,7	17,4
0,25	4,4			13,0
0,09	2,3			10,7
<0,09	10,7	Füller	10,7	-

**Kornzusammensetzung**



Prüfergebnisse der Eignungsprüfung

Merkmale		Mischgutzusammensetzung			
		1	2	3	I*
<b>Bindemittelanteil u. -eigenschaften</b>					
Bindemittelgehalt B 65	M.-%	6,80	7,30	7,80	7,50
Bindemittel auf 100 Teile Mineral	M.-%	7,30	7,87	8,46	8,11
Dichte des Bindemittels	g/cm <sup>3</sup>	1,025			
<b>Eigenschaften des Mischgutes sowie des verdichteten Asphaltes</b>					
Raumdichte	g/cm <sup>3</sup>	2,320	2,343	2,345	2,344
Mischgutrohndichte	g/cm <sup>3</sup>	2,459	2,441	2,423	2,434
Hohlräume errechnet	Vol.-%	5,7	4,0	3,2	3,7
Bindemittelvolumen	Vol.-%	15,4	16,7	17,8	17,1
Fiktiver Hohlraumgehalt	Vol.-%	21,1	20,7	21,1	20,8
Hohlraumfüllungsgrad	%	73,1	80,6	84,7	82,3
Marshall-Stabilität	kN				
Marshall-Fließwert	mm				

\* Interpolationsvariante

**Beurteilung:**

Mit den auf Blatt 1 aufgeführten Zuschlagstoffen wurden 3 Mischungen gleicher Kornzusammensetzung, jedoch unterschiedlicher Bindemittelgehalte hergestellt. Die Mischgutzusammensetzung entspricht den Anforderungen der ZTV Asphalt-StB 94 (Fassung Jan. 1997) an einen Splittmastixasphalt 0/11 S.

Unter Beachtung der angegebenen Randbedingungen empfehlen wir bei der vorgegebenen Kornzusammensetzung die **Mischung I** mit **7,5 M.-% B 65** nach DIN 1995, Teil 1.

Prof. Dr.-Ing.habil. P. Pilz  
Leiter der Prüfstelle

Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Dresden  
Prüfstelle für bit. Baustoffe  
Prof. Dr.-Ing. P. Pilz

DIN 1996, T.14

## Korngrößenverteilung durch Siebanalyse

Probe:  
Asphaltgranulat - Forschung  
MA DEUTAG Freital

Bearbeiter: Heinrich/Dittrich  
Mat.Nr. 1036  
Datum: 07.01.1998

Maschen- weite mm	Siebrückstand				Siebdurchgang	
	1. Siebung g	2. Siebung g	Mittel g      %		g	%
45,0						
31,5						
22,4						
16,0	47,36	39,98	43,67	2,3	1843,92	97,7
11,2	69,64	92,78	81,21	4,3	1762,71	93,4
8,0	132,36	103,73	118,05	6,3	1644,66	87,1
5,0	233,70	268,70	251,20	13,3	1393,46	73,8
2,0	445,08	444,14	444,61	23,6	948,85	50,3
0,71	364,78	346,35	355,57	18,8	593,29	31,4
0,25	325,58	335,06	330,32	17,5	262,97	13,9
0,090	131,03	135,85	133,44	7,1	129,53	6,9
<0,09	135,76	123,29	129,53	6,9	0,00	0,0
	1885,29	1889,88	1887,59	100,0		

Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Dresden  
Prüfstelle für bit. Baustoffe  
Prof. Dr.-Ing. P. Pilz

## DIN 1996 Teil 06 A-D

### Heißextraktion

Probe: Asphaltgranulat - Forschung MA DEUTAG Freital		Bearbeiter: Heinrich/Dittrich Mat.Nr. 1036 Datum: 07.01.1998		
Nummer der Probe		2	3	
Masse der Hülse	g	1231,300	1224,700	
Masse der Hülse mit Probe	g	3232,100	3225,400	
Einwaage	g	2000,800	2000,700	
Masse der Hülse mit Mineralstoff	g	3125,800	3120,200	
Masse der Hülse mit Füller	g	1231,300	1224,700	
Hülsenfüller	g	0,000	0,000	
Siebmineral	g	1894,500	1895,500	
Masse des Zentrifugenbeckers	g	685,950	686,080	
Masse des Zentrifugenbeckers + Füller	g	701,520	702,570	
Füller	g	15,570	16,490	
Mineralstoff	g	1910,070	1911,990	
Bindemittelgehalt	g	90,730	88,710	
Bindemittelgehalt	%	4,535	4,434	
Zuschlag (unlösliches Bindemittel)	%	0,190	0,190	
Gesamtbindemittelgehalt	%	4,724	4,624	
Mittelwert	%		4,7	

Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Dresden  
Prüfstelle für bit. Baustoffe  
Prof. Dr.-Ing. P. Pilz

## DIN 1996 Teil 7

## Rohdichte von Asphalten

Probe: Asphaltgranulat - Forschung MA DEUTAG Freital	Bearbeiter: Dittrich Mat.Nr. 1036 Datum: 07.01.1998
--	---

Nummer des Pyknometers		3	17	
Masse des Pyknometers mit Schliffaufsatz	$m_1$ g	708,760	700,600	
Masse des Pyknometers mit Schliffaufsatz und Probe	$m_2$ g	1708,900	1700,800	
Masse des Probeteils	g	1000,140	1000,200	
Masse des Pyknometers mit Schliffaufsatz und Prüfflüssigkeit	g			
Masse der Prüfflüssigkeit (Prüftemperatur 25°C)	g			
Dichte der Prüfflüssigkeit	$g/cm^3$	1,455	1,455	
Volumen des Pyknometers bis Meßmarke	$cm^3$	1285,647	1308,325	
Masse des Pyknometers mit Schliffaufsatz, Probeteil und aufgefüllter Prüfflüssigkeit bei 25°C	$m_3$ g	3012,200	3037,200	
Rohdichte $\rho_{R,bit}$	$g/cm^3$	2,565	2,566	
Mittelwert $\rho_{R,bit}$	$g/cm^3$	2,565		

## Verdichtbarkeit nach Arand

	Mischgut	D			Bestimmtheitsmaß		
		21 Nm			%		
1	Bindemittelgehalt in M.-%	3,9	4,4	4,9	3,9	4,4	4,9
	Tragschicht 0/22 B Eignungsprüfung 1.1.2	22,0	26,8	17,1	91,8	98,6	88,1
		33,2	24,4	16,7	94,7	71,8	93,1
		19,4	22,3	30,3	85,0	91,9	95,8
		17,5	25,9	29,0	81,7	85,7	75,5
		19,8	25,3	11,5	95,9	93,0	82,2
	Mittel		22,7			88,3	
2	Bindemittelgehalt in M.-%	4,5	5,0	5,5	4,5	5,0	5,0
	Asphaltbinder 0/16 S Eignungsprüfung 2.2.2	32,2	33,7	43,1	98,2	96,6	98,7
		35,6	37,5	44,6	97,7	98,3	98,4
		34,7	41,6	46,8	97,5	96,9	98,7
		33,2	40,8	42,1	98,1	98,7	98,6
		38,1	45,7	43,7	97,8	98,0	98,6
	Mittel		39,6			98,1	
3	Bindemittelgehalt in M.-%	6,8	7,3	7,8	6,8	7,3	7,8
	Splittmastixasphalt 0/11 S Eignungsprüfung 3.2.2	41,6	35,0	33,9	75,5	92,9	65,6
		32,8	44,6	28,5	97,4	63,3	86,8
		44,3	21,6	24,5	85,2	96,7	94,1
		48,6	44,1	37,7	81,5	89,4	88,5
		37,7	30,5	34,4	86,2	92,9	99,4
	Mittel		36,0			86,4	

Zusammenstellung der Raumdichten des Tragschicht- Mischgutes 0/22 B								
PK- Nr.	x <sub>1</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>2</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>3</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>4</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>5</sub> g/cm <sup>3</sup>	Mittel g/cm <sup>3</sup>	Standardabw. g/cm <sup>3</sup>	Spannweite g/cm <sup>3</sup>
1.1.1.1	2,266	2,262	2,262	2,282	2,256	2,266	0,009	0,026
1.1.1.2	2,274	2,289	2,291	2,293	2,293	2,288	0,007	0,019
1.1.1.3	2,308	2,319	2,308	2,316	2,323	2,315	0,006	0,015
1.1.2.1	2,305	2,282	2,279	2,284	2,275	2,285	0,010	0,030
1.1.2.2	2,299	2,291	2,304	2,295	2,302	2,299	0,005	0,013
1.1.2.3	2,337	2,339	2,341	2,327	2,322	2,334	0,007	0,019
1.1.3.1	2,313	2,315	2,304	2,299	2,309	2,308	0,006	0,016
1.1.3.2	2,322	2,325	2,320	2,323	2,325	2,323	0,002	0,005
1.1.3.3	2,349	2,343	2,349	2,342	2,332	2,343	0,006	0,017
1.2.1.1	2,262	2,246	2,248	2,250	2,242	2,250	0,007	0,020
1.2.1.2	2,272	2,278	2,264	2,273	2,256	2,269	0,008	0,022
1.2.1.3	2,280	2,283	2,282	2,287	2,279	2,282	0,003	0,008
1.2.2.1	2,289	2,279	2,254	2,274	2,275	2,274	0,011	0,035
1.2.2.2	2,283	2,286	2,276	2,290	2,285	2,284	0,005	0,014
1.2.2.3	2,320	2,313	2,323	2,305	2,324	2,317	0,007	0,019
1.2.3.1	2,292	2,309	2,308	2,305	2,307	2,304	0,006	0,017
1.2.3.2	2,318	2,324	2,313	2,327	2,319	2,320	0,005	0,014
1.2.3.3	2,339	2,329	2,344	2,315	2,344	2,334	0,011	0,029
1.2.4.1	2,291	2,321	2,279	2,288	2,295	2,295	0,014	0,042
1.2.4.2	2,304	2,304	2,293	2,312	2,308	2,304	0,006	0,019
1.2.4.3	2,335	2,343	2,315	2,326	2,322	2,328	0,010	0,028
1.3.1.1	2,245	2,261	2,253	2,244	2,231	2,247	0,010	0,030
1.3.1.2	2,276	2,270	2,278	2,263	2,266	2,271	0,006	0,015
1.3.1.3	2,285	2,284	2,282	2,265	2,286	2,280	0,008	0,021
1.3.2.1	2,245	2,253	2,239	2,246	2,245	2,246	0,004	0,014

1.3.2.2	2,251	2,252	2,258	2,261	2,255	2,256	0,004	0,010
1.3.2.3	2,280	2,282	2,259	2,267	2,282	2,274	0,009	0,023
1.3.3.1	2,303	2,300	2,299	2,310	2,300	2,303	0,004	0,011
1.3.3.2	2,315	2,316	2,321	2,320	2,332	2,321	0,006	0,017
1.3.3.3	2,325	2,335	2,343	2,338	2,336	2,335	0,006	0,018
1.3.4.1	2,303	2,291	2,290	2,294	2,302	2,296	0,005	0,013
1.3.4.2	2,317	2,323	2,321	2,298	2,328	2,317	0,010	0,030
1.3.4.3	2,335	2,329	2,338	2,319	2,322	2,329	0,007	0,019
1.7.1.1	2,213	2,199	2,212	2,182	2,184	2,198	0,013	0,031
1.7.1.2	2,216	2,202	2,234	2,222	2,196	2,214	0,014	0,038
1.7.1.3	2,220	2,215	2,230	2,244	2,231	2,228	0,010	0,029
1.7.2.1	2,263	2,254	2,243	2,255	2,266	2,256	0,008	0,023
1.7.2.2	2,287	2,284	2,285	2,283	2,271	2,282	0,006	0,016
1.7.2.3	2,316	2,305	2,302	2,291	2,309	2,305	0,008	0,025
1.7.3.1	2,291	2,280	2,285	2,293	2,300	2,290	0,007	0,020
1.7.3.2	2,310	2,314	2,310	2,303	2,313	2,310	0,004	0,011
1.7.3.3	2,325	2,317	2,343	2,332	2,327	2,329	0,009	0,026
1.7.4.1	2,272	2,263	2,244	2,257	2,250	2,257	0,010	0,028
1.7.4.2	2,267	2,265	2,269	2,273	2,264	2,268	0,003	0,009
1.7.4.3	2,288	2,284	2,286	2,282	2,276	2,283	0,004	0,012
1.8/1.1.1	2,230	2,258	2,240	2,250	2,246	2,245	0,009	0,028
1.8/1.1.2	2,257	2,268	2,250	2,245	2,270	2,258	0,010	0,025
1.8/1.1.3	2,284	2,276	2,301	2,282	2,276	2,284	0,009	0,025
1.8/1.2.1	2,272	2,285	2,282	2,287	2,273	2,279	0,006	0,015
1.8/1.2.2	2,267	2,314	2,288	2,293	2,294	2,290	0,015	0,047
1.8/1.2.3	2,281	2,277	2,296	2,271	2,281	2,281	0,008	0,025
1.8/1.3.1	2,289	2,301	2,295	2,307	2,307	2,300	0,007	0,018
1.8/1.3.2	2,290	2,301	2,286	2,291	2,294	2,293	0,005	0,015
1.8/1.3.3	2,322	2,313	2,318	2,317	2,318	2,318	0,003	0,009

1.8/2.1.1	2,228	2,228	2,236	2,231	2,218	2,228	0,006	0,018
1.8/2.1.2	2,241	2,240	2,238	2,228	2,237	2,237	0,005	0,013
1.8/2.1.3	2,259	2,264	2,258	2,259	2,245	2,257	0,006	0,019
1.8/2.2.1	2,244	2,239	2,244	2,249	2,227	2,241	0,007	0,022
1.8/2.2.2	2,263	2,237	2,263	2,241	2,238	2,248	0,012	0,026
1.8/2.2.3	2,239	2,238	2,226	2,241	2,225	2,234	0,007	0,016
1.8/2.3.1	2,281	2,257	2,264	2,263	2,267	2,267	0,008	0,024
1.8/2.3.2	2,293	2,306	2,296	2,306	2,308	2,302	0,006	0,015
1.8/2.3.3	2,326	2,330	2,333	2,322	2,336	2,330	0,005	0,014
						Mittelwerte	0,0073	0,0205

Zusammenstellung der Raumdichten des Asfaltbinders 0/16 S

PK- Nr.	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	Mittelwert	Standardabw.	Spannweite
	g/cm <sup>3</sup>							
2.1.1.1	2,294	2,279	2,296	2,305	2,310	2,297	0,011	0,031
2.1.1.2	2,317	2,305	2,313	2,309	2,322	2,313	0,006	0,017
2.1.1.3	2,306	2,297	2,306	2,315	2,308	2,306	0,006	0,018
2.1.2.1	2,332	2,313	2,324	2,321	2,334	2,325	0,008	0,021
2.1.2.2	2,343	2,351	2,339	2,334	2,338	2,341	0,006	0,017
2.1.2.3	2,323	2,323	2,351	2,319	2,325	2,328	0,012	0,032
2.1.3.1	2,332	2,327	2,325	2,320	2,327	2,326	0,004	0,012
2.1.3.2	2,337	2,330	2,328	2,333	2,319	2,329	0,006	0,018
2.1.3.3	2,346	2,345	2,348	2,339	2,354	2,346	0,005	0,015
2.2.1.1	2,290	2,293	2,290	2,280	2,284	2,288	0,005	0,013
2.2.1.2	2,299	2,286	2,278	2,282	2,281	2,285	0,007	0,021
2.2.1.3	2,302	2,312	2,289	2,294	2,298	2,299	0,008	0,023
2.2.2.1	2,326	2,330	2,322	2,330	2,322	2,326	0,004	0,008
2.2.2.2	2,337	2,327	2,343	2,341	2,323	2,334	0,008	0,020
2.2.2.3	2,344	2,351	2,348	2,377	2,352	2,354	0,012	0,033
2.2.3.1	2,342	2,328	2,350	2,345	2,333	2,340	0,008	0,022
2.2.3.2	2,346	2,347	2,342	2,337	2,361	2,347	0,008	0,024
2.2.3.3	2,403	2,383	2,359	2,408	2,356	2,382	0,022	0,052
2.2.4.1	2,343	2,339	2,337	2,349	2,329	2,340	0,007	0,020
2.2.4.2	2,343	2,357	2,342	2,346	2,338	2,345	0,006	0,019
2.2.4.3	2,352	2,355	2,355	2,344	2,354	2,352	0,004	0,011
2.3.1.1	2,275	2,276	2,280	2,277	2,286	2,279	0,004	0,011
2.3.1.2	2,285	2,287	2,290	2,295	2,285	2,288	0,004	0,010
2.3.1.3	2,299	2,290	2,287	2,296	2,305	2,295	0,006	0,018
2.3.2.1	2,316	2,310	2,316	2,327	2,319	2,318	0,006	0,017

2.3.2.2	2,319	2,328	2,323	2,334	2,337	2,328	0,007	0,018
2.3.2.3	2,337	2,352	2,343	2,341	2,344	2,343	0,005	0,015
2.3.3.1	2,357	2,349	2,330	2,364	2,346	2,349	0,011	0,034
2.3.3.2	2,347	2,343	2,335	2,355	2,346	2,345	0,006	0,020
2.3.3.3	2,343	2,367	2,335	2,346	2,350	2,348	0,011	0,032
2.3.4.1	2,330	2,332	2,336	2,332	2,323	2,331	0,004	0,013
2.3.4.2	2,338	2,326	2,329	2,330	2,328	2,330	0,004	0,012
2.3.4.3	2,343	2,353	2,368	2,367	2,348	2,356	0,010	0,025
2.4.1.1	2,303	2,279	2,292	2,288	2,300	2,292	0,009	0,024
2.4.1.2	2,287	2,300	2,312	2,304	2,294	2,299	0,009	0,025
2.4.1.3	2,283	2,293	2,283	2,281	2,275	2,283	0,006	0,018
2.4.2.1	2,312	2,329	2,326	2,319	2,338	2,325	0,009	0,026
2.4.2.2	2,320	2,332	2,337	2,329	2,329	2,330	0,006	0,017
2.4.2.3	2,320	2,327	2,349	2,320	2,332	2,330	0,011	0,029
2.4.3.1	2,338	2,331	2,331	2,321	2,331	2,330	0,005	0,017
2.4.3.2	2,367	2,338	2,340	2,355	2,352	2,350	0,011	0,029
2.4.3.3	2,371	2,352	2,364	2,370	2,366	2,365	0,007	0,019
2.4.4.1	2,337	2,351	2,336	2,321	2,311	2,331	0,014	0,040
2.4.4.2	2,339	2,336	2,341	2,356	2,336	2,342	0,007	0,020
2.4.4.3	2,345	2,351	2,341	2,354	2,342	2,348	0,005	0,013
2.5.1.1	2,292	2,276	2,271	2,291	2,279	2,282	0,008	0,021
2.5.1.2	2,291	2,299	2,305	2,290	2,288	2,295	0,006	0,017
2.5.1.3	2,318	2,305	2,304	2,307	2,291	2,305	0,009	0,027
2.5.2.1	2,310	2,330	2,325	2,325	2,329	2,324	0,007	0,020
2.5.2.2	2,322	2,320	2,320	2,326	2,350	2,328	0,011	0,030
2.5.2.3	2,335	2,330	2,339	2,331	2,334	2,334	0,003	0,009
2.5.3.1	2,359	2,336	2,344	2,334	2,344	2,343	0,009	0,025
2.5.3.2	2,345	2,375	2,360	2,373	2,362	2,363	0,011	0,030
2.5.3.3	2,391	2,364	2,372	2,383	2,364	2,375	0,011	0,027

2.5.4.1	2,335	2,339	2,328	2,332	2,352	2,337	0,008	0,024
2.5.4.2	2,328	2,325	2,338	2,331	2,337	2,332	0,005	0,013
2.5.4.3	2,330	2,343	2,331	2,335	2,326	2,333	0,006	0,017
2.6.1.1	2,312	2,305	2,321	2,304	2,303	2,309	0,007	0,018
2.6.1.2	2,306	2,305	2,304	2,319	2,314	2,310	0,006	0,015
2.6.1.3	2,309	2,312	2,315	2,308	2,324	2,314	0,006	0,016
2.6.2.1	2,324	2,338	2,331	2,330	2,328	2,330	0,005	0,014
2.6.2.2	2,335	2,332	2,324	2,337	2,319	2,329	0,007	0,018
2.6.2.3	2,343	2,354	2,350	2,358	2,343	2,350	0,006	0,015
2.6.3.1	2,364	2,337	2,341	2,356	2,355	2,351	0,010	0,027
2.6.3.2	2,354	2,334	2,330	2,333	2,350	2,340	0,010	0,024
2.6.3.3	2,349	2,344	2,346	2,319	2,352	2,342	0,012	0,033
2.6.4.1	2,353	2,339	2,328	2,328	2,350	2,339	0,011	0,025
2.6.4.2	2,340	2,337	2,322	2,316	2,336	2,330	0,009	0,024
2.6.4.3	2,325	2,352	2,352	2,352	2,345	2,345	0,010	0,027
2.7.1.1	2,291	2,274	2,302	2,283	2,297	2,289	0,010	0,028
2.7.1.2	2,287	2,289	2,299	2,301	2,282	2,291	0,007	0,019
2.7.1.3	2,294	2,284	2,306	2,281	2,299	2,293	0,009	0,025
2.7.2.1	2,300	2,309	2,293	2,299	2,304	2,301	0,005	0,016
2.7.2.2	2,317	2,297	2,321	2,297	2,314	2,309	0,010	0,024
2.7.2.3	2,302	2,313	2,298	2,316	2,326	2,311	0,010	0,028
2.7.3.1	2,330	2,321	2,329	2,325	2,342	2,330	0,007	0,021
2.7.3.2	2,318	2,352	2,335	2,344	2,337	2,337	0,011	0,034
2.7.3.3	2,333	2,326	2,349	2,338	2,354	2,341	0,010	0,028
2.7.4.1	2,351	2,341	2,347	2,352	2,348	2,348	0,004	0,011
2.7.4.2	2,347	2,349	2,350	2,335	2,351	2,346	0,006	0,016
2.7.4.3	2,344	2,329	2,363	2,348	2,339	2,345	0,011	0,034
						Mittelwerte:	0,0078	0,0216

Zusammenstellung der Raumdichten des Splittmastixasphaltes 0/11 S									
PK- Nr.	x <sub>1</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>2</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>3</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>4</sub> g/cm <sup>3</sup>	x <sub>5</sub> g/cm <sup>3</sup>	Mittel g/cm <sup>3</sup>	Standardabw. g/cm <sup>3</sup>	Spannweite g/cm <sup>3</sup>	
-									
3.2.1.1	2,291	2,295	2,290	2,274	2,300	2,290	0,009	0,026	
3.2.1.2	2,283	2,294	2,288	2,286	2,289	2,288	0,004	0,011	
3.2.1.3	2,302	2,274	2,311	2,296	2,296	2,296	0,012	0,037	
3.2.2.1	2,326	2,325	2,322	2,313	2,312	2,320	0,006	0,014	
3.2.2.2	2,345	2,325	2,328	2,354	2,362	2,343	0,014	0,037	
3.2.2.3	2,342	2,348	2,343	2,343	2,350	2,345	0,003	0,008	
3.2.3.1	2,366	2,363	2,355	2,359	2,371	2,363	0,006	0,016	
3.2.3.2	2,364	2,377	2,373	2,384	2,371	2,374	0,007	0,020	
3.2.3.3	2,369	2,356	2,363	2,351	2,361	2,360	0,006	0,018	
3.2.4.1	2,338	2,359	2,351	2,351	2,360	2,352	0,008	0,022	
3.2.4.2	2,348	2,340	2,341	2,361	2,366	2,351	0,011	0,026	
3.2.4.3	2,347	2,354	2,335	2,361	2,338	2,347	0,010	0,026	
3.3.1.1	2,284	2,290	2,282	2,264	2,272	2,278	0,009	0,026	
3.3.1.2	2,269	2,271	2,269	2,269	2,267	2,269	0,001	0,004	
3.3.1.3	2,273	2,279	2,283	2,269	2,290	2,279	0,007	0,021	
3.3.2.1	2,323	2,313	2,307	2,319	2,328	2,318	0,007	0,021	
3.3.2.2	2,323	2,324	2,325	2,323	2,325	2,324	0,001	0,002	
3.3.2.3	2,344	2,326	2,348	2,346	2,317	2,336	0,012	0,031	
3.3.3.1	2,350	2,351	2,355	2,379	2,371	2,361	0,012	0,029	
3.3.3.2	2,368	2,354	2,368	2,369	2,381	2,368	0,009	0,027	
3.3.3.3	2,357	2,372	2,355	2,349	2,356	2,358	0,008	0,023	
3.3.4.1	2,354	2,355	2,338	2,343	2,331	2,344	0,009	0,024	
3.3.4.2	2,346	2,361	2,342	2,361	2,365	2,355	0,009	0,023	
3.3.4.3	2,353	2,351	2,358	2,341	2,348	2,350	0,006	0,017	
3.4.1.1	2,289	2,290	2,268	2,281	2,271	2,280	0,009	0,022	

3.4.1.2	2,280	2,257	2,290	2,260	2,277	2,273	0,012	0,033
3.4.1.3	2,264	2,283	2,260	2,271	2,274	2,270	0,008	0,023
3.4.2.1	2,287	2,303	2,290	2,273	2,294	2,289	0,010	0,030
3.4.2.2	2,301	2,311	2,294	2,311	2,294	2,302	0,008	0,017
3.4.2.3	2,301	2,315	2,307	2,308	2,306	2,307	0,004	0,014
3.4.3.1	2,342	2,366	2,362	2,350	2,341	2,352	0,010	0,025
3.4.3.2	2,375	2,345	2,362	2,360	2,355	2,359	0,010	0,030
3.4.3.3	2,334	2,349	2,353	2,346	2,347	2,346	0,006	0,019
3.4.4.1	2,335	2,338	2,349	2,345	2,355	2,344	0,007	0,020
3.4.4.2	2,352	2,342	2,361	2,372	2,336	2,353	0,013	0,036
3.4.4.3	2,351	2,340	2,344	2,348	2,348	2,346	0,004	0,011
3.5.1.1	2,281	2,264	2,271	2,283	2,284	2,276	0,008	0,020
3.5.1.2	2,275	2,266	2,288	2,277	2,295	2,280	0,010	0,029
3.5.1.3	2,281	2,277	2,274	2,269	2,286	2,278	0,006	0,017
3.5.2.1	2,293	2,321	2,292	2,302	2,304	2,302	0,010	0,029
3.5.2.2	2,320	2,301	2,322	2,314	2,302	2,311	0,009	0,021
3.5.2.3	2,341	2,336	2,321	2,342	2,315	2,331	0,011	0,027
3.5.3.1	2,368	2,346	2,351	2,341	2,368	2,355	0,011	0,027
3.5.3.2	2,345	2,345	2,365	2,374	2,347	2,355	0,012	0,029
3.5.3.3	2,345	2,345	2,362	2,343	2,377	2,354	0,013	0,034
3.5.4.1	2,347	2,354	2,348	2,340	2,351	2,348	0,005	0,014
3.5.4.2	2,356	2,332	2,331	2,347	2,364	2,346	0,013	0,033
3.5.4.3	2,362	2,353	2,337	2,356	2,350	2,352	0,008	0,025
3.6.1.1	2,264	2,270	2,278	2,270	2,265	2,269	0,005	0,014
3.6.1.2	2,275	2,268	2,279	2,273	2,295	2,278	0,009	0,027
3.6.1.3	2,269	2,284	2,261	2,291	2,289	2,279	0,012	0,030
3.6.2.1	2,319	2,311	2,308	2,298	2,309	2,309	0,007	0,021
3.6.2.2	2,313	2,307	2,320	2,310	2,317	2,313	0,005	0,013
3.6.2.3	2,302	2,300	2,308	2,326	2,328	2,313	0,012	0,028

3.6.3.1	2,361	2,337	2,340	2,360	2,352	2,350	0,010	0,024
3.6.3.2	2,364	2,358	2,360	2,367	2,372	2,364	0,005	0,014
3.6.3.3	2,360	2,349	2,367	2,366	2,336	2,356	0,012	0,031
3.6.4.1	2,357	2,341	2,348	2,338	2,346	2,346	0,007	0,019
3.6.4.2	2,344	2,362	2,349	2,369	2,352	2,355	0,009	0,025
3.6.4.3	2,334	2,359	2,361	2,360	2,346	2,352	0,011	0,027
3.7.1.1	2,270	2,263	2,263	2,272	2,264	2,266	0,004	0,009
3.7.1.2	2,275	2,265	2,258	2,248	2,267	2,263	0,009	0,027
3.7.1.3	2,272	2,272	2,271	2,272	2,268	2,271	0,002	0,004
3.7.2.1	2,319	2,312	2,312	2,304	2,309	2,311	0,005	0,015
3.7.2.2	2,305	2,312	2,310	2,321	2,313	2,312	0,005	0,016
3.7.2.3	2,320	2,338	2,341	2,332	2,326	2,331	0,008	0,021
3.7.3.1	2,345	2,333	2,327	2,352	2,323	2,336	0,011	0,029
3.7.3.2	2,340	2,343	2,350	2,326	2,341	2,340	0,008	0,024
3.7.3.3	2,338	2,325	2,358	2,358	2,344	2,345	0,013	0,033
3.7.4.1	2,351	2,360	2,346	2,354	2,353	2,352	0,005	0,014
3.7.4.2	2,336	2,348	2,353	2,356	2,349	2,348	0,007	0,020
3.7.4.3	2,335	2,336	2,348	2,340	2,363	2,344	0,010	0,028
						Mittelwerte	0,0082	0,0223