

## Einfluss der Zugabe von Ausbauasphalten ohne und mit PmB auf die Eigenschaften von Asphaltbindervarianten bei Verwendung von PmB 45

FA 7.205

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig,  
Institut für Straßenwesen (Prof. Dr.-Ing.  
R. Leutner)

Bearbeiter: Lobach, T. / Renken, P.  
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und  
Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: August 2006

### 1. Aufgabenstellung

Die Straßenbauverwaltungen schreiben für den Asphaltbinder 0/16 S in letzter Zeit verstärkt als Bindemittel ein polymermodifiziertes Bitumen der Sorte PmB 45 aus, da einige Asphalteeigenschaften durch die Polymermodifizierung verbessert werden können. Gleichzeitig empfiehlt das Gebot der Verwertung von Ausbauasphalt auf höchstmöglichem Niveau der Wertschöpfung die Mitverwendung von Ausbauasphalt, insbesondere auch in den Asphaltbinderschichten.

Die Verwendung von Ausbauasphalt in Asphaltbinderschichten bis zu 30 M.-% ist Stand der Technik und konnte auf vielen Straßenbaustellen erfolgreich realisiert werden. Behindert wird die Verwendung von Ausbauasphalt in Asphaltbinder 0/16 S für den Fall, dass PmB verwendet werden soll. Formal wäre diese Forderung nur dann erfüllt, wenn auch der zur Verwendung vorgesehene Ausbauasphalt PmB enthält.

Wenn statt aus Straßen gezielt gefräster Ausbauasphalt mit bekannter Zusammensetzung Ausbauasphalt aus einer Halde verwendet werden soll, bleibt unsicher, ob das Asphaltgranulat überhaupt PmB oder nur Straßenbaubitumen enthält. Dabei ist die Auswirkung der Art des Asphaltgranulates – mit PmB oder ohne PmB – auf die Gebrauchseigenschaften der Asphaltbinderschicht unbekannt. Es ist auch nicht auszuschließen, dass wegen eines möglichen Doppelumhüllungseffektes durch das "frische" PmB dieses gegenüber dem "alten" Bindemittel im Asphalt dominiert. Dieser Effekt wurde im Forschungsprojekt FE 7.194 [3] bei der Zugabe von weichem Bindemittel zu Varianten mit hartem Ausbauasphalt festgestellt. Es ist daher möglich, dass auf diese Weise kein qualitätsmindernder Einfluss auf die Asphalteeigen-

schaften durch die Verwendung von Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen stattfindet.

Ziel des Forschungsvorhabens war es zu überprüfen, ob die Qualität eines Asphaltbinders der sogenannten S-Variante unter Verwendung von PmB nachteilig beeinflusst wird, wenn Ausbauasphalte zugegeben werden, die PmB oder Straßenbaubitumen enthalten. Konkret war dabei zu überprüfen, ob das Verschneiden des frisch zugegebenen PmB 45A mit dem Straßenbaubitumen aus dem Asphaltgranulat die Asphalteeigenschaften Verformung, Kälte, Ermüdung und Haftung nachteilig beeinflussen und wie groß gegebenenfalls ein solcher Einfluss ist. Gleichzeitig war zu klären, ob das Bindemittel eines polymermodifizierten Ausbauasphaltes überhaupt noch die gewünschten Eigenschaften besitzt und inwieweit sich die Eigenschaften von PmB unter Zugabe von Straßenbaubitumen verändern.

### 2. Untersuchungsmethodik

#### 2.1 Art und Umfang der Untersuchungsvariation

Für die Auswahl von zwei PmB 45-Produkten zur Asphaltherstellung wurden im Rahmen von Voruntersuchungen fünf PmB 45A-Produkte unterschiedlicher Hersteller im Originalzustand und nach Abmischungen mit Straßenbaubitumen 30/45 in 6 Zugabestufen (0/20/40/60/80/100 M.-%) hinsichtlich der konventionellen und performance-orientierten Bitumeneigenschaften Erweichungspunkt Ring und Kugel (EwP), Nadelpenetration (Pen), Brechpunkt nach Fraaß (BP), elastische Rückstellung (el-R), Kraftduktilität (KD) und im dynamischen Scherrheometer (DSR) überprüft. Das Ziel war dabei, zwei Produkte auszuwählen, die das Gesamtspektrum der Eigenschaften der marktgängigen PmB 45 abdecken sollten. An den beiden ausgewählten PmB 45A-Produkten wurden Alterungsversuche durchgeführt sowie Abmischungen aus frischem PmB 45A mit RTFOT-gealtertem PmB 45A und RTFOT-gealtertem Straßenbaubitumen 30/45 hergestellt und daran die konventionellen und performance-orientierten Bitumeneigenschaften überprüft.

Gegenstand der Hauptuntersuchungen war ein Asphaltbinder-mischgut 0/16 S mit PmB 45A, hergestellt mit zwei unterschiedlichen Asphaltgranulatqualitäten (ein Asphaltgranulat mit Straßen-

baubitumen und ein Asphaltgranulat mit PmB) unter Variation der Herstellmodalitäten. Ausgehend von Null-Varianten ohne Asphaltgranulatzugabe mit den beiden PmB 45A-Produkten und unter Variation der Nachmischzeit (30/180 Sekunden) – deren mechanische Eigenschaften als Referenz für die Asphaltbindervarianten mit Asphaltgranulatzugabe gelten können – wurden folgende Variationen vorgenommen:

- PmB 45A-Produkt (zwei PmB 45A-Produkte unterschiedlicher Hersteller),
- Asphaltgranulatqualität (mit Straßenbaubitumen/mit PmB),
- Zugabemenge des Asphaltgranulates (15 M.-% und 30 M.-%),
- Zugabetemperatur des Asphaltgranulates (20 °C, Simulation der Kaltzugabe/100 °C, Simulation der Warmzugabe),
- Nachmischzeit (30/180 Sekunden).

Die zur Anwendung gekommenen Asphaltgranulate wurden gezielt aus Deckschichten aus Splittmastixasphalt 0/8 gefräst.

## 2.2 Herstellung des Asphaltes

Die Rezeptur des herzustellenden Asphaltbinders 0/16 S wurde mittels Eignungsprüfung unter Verwendung von PmB 45A ohne Asphaltgranulatzugabe optimiert. Für die Asphaltbindervarianten mit Asphaltgranulatzugabe wurde die Dosierung der frischen Baustoffe dahingehend verändert, dass eine mit den Null-Varianten (ohne Asphaltgranulat) identische Korngrößenverteilung sowie ein gleicher Bindemittelgehalt erreicht wurde.

Nach der Homogenisierung durch mehrfaches Umsetzen wurde für beide Asphaltgranulate die Zusammensetzung sowie die Stückgrößenverteilung überprüft.

Die Herstellung der Asphaltvarianten erfolgte mit einem Doppelwellen-Zwangsmischer im labortechnischen Maßstab, um die Mischkinematik bei der Einmischung des Asphaltgranulates möglichst praxisgerecht zu simulieren. Die frischen Gesteine – mit Ausnahme des Füllers – wurden auf eine festgelegte Temperatur vortemperiert, die in Abhängigkeit der Zugabemenge und der Zugabetemperatur des Asphaltgranulates dahingehend festgelegt wurde, eine immer gleiche Mischguttemperatur zu gewährleisten. Das Asphaltgranulat wurde zur Simulation der Kaltzugabe mit einer Temperatur von 20 °C, zur Simulation der Warmzugabe mit einer Temperatur von 100 °C vortemperiert. Danach wurde das Mischgut wie folgt hergestellt:

- Einfüllen der heißen Gesteine,
- Zugabe des kalten Füllers,
- kurzes Vermischen für 20 Sekunden,
- Zugabe des Asphaltgranulates und kurzes Durchmischen
  - bei Simulation der Kaltzugabe: 30 Sekunden
  - bei Simulation der Warmzugabe: 15 Sekunden,
- Zugabe des frischen PmB 45A-Produktes,
- Start der Nachmischzeit (30 / 180 Sekunden).

Aus dem hergestellten Asphaltmischgut wurden Probekörper mit dem Marshall-Verdichtungsgerät sowie walzsektor-verdichtete Asphaltprobplatten gemäß TP A-StB Teil: Verfahren zur Herstellung von Asphaltprobplatten im Laboratorium hergestellt.

## 2.3 Prüfungen zur Ansprache der mechanischen Eigenschaften

An den hergestellten Asphaltprobkörpern wurden folgende Versuche zur Ansprache des Verdichtungs-, Haft-, Verformungs-, Kälte- sowie Ermüdungsverhaltens durchgeführt:

- Bestimmung des Verdichtungswiderstandes T (Verdichtungseigenschaften),

- Bestimmung des indirekten Zugfestigkeitsverhältnisses mittels Spaltzugversuch an unterschiedlich gelagerten Marshall-Probekörpern (Haftverhalten),
- Spurbildungsversuche und dynamische Stempelleindringversuche (Verformungsverhalten),
- Einaxiale Zug- und Abkühlversuche (Kälteflexibilität),
- Einaxiale Zug-Schwellversuche (Ermüdungseigenschaften).

Zur Bestimmung des Verdichtungswiderstandes T wurden während der Herstellung der mit 100 Schlägen je Probekörperseite verdichteten Marshall-Probekörper die Probekörperdicken messtechnisch aufgenommen und der T-Wert [21 Nm] berechnet.

Das Haftverhalten wurde mit dem Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten gemäß DIN EN 12697-12 überprüft. Dazu wurde eine Teilgruppe der mit 25 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite hergestellten Marshall-Probekörper einer Wasserbeanspruchung unterzogen und anschließend die nass sowie die trocken gelagerten Teilgruppen mittels Spaltzugversuch bei einer Temperatur von 25 °C geprüft (zwischenzeitlich wurde die in der DIN EN 12697-12 empfohlene Prüftemperatur von 25 °C durch 15 °C ersetzt).

Die Spurbildungsversuche wurden gemäß TP A-StB, Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinntentiefe im Wasserbad durchgeführt. Die dynamischen Stempelleindringversuche wurden gemäß Festlegungen aus dem AiF-Forschungsprojekt Nr. 12522N "Überprüfung der Eignung des dynamischen Stempelleindringversuches zur Beurteilung der Verformungseigenschaften von Asphalt und Schaffung eines Bewertungshintergrundes" durchgeführt. Danach wurden aus walzsektorverdichteten Asphaltprobplatten Bohrkern mit dem Durchmesser 200 mm entnommen und diese mittels sinusförmigem Lastimpuls von 0,2 Sekunden Dauer mit 0,8 MPa sowie einer anschließenden Lastpause von 1,5 Sekunden mit 0,02 MPa belastet. Als Ergebnis wurde die dynamische Stempelleindringtiefe nach 10 000 Lastwechseln angegeben.

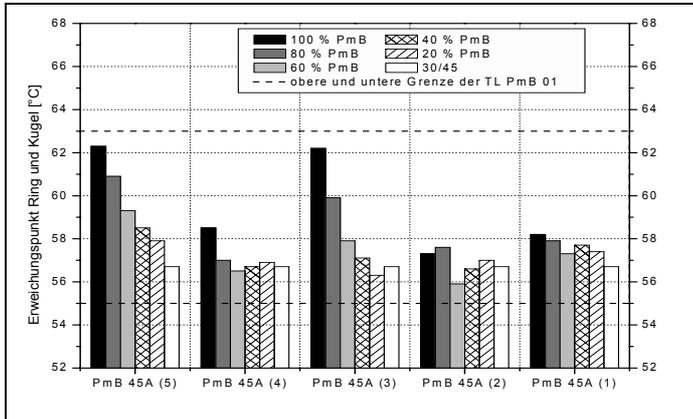
Zur Beurteilung der Kälteeigenschaften wurden einaxiale Zug- sowie Abkühlversuche durchgeführt. Dazu wurden prismatische Probekörper der Abmessung 50 x 50 x 160 mm<sup>3</sup> aus den walzsektorverdichteten Asphaltprobplatten herausgesägt. Die einaxialen Zugversuche wurden bei konstanten Temperaturen von + 20, + 5, – 10 und – 25 °C durchgeführt. Bei den Abkühlversuchen wurden die prismatischen Probekörper mit einer Temperaturrate von – 10 K/h bis zum Bruch abgekühlt und die kryogenen Spannungen gemessen. Die Differenz zwischen dem Verlauf der Zugfestigkeit und der kryogenen Zugspannung wird als Zugfestigkeitsreserve bezeichnet und stellt die temperaturabhängige Spannungsreserve dar, die zur Aufnahme von verkehrslastbedingten Zugspannungen im Asphalt zur Verfügung steht. Für die Beurteilung der Kälteflexibilität werden die Temperatur beim Bruch der Probe im Abkühlversuch, die maximale Zugfestigkeitsreserve sowie diejenige Temperatur, an der sich das Maximum der Zugfestigkeitsreserve ausbildet, ausgewertet.

Zur Ansprache der Ermüdungseigenschaften wurden lastgeregelte Zug-Schwellversuche an prismatischen Probekörpern mit den Abmessungen 50 x 50 x 160 mm<sup>3</sup> bei einer Temperatur von 0 °C durchgeführt. Als Prüfspannung wurde eine sinusförmige Zug-Schwellspannung aufgebracht, die zwischen der Unterspannung – der kryogenen Zugspannung der jeweiligen Asphaltbindervariante bei 0 °C – und der Oberspannung – die kryogene Zugspannung zuzüglich der verkehrslastbedingten Zugspannung – mit einer Frequenz von 10 Hz oszilliert. Als Ergebnis der lastgeregelten Zug-Schwellversuche wurde die Anzahl der Lastwechsel beim Bruch des Probekörpers angegeben.

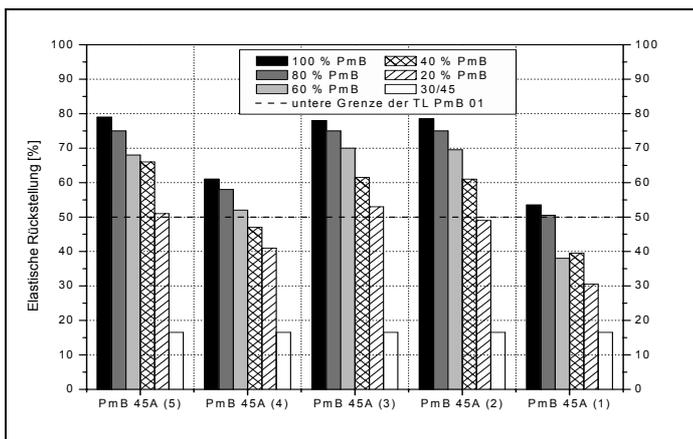
### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der Prüfungen an den PmB 45A-Produkten

Anhand der Ergebnisse der Bindemitteluntersuchungen wurden zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Bindemittelprodukten festgestellt. Bild 1 zeigt die Ergebnisse der Erweichungspunkte Ring und Kugel, Bild 2 die elastische Rückstellung der Bindemittelabmischungen (PmB45A mit Straßenbaubitumen 30/45).



**Bild 1: Erweichungspunkt Ring und Kugel der Bindemittelabmischungen**



**Bild 2: Elastische Rückstellung der Bindemittelabmischungen**

Zum einen ist beim Kennwert Erweichungspunkt Ring und Kugel zu erkennen, dass zwei Bindemittelprodukte im unverschnittenen Zustand ein deutlich höheres Niveau zeigen. Zum anderen ist festzustellen, dass alle Bindemittelabmischungen die Sortenspanne für ein PmB 45A erfüllen.

Für die elastische Rückstellung sind drei Produkte auffällig, die sogar bei einer Abmischung aus 20 M.-% PmB 45A und 80 M.-% Straßenbaubitumen 30/45 noch eine elastische Rückstellung von nahezu 50 % oder mehr erreichen.

Für die Hauptuntersuchungen wurden anhand dieser sowie weiterer Kennwerte in Absprache mit dem Betreuungsausschuss die Produkte PmB 45A (1) und PmB 45A (5) ausgewählt. Von diesen Produkten wurde eine 2. Bitumenlieferung für die weiterführenden Bindemitteluntersuchungen und die Asphaltherstellung eingesetzt. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der Bilder 1 und 2 nicht mit den Ergebnissen der Tabellen 1 und 2 vergleichbar.

An den ausgewählten PmB-Produkten (2. Lieferung) wurden Abmischungen aus frischem und RTFOT-gealtertem PmB 45A

sowie frischem PmB 45A mit RTFOT-gealtertem Straßenbaubitumen 30/45 in 2 Abmischungsstufen (15 M.-% und 30 M.-%) hergestellt und geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst (am Ende des Beitrages). Zusätzlich zum Versuchsprogramm wurde eine Abmischungsvariante mit 50 M.-% RTFOT-gealtertem Straßenbaubitumen 30/45 hergestellt und daran die Kennwerte Erweichungspunkt, Penetration und elastische Rückstellung bestimmt.

Es zeigt sich bei allen hergestellten Abmischungsvarianten, dass trotz einer Zumischung von bis zu 50 M.-% RTFOT-gealtertem Straßenbaubitumen 30/45 die PmB 45A-Produkte hinsichtlich der geprüften Kennwerte noch die Sortenspanne gemäß TL PmB erreichen.

#### 3.2 Rezepttreue der Asphaltvarianten

Zur Gewährleistung einer vergleichbaren Mischgutzusammensetzung der mit den unterschiedlichen Variationen hergestellten Asphaltbindervarianten wurden an jeder der 108 Einzelmischungen Mischgutanalysen durchgeführt. Mittels statistischer Untersuchungen wurden die Einzelergebnisse auf Ausreißer untersucht und die Datenkollektive der Varianten Asphaltgranulat mit PmB und Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen verglichen. Danach konnte festgestellt werden, dass die Zusammensetzung der Asphaltbindervarianten aus allen Herstellervariationen mit einer Ausnahme der gleichen Grundgesamtheit entstammen. Diese Ausnahme bildet der Kennwert Erweichungspunkt Ring und Kugel des zurückgewonnenen Bindemittels. Das Datenkollektiv Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen weist einen um i. M. 2,5 K signifikant geringeren Erweichungspunkt auf. Dies ist als plausibel anzusehen, da das eingesetzte Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen bereits einen um 7,3 K geringeren Erweichungspunkt besitzt, als das Asphaltgranulat mit PmB und gleichzeitig eine Anpassung der Viskosität durch das frisch zugegebene PmB nicht erfolgte.

#### 3.3 Verdichtungseigenschaften

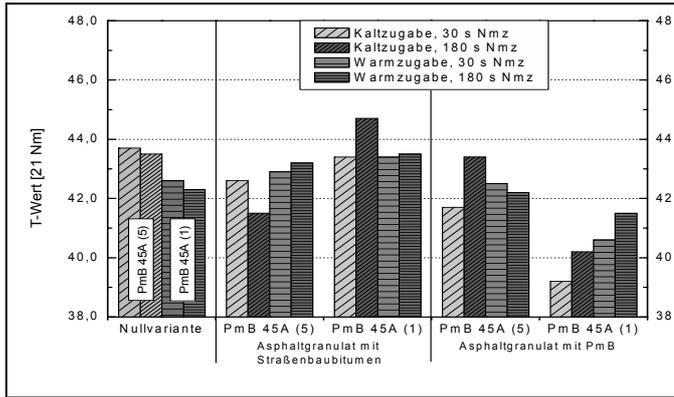
Nachfolgend sind die Verdichtungswiderstände [21 m] in Abhängigkeit der Herstellungsvarianten zusammenfassend dargestellt (Bilder 3.1 und 3.2).

Die Nachmischzeit wirkt sich auf den Verdichtungswiderstand T bei der Verwendung des Asphaltgranulates mit PmB dahingehend aus, dass das Asphaltbindermischgut tendenziell etwas schwerer verdichtbar wird. Ein weiterer Einfluss der Asphaltgranulatqualität lässt sich nicht feststellen.

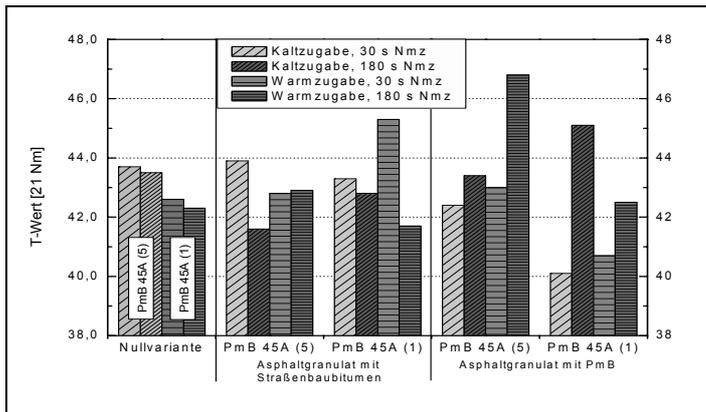
#### 3.4 Haftverhalten

Für die Durchführung der Spaltzugversuche wurde die in DIN EN 12697-12 empfohlene Prüftemperatur von 25 °C eingesetzt. Bereits vor Beginn der Untersuchungen hat der Forscher angemerkt, dass bei dieser Temperatur davon auszugehen ist, dass sich im Probekörper nicht ein reiner Spaltzugbruch ausbildet, sondern auch Quetschungen stattfinden. Trotzdem wurde zur Erfahrungssammlung an der empfohlenen Prüftemperatur festgehalten – die zwischenzeitlich aber vom Normenausschuss in der aktuellen Fassung der DIN EN 12697-12 revidiert wurde.

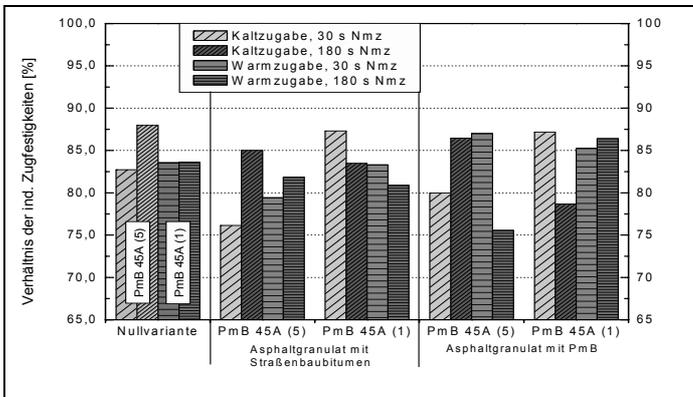
Die Ergebnisse der Verhältnisse der indirekten Zugfestigkeiten zur Ansprache des Haftverhaltens sind in den Bildern 4.1 und 4.2 dargestellt. Anhand der Ergebnisse können lediglich Wechselwirkungen mehrerer Einflussfaktoren festgestellt werden. Ein im Vergleich zur Null-Variante signifikant ungünstiges Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit wurde auf Grund der hohen Prüfstreuung der Einzelwerte nicht festgestellt.



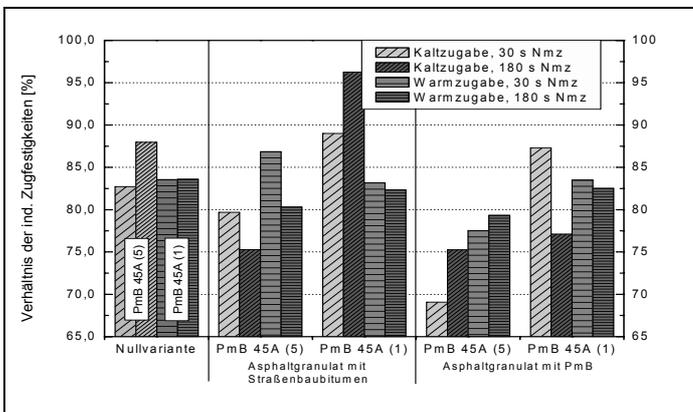
**Bild 3.1: Verdichtungswiderstand T [21 Nm]  
ABi 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



**Bild 3.2: Verdichtungswiderstand T [21 Nm]  
ABi 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



**Bild 4.1: Verhältnis der ind. Zugfestigkeiten [%]  
ABi 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

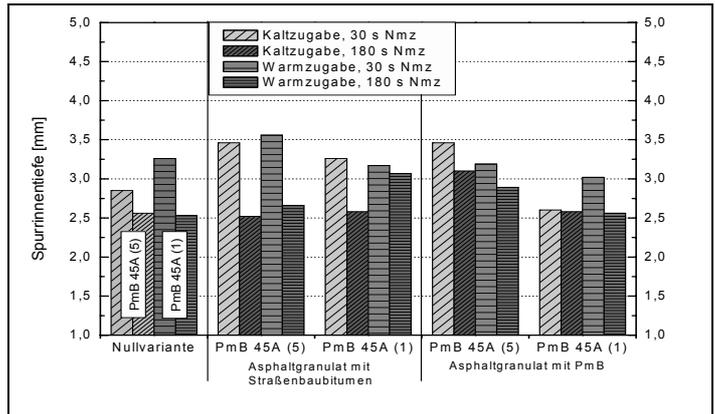


**Bild 4.2: Verhältnis der ind. Zugfestigkeiten [%]  
ABi 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

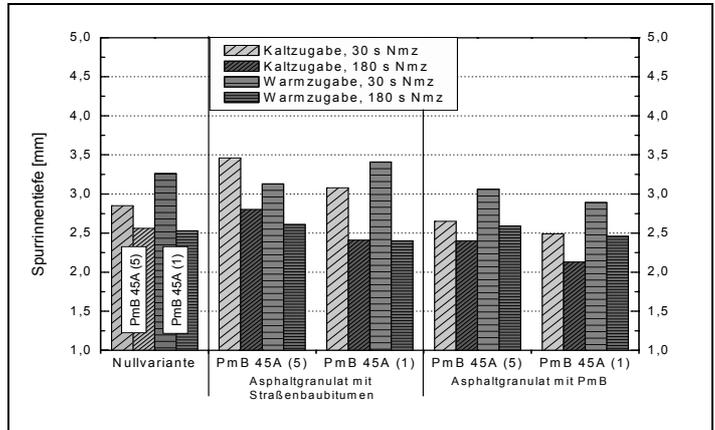
## 3.5 Verformungseigenschaften

### 3.5.1 Spurbildungsversuch

Der Spurbildungsversuch wurde gemäß TP A StB, Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinntentiefe im Wasserbad, mittels Stahlrad bei einer Temperatur von 50 °C durchgeführt. In den Bildern 5.1 und 5.2 sind die Ergebnisse der Spurrinntentiefe nach 20 000 Überrollungen dargestellt. Generell ist festzustellen, dass längere Nachmischzeiten zu verformungsresistenteren Asphalten führen. Die größere Zugabemenge von 30 M.-% Asphaltgranulat führt tendenziell ebenfalls zu etwas verformungsresistenterem Mischgut. Der Einsatz des Asphaltgranulats mit Straßenbaubitumen liefert keine signifikant ungünstigeren Ergebnisse.



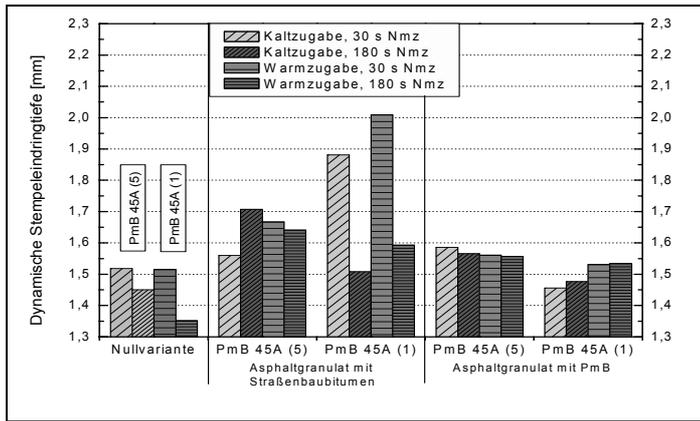
**Bild 5.1: Spurrinntentiefe [mm]  
ABi 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



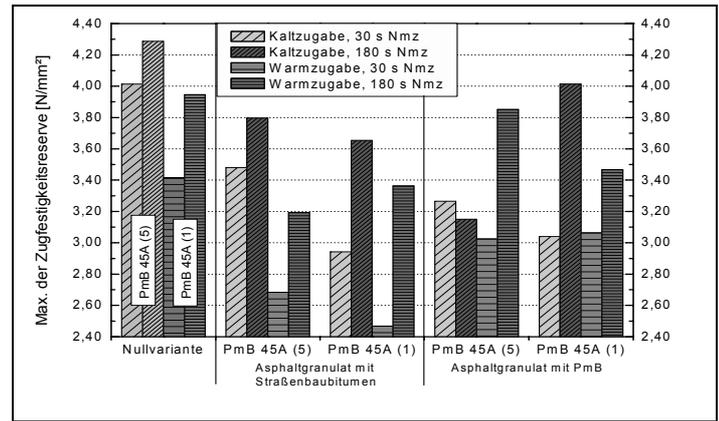
**Bild 5.2: Spurrinntentiefe [mm]  
ABi 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

### 3.5.2 Dynamischer Stempeleindringversuch

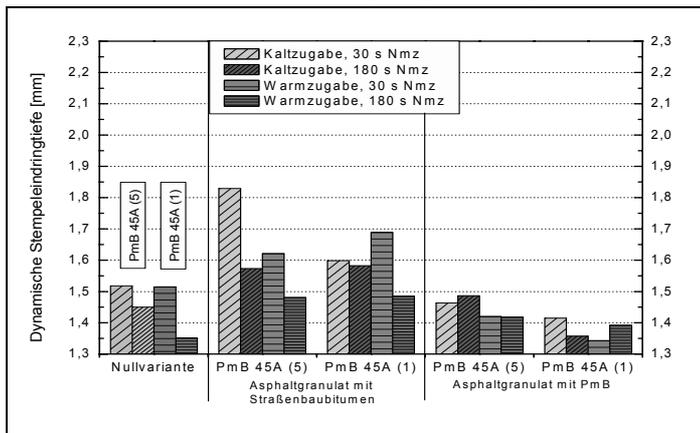
Die Qualität des eingesetzten Asphaltgranulats zeigt einen Einfluss auf die dynamische Stempeleindringtiefe. Beim Einsatz des Asphaltgranulats mit Straßenbaubitumen werden höhere Stempeleindringtiefen und damit ein ungünstigeres Verformungsverhalten erzielt. Die längere Nachmischzeit beeinflusst das Verformungsverhalten in vielen Fällen günstig. Zusätzlich zeigt eine Zugabe von 30 M.-% Asphaltgranulat tendenziell Vorteile im Verformungsverhalten gegenüber einer Zugabemenge von 15 M.-%. Die Ergebnisse der dynamischen Stempeleindringversuche sind in den Bildern 6.1 und 6.2 zusammengestellt.



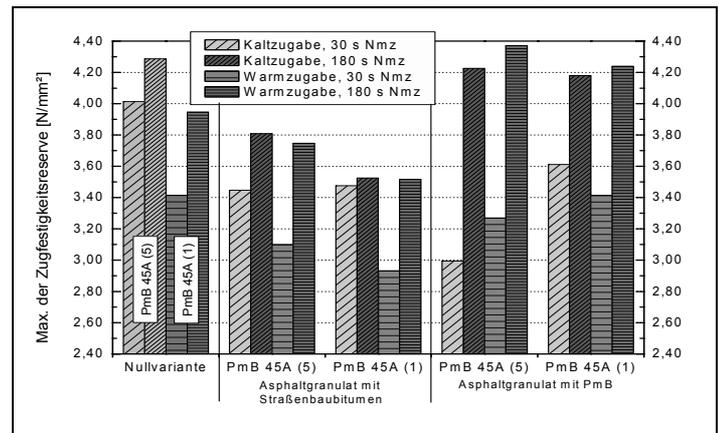
**Bild 6.1: Dynamische Stempelleindringtiefe [mm] ABi 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



**Bild 7.1: Maximale Zugfestigkeitsreserve [N/mm²] ABi 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



**Bild 6.2: Dynamische Stempelleindringtiefe [mm] ABi 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



**Bild 7.2: Maximale Zugfestigkeitsreserve [N/mm²] ABi 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

### 3.6 Kälteeigenschaften

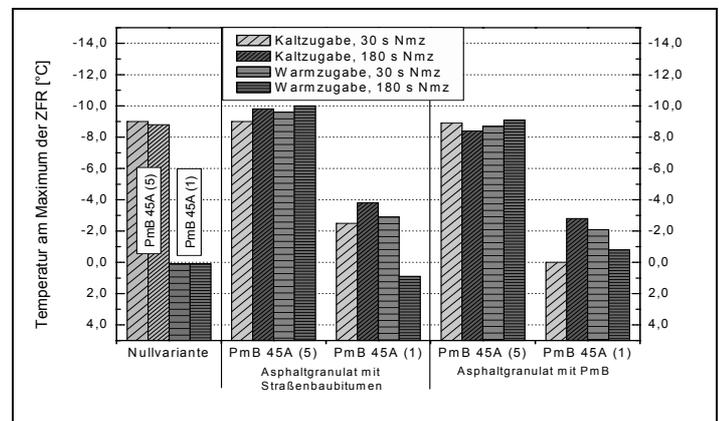
Für die Beurteilung der Kälteflexibilität werden die aus den Ergebnissen der einaxialen Zugversuche und der Abkühlversuche berechneten Zugfestigkeitsreserven ausgewertet. Grundsätzlich können einem Asphalt günstige Kälteeigenschaften zugesprochen werden, wenn

- für die maximale Zugfestigkeitsreserve hohe Spannungen und
- für das Maximum der Zugfestigkeitsreserve tiefe Temperaturen

festgestellt werden.

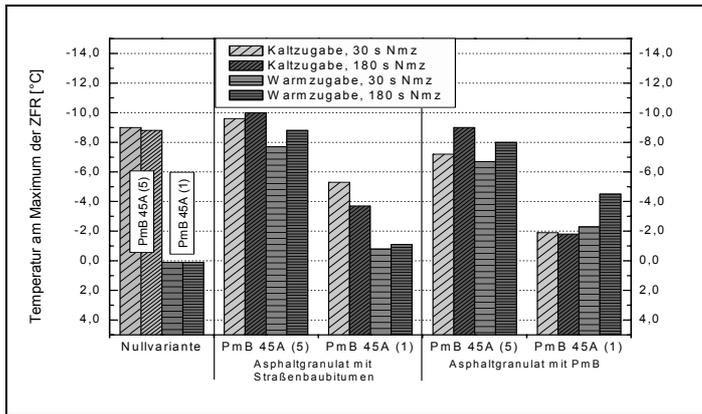
Als deutlichster Einfluss auf die maximale Zugfestigkeitsreserve (Bilder 7.1 und 7.2) ist die Nachmischzeit zu erkennen. Lange Nachmischzeiten bewirken eine höhere Zugfestigkeitsreserve und damit günstiges Kälteverhalten. Zusätzlich zeigt sich, dass die Zugabe von 30 M.-% statt 15 M.-% Asphaltgranulat ebenfalls einen günstigen Einfluss auf die Zugfestigkeitsreserve ausübt.

Hinsichtlich des Kriteriums maximale Zugfestigkeitsreserve wurden mit den statistischen Auswerteverfahren insgesamt 13 der 32 Varianten mit Asphaltgranulatzugabe als signifikant ungünstiger gegenüber der ungünstigsten Null-Variante eingestuft.



**Bild 8.1: Temperatur am Max. der Zugfestigkeitsreserve ABi 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

In den Bildern 8.1 und 8.2 ist die Temperatur dargestellt, an der sich das Maximum der Zugfestigkeitsreserve ausbildet. Den deutlichsten Einfluss auf dieses Ergebnis zeigt das frisch zugegebene Bindemittelprodukt. Sämtliche Varianten – unabhängig davon, ob Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen oder mit PmB eingesetzt wurde – erreichen bei der Zugabe des PmB 45A (5) tiefere Temperaturen, also ein günstigeres Kälteverhalten. Dies zeigt sich besonders deutlich bereits an den Ergebnissen der Null-Varianten.



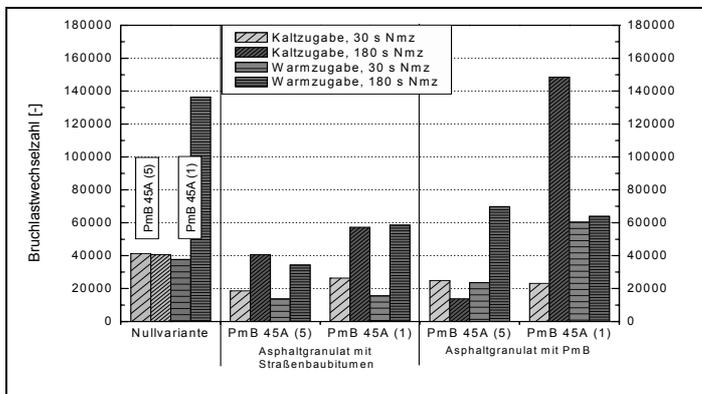
**Bild 8.2: Temperatur am Max. der Zugfestigkeitsreserve ABI 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

Zusammenfassend kann zur Beurteilung des Kälteverhaltens festgehalten werden, dass eine längere Nachmischzeit einen besonders günstigen Einfluss ausübt. Von den 13 als ungünstig erkannten Asphaltbindervarianten wurden 11 mit der kurzen Nachmischzeit hergestellt. Die Eigenschaften des aus dem Asphaltgranulat stammenden Bindemittels (Straßenbaubitumen/PmB) werden größtenteils von den Eigenschaften des frisch zugegebenen PmB-Produktes überdeckt und zeigen einen nur untergeordneten Einfluss auf das Kälteverhalten des Asphaltbinders.

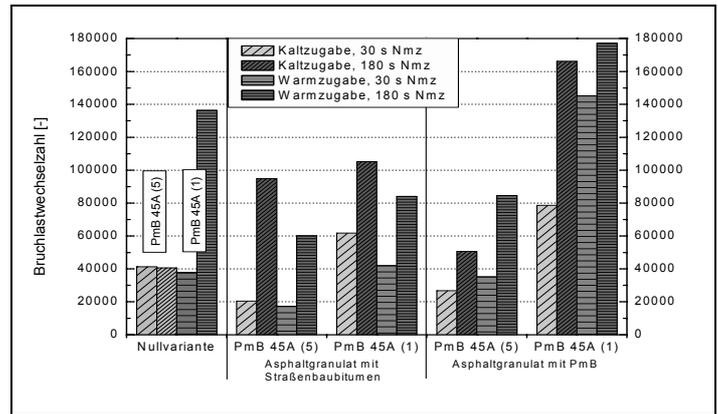
### 3.7 Ermüdungseigenschaften

Die Ergebnisse der einaxialen Zug-Schwellversuche – die Lastwechselzahl am Bruch der Probe – sind in den Bildern 9.1 und 9.2 dargestellt. Auch hier kann festgestellt werden, dass eine lange Nachmischzeit die Ermüdungsresistenz deutlich günstig beeinflusst. Die Verwendung des Asphaltgranulates mit Straßenbaubitumen zeigt zum Teil einen ungünstigeren Einfluss. Trotzdem erreichen die Asphaltbindervarianten mit Asphaltgranulat in Verbindung mit der langen Nachmischzeit – mit zwei Ausnahmen – mindestens die Ermüdungsresistenz der ungünstigsten Nullvariante.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die Ermüdungseigenschaften ebenfalls temperaturabhängig sind. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurde lediglich eine einzelne Prüftemperatur pragmatisch gewählt. Bei anderen Prüftemperaturen könnten sich die Ergebnisse verschieben, insbesondere weil einige Asphaltvarianten bei der gewählten Prüftemperatur ihre maximale Zugfestigkeit besitzen während andere Varianten diese bei einer tieferen Temperatur zeigen.



**Bild 9.1: Bruchlastwechselzahl ABI 0/16S mit 15 M.-% Asphaltgranulatzugabe**



**Bild 9.2: Bruchlastwechselzahl ABI 0/16S mit 30 M.-% Asphaltgranulatzugabe**

## 4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Einsatz von straßenbaubitumenhaltigen Asphaltgranulaten war bisher streng genommen nicht möglich, wenn für das herzustellende Asphaltbinderemischgut PmB 45 als Bindemittel gefordert wurde. Um die Einflüsse aus der Zugabe von straßenbaubitumenhaltigen Asphaltgranulaten im Vergleich zu PmB-haltigen Asphaltgranulaten zu beschreiben und gegebenenfalls ungünstige Einflüsse aus dem Verschneiden des frischen PmB 45 mit dem Straßenbaubitumen aus dem Asphaltgranulat zu bestimmen, wurden in Vorversuchen Bindemittelabmischungen aus PmB 45A und Straßenbaubitumen 30/45 hergestellt und daran die wichtigsten Bindemittelkenndaten bestimmt. Anhand der Ergebnisse wurden zwei PmB 45A-Produkte dahingehend ausgewählt, so dass das Gesamtspektrum der Eigenschaften der marktgängigen PmB 45A erfasst wird.

An den ausgewählten PmB 45A-Produkten wurden Alterungsversuche durchgeführt und Abmischungen aus frischem und gealtertem PmB 45A bzw. gealtertem Straßenbaubitumen 30/45 hergestellt. Auch an diesen Varianten wurden die Bindemittelkenndaten bestimmt. Insgesamt ließ sich das Verschneiden der eingesetzten PmB 45A-Produkte mit Straßenbaubitumen nur bei sehr hohen Zugabemengen Straßenbaubitumen 30/45 an wenigen Kenndaten (el-R, KD) nachweisen. Das Verschneiden des frischen PmB 45A mit dem gealterten PmB bzw. Straßenbaubitumen 30/45 war bei den gewählten Zugabestufen (15 M.-% und 30 M.-% gealtertes Bitumen) an keinem Kennwert erkennbar. Diese Abmischungen entsprachen hinsichtlich der geprüften Kennwerte praktisch den Anforderungen an frisches PmB 45A gemäß TL PmB 01.

Hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften der Asphaltbinder 0/16 S mit Asphaltgranulat lassen sich aus den Ergebnissen dieser Bindemittelprüfungen keine ungünstigen Einflüsse ableiten, auch wenn das Asphaltgranulat Straßenbaubitumen statt PmB enthält.

Für die Hauptversuche wurden zwei Asphaltgranulate mit unterschiedlichen Bindemittelqualitäten, nämlich mit Straßenbaubitumen und mit PmB, gezielt aus Splittmastixasphaltdeckschichten gefräst. Unter Variation der Zugabemenge (15 M.-%/30 M.-%), der Nachmischzeit (30/180 Sekunden), der Zugabetemperatur (20 °C kalt/100 °C warm) sowie des frisch zugegebenen PmB-Produktes (PmB 45A (1) und PmB 45A (5)) wurde Asphaltbinderemischgut 0/16 S mit Asphaltgranulat hergestellt. An den Asphaltbindervarianten wurde die Mischgutzusammensetzung festgestellt sowie die Verdichtungseigenschaften, das Haftverhalten mittels Verhältnis der indirekten Zugfes-

tigkeiten, die Verformungseigenschaften mittels Spurbildungsversuchen und dynamischen Stempelindringversuchen, die Kälteeigenschaften mittels einaxialen Zug- und Abkühlversuchen und die Ermüdungseigenschaften mittels Zug-Schwellversuchen überprüft. Die Versuchsergebnisse wurden mit Varianzanalysen der 4- und 5-fachen Klassifikation sowie mittels einfachen und multiplen Mittelwertvergleichen in Verbindung mit LSD-Tests ausgewertet, um mögliche Einflussgrößen aus den Herstellungsmodalitäten und deren Wechselwirkungen zu quantifizieren.

Anhand der Kennwerte der Mischgutanalysen wurde festgestellt, dass sich die Zusammensetzung der Asphaltbindervarianten lediglich im Erweichungspunkt Ring und Kugel des zurückgewonnenen Bindemittels dahingehend statistisch signifikant unterschied, dass die Varianten mit dem härteren PmB-haltigen Asphaltgranulat ein im Mittel 2,5 K höheren Erweichungspunkt zeigten.

In Bild 10 (am Ende des Beitrages) sind die Ergebnisse einer 4-fachen Varianzanalyse dargestellt, anhand der die Einflüsse der Herstellungsvariationen in Abhängigkeit der Asphaltgranulatzugabemenge auf die mechanischen Eigenschaften des Asphaltbindermischguts direkt abgelesen werden können. Danach zeigt die Asphaltgranulatqualität einen nennenswerten Einfluss lediglich auf die dynamische Stempelindringtiefe und bei höherer Zugabemenge zusätzlich auf das Haftverhalten. Die Zugabemenge zeigt einen nur unbedeutenden Einfluss. Das frisch zugegebene PmB-Produkt beeinflusst das Kälteverhalten deutlich und bei der Zugabemenge von 30 M.-% zusätzlich auch das Haftverhalten und die Ermüdungseigenschaften. Einen ebenfalls deutlichen Einfluss zeigt die Nachmischzeit, nämlich auf die Spurrinnentiefe und die maximale Zugfestigkeitsreserve bei der Asphaltgranulatzugabemenge von 15 M.-%, sowie zusätzlich auf die Ermüdungseigenschaften bei der Zugabemenge von 30 M.-%.

Anhand der durchgeführten Prüfungen zur Ansprache der mechanischen Asphalteeigenschaften in Verbindung mit den mathematisch-statistischen Auswerteverfahren wurde für den hergestellten Asphaltbinder 0/16 S festgestellt, dass

- die Zugabemenge einen nur untergeordneten Einfluss ausübt,
- die höhere Zugabemenge Asphaltgranulat von 30 M.-% sich im Vergleich zu der Zugabemenge von 15 M.-% in den meisten Fällen günstig auf die Verformungs-, Kälte- und Ermüdungseigenschaften auswirkt. Vermutlich ist dies auf einen Doppelumhüllungseffekt zurückzuführen, der bei einer größeren Zugabemenge verstärkt auftritt.
- lange Nachmischzeiten sich besonders günstig auf die Verformungs-, Kälte- sowie Ermüdungseigenschaften auswirken. Insbesondere zeigt sich dies an Asphaltbindervarianten, deren Eigenschaften mit einer kurzen Nachmischzeit das Niveau der Null-Varianten nicht erreichen, wohl aber mit der längeren Nachmischzeit.
- Das frisch zugegebene PmB 45A-Produkt übt einen erheblichen Einfluss auf die Kälte- und Ermüdungseigenschaften aus, der bereits ohne Asphaltgranulatzugabe deutlich zu erkennen ist. Dabei werden die Eigenschaften des aus dem Asphaltgranulat stammenden Bindemittels praktisch vollständig überdeckt.
- Der Einsatz von Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen beeinflusst praktisch nur die dynamische Stempelindringtiefe ungünstig – insbesondere bei der kurzen Nachmischzeit.

In Tabelle 3 ist eine einfache Übersicht der Einflüsse aus den Variationen auf die Asphalteeigenschaften zusammengestellt.

**Tabelle 3: Zusammenstellung der Einflüsse**

Variation	Verdichtungseigenschaften	Haft-eigenschaften	Verformungseigenschaften		Kälte-eigenschaften	Ermüdungseigenschaften
			SBV	DSEV		
höhere Zugabetemperatur (Warm- statt Kaltzugabe)	0	0	0	0	0	0
längere Nachmischzeit (180 statt 30 s)	0	0	++	+	++	++
höhere Zugabemenge (30 statt 15 M.-%)	0	0	+	+	++	++
Asphaltgranulatqualität (Straßenbaubitumen statt PmB)	0	0	0	-	0	0

+: günstiger Einfluss  
 0: kein eindeutiger Einfluss  
 -: ungünstiger Einfluss

Von 13 Asphaltbindervarianten, die hinsichtlich einzelner oder mehrerer Eigenschaften als signifikant ungünstiger als die Eigenschaften der Null-Varianten erkannt wurden, sind 11 Varianten mit der kurzen Nachmischzeit hergestellt worden. Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes eingesetzte Nachmischzeit gilt nur für den eingesetzten Doppelwellen-Zwangsmischer im Labormaßstab. Für die großtechnische Herstellung von Asphaltmischgut kann lediglich festgehalten werden, dass die labortechnische Verlängerung der Nachmischzeit um den Faktor 6 (von 30 auf 180 Sekunden) die Eigenschaften des Asphaltbindermischguts deutlich günstig beeinflusst.

Die aus den Ergebnissen der Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse schaffen die Grundlage dafür, dass Asphaltgranulat mit Straßenbaubitumen auch in Asphaltbindermischgut eingesetzt werden kann, welches mit PmB 45A herzustellen ist. Voraussetzung ist dabei neben einem homogenen Asphaltgranulat die Wahl einer ausreichend langen Nachmischzeit sowie die Verwendung eines für den Einsatzzweck des Asphalttes speziell ausgewählten PmB 45A-Produkts. Dabei lässt sich anhand der Bindemitteluntersuchungen an den aus dem Asphalt rückgewonnenen Bindemitteln mit den bereits benannten Prüfverfahren weder auf die mechanischen Eigenschaften des Asphalttes schließen, noch das "Verschneiden" des frischen PmB 45A mit dem gealterten Straßenbaubitumen aus dem Asphaltgranulat nachweisen.

**Literaturverzeichnis**

- [1] Arand, W., Renken, P.: Verwendung größtmöglicher Ausbauphosphoranteile im Straßenbau, Schlussbericht zum FA Q 148669 des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Braunschweig, 1994.
- [2] Leutner, R., Dröge, C.: Ermittlung von Einsatzgrenzen für die Zugabe von Ausbauphosphor in Asphaltdeckschichten anhand von Erprobungsstrecken. Schlussbericht zum FV 148104 des BMBF und des Bundesumweltamtes, Braunschweig, 2000.
- [3] Renken, P., Lobach T.: Wirksamkeit der Zugabe von Asphaltgranulat auf die mechanischen Eigenschaften von Asphaltdeckschichten. Schlussbericht zum FA 7.194/2001/CGB des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Braunschweig, 2004.

**Tabelle 1: Ergebnisse der Bindemitteluntersuchungen an den Abmischungsvarianten mit PmB 45A (1) als Grundbitumen (2. Bitumenlieferung)**

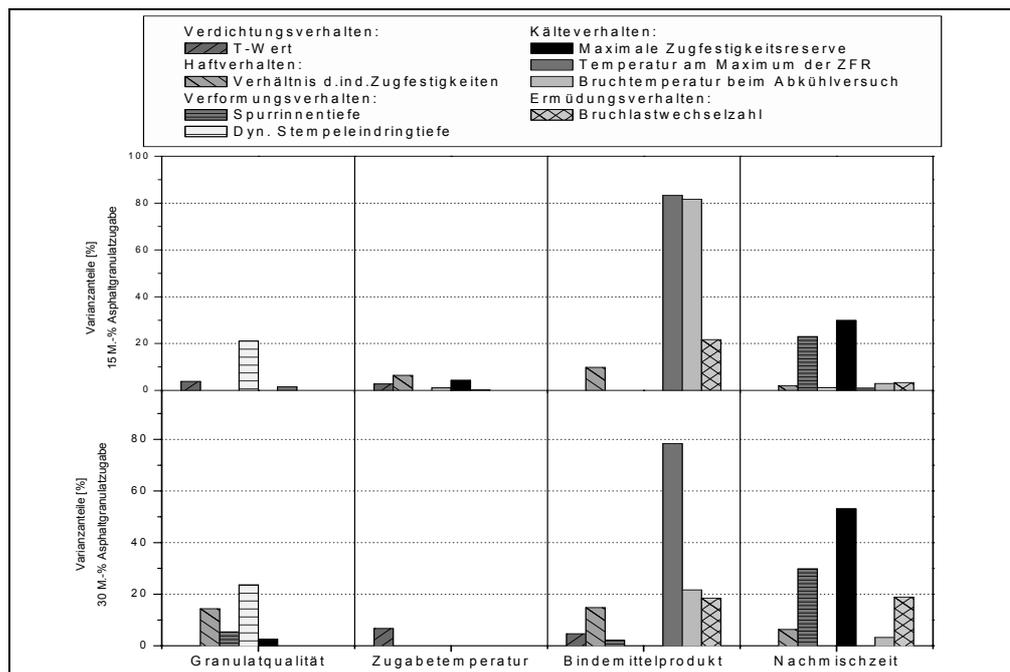
Prüfmerkmal	Dim.	Anford. gemäß TL PmB	Grundbitumen: PmB 45A (1)					
			PmB 45A (1) Frisch	Zumischungsanteil RTFOT-gealtertes Bitumen				
				15 M.-% PmB 45A (5)	30 M.-% PmB 45A (5)	15 M.-% 30/45	30 M.-% 30/45	50 M.-% 30/45
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	55,0–63,0	57,2	58,0	58,8	58,6	59,0	59,6
Brechpunkt	°C	≤ -10	- 11	- 13	- 14	- 14	- 11	-
Penetration	1/10 mm	20–60	35	39	38	33	32	30
Duktilität bei 25 °C	cm	≥ 40	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	-
Formänderungsarbeit von 0–400 mm	J	≥ 1 <sup>1</sup>	0,4808	0,6534	0,6507	0,5595	0,5886	-
Formänderungsarbeit von 200–400 mm	J	-	0,1407	0,2104	0,2248	0,1605	0,1596	-
Formänderungsarb. von 0–Versuchsende	J	-	0,6725	0,9541	0,9172	0,7627	0,7547	-
elastische Rückstellung	%	≥ 50	63	66	70	60	61	57
DSR-Analytik, kompl. Modul G*	Pa	≥ 7000 <sup>1</sup>	9.814	11.480	11.370	10.845	13.500	-
DSR-Analytik, Phasenwinkel δ	°	≤ 75 <sup>1</sup>	78,24	76,04	74,30	78,08	77,42	-

<sup>1</sup> zusätzliche Anforderungswerte zur Erfahrungssammlung

**Tabelle 2: Ergebnisse der Bindemitteluntersuchungen an den Abmischungsvarianten mit PmB 45A (5) als Grundbitumen (2. Bitumenlieferung)**

Prüfmerkmal	Dim.	Anford. gemäß TL PmB	Grundbitumen: PmB 45A (5)					
			PmB 45A (5) Frisch	Zumischungsanteil RTFOT-gealtertes Bitumen				
				15 M.-% PmB 45A (1)	30 M.-% PmB 45A (1)	15 M.-% 30/45	30 M.-% 30/45	50 M.-% 30/45
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	55,0–63,0	58,6	58,4	59,4	58,4	58,4	59,0
Brechpunkt	°C	≤ -10	- 21	- 17	- 18	- 14	- 16	-
Penetration	1/10 mm	20–60	57	48	41	53	44	36
Duktilität bei 25 °C	cm	≥ 40	> 100	> 100	89	> 100	> 100	-
Formänderungsarbeit von 0–400 mm	J	≥ 1 <sup>1</sup>	0,4227	0,4674	0,5958	0,4116	0,5331	-
Formänderungsarbeit von 200–400 mm	J	-	0,1888	0,2019	0,2450	0,1617	0,1962	-
Formänderungsarb. von 0–Versuchsende	J	-	0,6738	0,7315	0,8537	0,5650	0,7255	-
elastische Rückstellung	%	≥ 50	76	76	67	78	70	65
DSR-Analytik, kompl. Modul G*	Pa	≥ 7000 <sup>1</sup>	6.679	7.514	8.883	7.014	8.009	-
DSR-Analytik, Phasenwinkel δ	°	≤ 75 <sup>1</sup>	70,60	71,18	71,61	72,46	73,55	-

<sup>1</sup> zusätzliche Anforderungswerte zur Erfahrungssammlung



**Bild 10:**

**Ergebnis der Varianzanalysen der 4-fachen Klassifikation – Zugabemenge**