

**asphalt –labor  
Arno J. Hinrichsen GmbH & Co  
Wahlstedt**

**Abschlussbericht  
FE 07.203/2002/CRB**

**Absenkung der Produktions-  
und Verarbeitungstemperatur von Asphalt durch Zugabe von  
Bitumenverflüssigern**

Im Auftrag der  
Bundesanstalt für Straßenwesen,  
BAST

**Bearbeiter: Dipl.-Ing. Bjørn Bielenberg  
Prof. Dr.-Ing. K.-W. Damm  
Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg**

**Wahlstedt, Juni 2006**

FE 07.203/2002/CRB

## Absenkung der Produktions- und Verarbeitungstemperatur von Asphalt durch Zugabe von Bitumenverflüssigern

### Abschlussbericht

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Allgemeines	7
3	Ziel des Forschungsvorhabens	9
4	Erprobungsstrecken / Präqualifikation	11
4.1	Auswahl der viskositätsabsenkenden Bindemittel	11
4.1.1	Voruntersuchungen am Bindemittel	11
4.1.2	Voruntersuchungen an Asphalt	14
4.2	Ausschreibung	16
4.3	Entnahmeplan von Proben und Untersuchungsumfang	16
4.3.1	Entnahme von Mischgut und Bohrkernproben	16
4.3.2	Entnahme von Bindemittelproben	17
4.3.3	Untersuchungsumfang	17
5	Eignungsprüfungen	19
5.1	Prüfverfahren	19
5.1.1	Einaxialer Druckschwellversuch	20
5.1.2	Spurbildungsversuch	21
5.1.3	Bestimmung der Verdichtbarkeit sowie Temperaturabsenkungspotential	21
5.1.4	Griffigkeitsprognose nach dem Wehner/Schulze Verfahren	22
5.1.5	Biegebalkenrheometer (BBR)	23
5.2	Erprobungsstrecke BAB A7	23
5.2.1	Asphaltbinder 0/16 S	24
5.2.2	Splittmastixasphalt 0/11 S	28
5.3	Erprobungsstrecke B 106	34
5.3.1	Asphaltbinder 0/16 S	34
5.3.2	Splittmastixasphalt 0/8 S	38
6	Baudurchführung Versuchsstrecke BAB A7	43
6.1	Asphaltemischanlage und Belieferung	43
6.2	Fertiger und Shuttle	43
6.3	Verdichtung	44
6.4	Baubegleitende Untersuchungen	44
6.4.1	Temperaturmessungen	44
6.4.2	Verdichtungskontrolle	46
6.4.3	Längs- und Querebenheit	48
6.4.4	Griffigkeit	51

6.4.5	Emissionsmessungen und Energieeinsparung	52
6.5	Einbauverhalten	53
6.5.1	Asphalte mit SFB 5-90 LT	53
6.5.2	Asphalte mit Olexobit NV 25 und Olexobit NV 45	54
6.5.3	Asphalte mit Sübit VR 35	54
6.5.4	Asphalte mit SmB 25 und SmB 35	55
6.5.5	Asphalte mit Caribit 25 S und Caribit 45 S	55
7	Baudurchführung Versuchsstrecke B 106	56
7.1	Asphaltmischanlage und Belieferung	56
7.2	Fertiger und Shuttle	57
7.3	Verdichtung	57
7.4	Baubegleitende Untersuchungen	58
7.4.1	Temperaturmessungen	58
7.4.2	Verdichtungskontrolle	58
7.4.3	Längs- und Querebenheit	61
7.4.4	Griffigkeit	63
7.4.5	Emissionsmessungen und Energieeinsparung	64
7.5	Einbauverhalten	65
7.5.1	Asphalte mit Licomont	65
7.5.2	Asphalte mit Colzuphalt	66
8	Eigenschaften am Mischgut und an der verdichteten Schicht	67
8.1	Mischgutzusammensetzung	68
8.2	Verdichtungsgrad und Hohlraum	72
8.3	Verdichtbarkeit / Temperaturabsenkungspotential	76
8.4	Wärmestandfestigkeit	77
8.5	Schichtenverbund	81
8.6	Spaltzugversuche	83
8.7	Verhalten bei tiefen Temperaturen	85
9	Bindemittleigenschaften nach Extraktion, am frischen und im Labor gealterten Bindemittel	89
9.1	Physikalisch-technische Untersuchung der Bindemittel	89
9.1.1	Langzeitverhalten dargestellt am Beispiel Erweichungspunkt RuK, Penetration und Brechpunkt Fraass	106
9.1.2	Langzeitverhalten dargestellt am Beispiel des komplexen Moduls $G^*$ und des Phasenwinkels $\delta$	113
9.1.3	Affinität, Flaschen-Rollverfahren	114
9.1.4	Kraftduktilität	116

---

9.1.5	Viskositätsmessung mit dem DSR	119
9.2	Nachweis der Additivierung mittels IR-Spektroskopie	122
10	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	126
10.1	Anforderungen an TA-Bindemittel	129
11	Ausblick	132
	Literatur	

## 1 Zusammenfassung

Das asphalt-labor Arno J. Hinrichsen GmbH & Co KG, Wahlstedt, wurde unter Beteiligung der IFTA, Ingenieurgesellschaft für technische Analytik GmbH, Essen, von der Bundesanstalt für Straßenwesen, BASt, Bergisch-Gladbach mit der Konzeption, Durchführung und Untersuchung von Versuchsstrecken für temperaturabgesenkte Walzasphalte beauftragt. In einem Großversuch sollten viskositätsabsenkende Zusätze und Fertigbindemittel auf ihre Eignung zur gezielten Absenkung der Herstellungs- und Verarbeitungstemperatur von Asphalten um 20 - 30 K auf eine Temperatur  $\leq 145$  °C überprüft werden. Im Rahmen einer Präqualifikation wurde Bindemittel- sowie Additivherstellern die Möglichkeit gegeben, die Eignung ihrer Produkte anhand abgefragter Bindemittel- sowie Asphalteigenschaften nachzuweisen. Der Bauausschreibung wurde ebenfalls eine Präqualifikation der Einbaufirmen vorgeschaltet. Allen Beteiligten wurden eine auf 8 Jahre verlängerte Verjährungsfrist für Mängelansprüche abverlangt.

Es wurden zwei Versuchsstrecken, eine auf der BAB A7 zwischen den Anschlussstellen Schleswig-Schuby und Schleswig Jagel in Fahrtrichtung Süden, sowie eine auf der B 106 zwischen Schwerin und Ludwigslust eingerichtet. Getestet wurden gebrauchsfertige Bindemittelsysteme (BAB A7) sowie Additive, die an der Mischanlage zugegeben wurden (B 106). Als Referenzbindemittel wurde auf beiden Versuchsstrecken ein PmB 45 A verwendet.

Im Rahmen umfangreicher erweiterter Eignungsprüfungen, die vom Forschungsnehmer auftragsgemäß zu erstellen waren, wurden die Asphalte für die Binder- und die Deckschicht optimiert. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Wärmestandfestigkeit sowie die Verdichtungseigenschaften auch bei niedrigen Temperaturen gelegt.

Bauvertraglich wurde der Einbau über die gesamte Fahrbahnbreite mit einem Fertiger sowie vorgeschaltetem Shuttle gefordert, um einerseits eine Arbeitslängsnaht zu vermeiden und andererseits eine möglichst gute Ebenflächigkeit in Quer- und Längsrichtung zu erreichen. Mit umfangreichen baubegleitenden und nachgeschalteten Untersuchungen wurde die Einhaltung der bauvertraglichen Vorgaben, insbesondere die Einhaltung der Temperaturabsenkung sowie der asphalttechnologischen Eigenschaften der so hergestellten Asphalte überprüft.

Es ist möglich, Asphalte bei Temperaturen  $\leq 145$  °C zielsicher herzustellen, einzubauen und zu verdichten. Dabei kann die Additivierung an der Mischanlage vorgenommen oder gebrauchsfertige Bindemittelsysteme verwendet werden. Nicht alle eingesetzten Produkte eignen sich in der auf den Versuchsstrecken festgestellten Zusammensetzung für eine Temperaturabsenkung, da eine verminderte Bindemittelviskosität bei diesen Produkten nicht festgestellt werden konnte, die Asphalte verhielten sich verdichtungsunwillig. Die in sechs von sieben Erprobungsabschnitten zur Viskositätsabsenkung verwendeten Wachse führen zu einer Erhöhung der Wärmestandfestigkeit bei gleich bleibendem Tieftemperaturverhalten der Asphalte. Der

ebenfalls eingesetzte Haftverbesserer verändert die Bindemittleigenschaften in geringem Maß und ist ebenfalls zur Absenkung der Temperatur geeignet.

Die Temperaturabsenkung wirkt sich nicht nachteilig auf die Ebenheit in Längs- und Querrichtung sowie auf die Griffigkeit aus.

Durch die Temperaturabsenkung wird die Emission von Dämpfen und Aerosolen bei Walzasphalten deutlich vermindert und nähert sich der Nachweisgrenze. Energieeinsparungen wurden nur in geringem Maß festgestellt.

An den Bindemittelsystemen wurden umfangreiche Untersuchungen im frischen sowie Kurzzeit und Langzeit gealterten Zustand sowie nach Extraktion durchgeführt. Im Vergleich zu den Referenzbindemitteln ist das Alterungsverhalten der Bindemittel gleich bzw. geringfügig besser zu bewerten, sodass die TA-Asphalte im Langzeitverhalten ebenfalls als mindestens gleichwertig beurteilt werden können.

## 2 Allgemeines

Walzasphalte mit Normenbitumen 50/70, 70/100 und polymermodifizierten Bindemitteln werden in der Regel mit einer Temperatur von 160 °C – 180 °C hergestellt und verarbeitet. Bei einem Bitumen 30/45 ist für Asphaltbinder sogar eine Temperatur von 190 °C zugelassen. Für Gussasphalte sind die zulässigen Temperaturen noch deutlich höher und betragen 200 °C – 250 °C<sup>1</sup>. Der im Jahre 1996 eingeführte Luftgrenzwert TRGS 900 von 20 mg/m<sup>3</sup> bei der Verarbeitung von Asphalten in Innenräumen und 15 mg/m<sup>3</sup> für alle übrigen Arbeiten wurde im Jahre 2000 auf 10 mg/m<sup>3</sup> für alle Arbeiten verschärft, für Gussasphalt allerdings ausgesetzt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist der Grenzwert für alle Arbeiten ausgesetzt. Es ist allerdings damit zu rechnen, dass ein entsprechender Grenzwert kurz- bis mittelfristig wieder eingeführt wird. Die Gefahrstoffverordnung [25] verpflichtet den Arbeitgeber zu ermitteln, ob Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden. Für Stoffe ohne Arbeitsplatzgrenzwert stellen insbesondere Expositionsbeschreibungen [26] ein geeignetes Beurteilungsverfahren zur Gefährdungsbeurteilung und Festlegung von Schutzmaßnahmen dar. Gemäß den im Jahr 2005 aktualisierten Expositionsbeschreibungen für die Herstellung und Verarbeitung von Walzasphalten müssen keine besonderen Schutzmaßnahmen getroffen werden. Bei der Verarbeitung von Gussasphalten, die aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für hoch beanspruchte Flächen, Brückenbeläge und als Estriche im Hoch- und Industriebau unverzichtbar sind, wird die Herstellung und Verarbeitung bei abgesenkter Temperatur gefordert. Für Walzasphalte wird der zurzeit ausgesetzte Grenzwert nur in Ausnahmefällen, z.B. bei ungünstigen Witterungsverhältnissen oder ungünstiger Lage der Baustelle in Einschnittsbereichen ohne ausreichenden Luftaustausch, überschritten.

Die Verminderung der Emissionen erfolgt am wirksamsten durch eine deutliche Reduzierung der Herstell- und Einbautemperaturen. Radenberg [1] geht bei einer Absenkung der Temperatur um 10 °K von einer Reduzierung der Dämpfe und Aerosole um 30 bis 50 % aus. Eine Absenkung um 30 K hätte demnach im günstigsten Fall eine Verminderung der Emissionen um den Faktor 3 bis 8 zur Folge.

Obwohl bei der Verarbeitung von Walzasphalten der oben genannte Grenzwert in aller Regel eingehalten werden kann, Rühl, Bau BG [2,3], ist eine Absenkung der Herstellungstemperatur auch aus anderen Gründen anzustreben. Durch einen geringeren Energieverbrauch könnte - so die Annahme - zusätzlich der Ausstoß von CO<sub>2</sub> reduziert, und damit ein positiver Beitrag zur Verlangsamung des Treibhauseffektes geliefert werden.

<sup>1</sup> ZTV Asphalt – StB 01, Tabelle 1.6



Eine Temperaturabsenkung ist durch verschiedene Maßnahmen erreichbar:

- Verwendung von viskositätsabsenkenden Wachsen
- Veränderung der Mischtechnik – KGO-Verfahren
- Verwendung von mineralischen Zusätzen (Zeolithe)
- Verwendung eines speziellen Haftmittels

Während die letzten drei Verfahren die Bindemittleigenschaften nicht verändern, bewirken Wachse eine deutlich Versteifung des Bindemittels im oberen Gebrauchstemperaturbereich von ca. 50 °C bis 70 °C, wodurch eine deutlich Erhöhung der Wärmestandfestigkeit des Asphaltes erreicht werden kann. Bei einer Begrenzung der Additivmenge auf < 4 M.-% bezogen auf das Bindemittel wird nach Damm et al. [4] und, Edwards et al. [5] das Tieftemperaturverhalten nicht nennenswert nachteilig beeinflusst..

Eine Temperaturabsenkung bei der Walzasphaltherstellung darf unter keinen Umständen dazu führen, dass die Asphalte schwerer zu verarbeiten sind und / oder die Qualität der verdichteten Schichten abnimmt. Insbesondere darf die Temperaturabsenkung nicht zu einer verkürzten Verdichtungszeit führen, wodurch das Einbaurisiko unverhältnismäßig stark vergrößert würde. Ziel muss es vielmehr sein, neben der Temperaturabsenkung auch eine Qualitätssteigerung des Asphaltes zu erreichen, um die Nutzungsdauer der Asphaltbefestigung zu verlängern.

Damm et al. [4] haben in Laborversuchen und ersten Versuchstrecken nachweisen können, dass dieses Ziel z.B. mit einer Additivierung des Bitumens bzw. des Asphaltmischgutes mit Fischer-Tropsch-Paraffinen bis zu einem Anteil von 4 M.-%, bezogen auf die Bindemittelmenge, zu erreichen ist. Aber auch andere Wachse sind geeignet, um neben einer Temperaturabsenkung die Gebrauchseigenschaften des Bindemittels und damit des Asphaltes zu verbessern.

Um die grundsätzliche Eignung von viskositätsabsenkenden Zusätzen in einem Großversuch unter praxisgerechten Bedingungen zu untersuchen, hat die BASt im Auftrage des BMVBW das Forschungsvorhaben „Absenkung der Produktions- und Verarbeitungstemperatur von Asphalt durch Zugabe von Bitumenverflüssigern“ (FE 07.203/2002/CRB) ausgeschrieben.

Auf der BAB A7 bei Flensburg wurde eine Untersuchungsstrecke der Bauklasse SV für gebrauchsfertige viskositätsabsenkende Bindemittel und auf der B 106 bei Schwerin eine solche der Bauklasse 2 / 3 für viskositätsabsenkende Additive, die an der Asphaltmischanlage während des Mischvorganges zugegeben werden, eingerichtet.

### 3 Ziel des Forschungsvorhabens

Das asphalt-labor Arno J. Hinrichsen GmbH & CO, Wahlstedt, wurde unter Beteiligung der Ingenieurgesellschaft für technische Analytik, IFTA GmbH beauftragt, Erprobungsstrecken für Asphaltbinder und -deckschichten zu konzipieren, Verhandlungen mit potentiellen Additiv - / Bindemittellieferanten zu führen, die Leistungstexte in Zusammenarbeit mit den zuständigen Straßenbauämtern zu verfassen, die Bauausführung zu überwachen und asphalttechnologische Untersuchungen an den Bindemittelsystemen und den Walzasphalten durchzuführen. Die Erprobungsstrecken sind über einen Zeitraum von 8 Jahren zu beobachten.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sind nur Additive und Fertigbindemittel zu untersuchen, die eine Viskositätsabsenkung im Herstellungs- und Verarbeitungsbereich von Walzasphalten bewirken und dadurch eine Absenkung der Herstellungs- und Verarbeitungstemperatur auf  $\leq 145$  °C ermöglichen. Gleichzeitig müssen die Additive und Fertigbindemittel so beschaffen sein, dass eine ausreichende Verdichtung noch bei ca. 100 °C möglich ist. Durch labortechnische Untersuchungen soll dabei festgestellt werden, ob die so hergestellten Asphalte als gleichwertig zu herkömmlichen Walzasphalten eingestuft werden können.

Die Additive und Fertigbindemittel dürfen dabei zu keiner Verschlechterung der Bindemittel – und Asphalteigenschaften führen, insbesondere im Hinblick auf das Verhalten bei hohen und tiefen Gebrauchstemperaturen und bei der Verdichtung der Walzasphalte. Der Nachweis ist an einem Asphaltbinder 0/16 S sowie an einem Splittmastixasphalt 0/11 S (BAB A7) bzw. 0/8 S (B 106) zu führen. Um das Langzeitverhalten zu beurteilen, werden die Bindemittelsysteme im Labor in verschiedenen Alterungsstufen untersucht sowie die Strecke über 8 Jahre beobachtet und nachuntersucht.

Für die Verarbeitung der Asphalte im Labor sollen erste Regeln zur Erstellung der Eignungsprüfung erarbeitet werden. Insbesondere ist eine Verdichtungstemperatur vorzuschlagen, bei der im Labor die Marshallprobekörper zu verdichten sind, um die Referenzraumdicke für den Verdichtungsgrad zu ermitteln.

Ein weiteres Problemfeld besteht im qualitativen sowie quantitativen Nachweis der Additive. Hierzu sind Möglichkeiten der labortechnischen Erfassung aufzuzeigen.

Die Erkenntnisse der Erprobungsstrecken sollen in einem ersten Schritt bei der Formulierung des Merkblattes für Temperaturabsenkung von Asphalt, M TA einfließen und darüber hinaus dazu beitragen, dass in den zukünftigen ZTV Asphalt – StB Anforderungen an und Regelungen für temperaturabgesenkte Asphalte - nachfolgend TA-Asphalte genannt - formuliert werden können.

Die Erprobungsstrecken werden über einen Zeitraum von 8 Jahren nach ihrer Fertigstellung in einem zweijährigen Rhythmus im Hinblick auf Ebenheit in Längs- und Querrichtung, Griffigkeit, Rissbildung und Substanzverlust untersucht. Außerdem werden asphalttechnologische Untersuchungen durchgeführt, um etwaige Bindemittelveränderungen festzustellen. Die BAST führt parallel dazu ein eigenes Untersuchungsprogramm durch, dessen Ergebnisse nicht in diese Veröffentlichung einfließen.

## 4 Erprobungsstrecken / Präqualifikation

### 4.1 Auswahl der viskositätsabsenkenden Bindemittel

Im Jahre 2003 wurde die Additiv- und Bindemittelindustrie über den Bau von Erprobungsstrecken für TA-Asphalte informiert und aufgefordert, sich an dieser Erprobung zu beteiligen. Im Rahmen einer Präqualifikation wurden Anforderungen (vgl. Anlage 1) für das frische Bindemittel und an das nach DIN EN 12607-3 RFT-gealterte Bindemittel gestellt. Darüber hinaus wurde eine gegenüber den üblichen Regelungen auf 8 Jahre verlängerte Verjährungsfrist für Mängelansprüche gefordert. Insgesamt haben sich zunächst 11 Additiv- bzw. Bindemittelhersteller bereit erklärt, an der Erprobungsstrecke teilzunehmen.

Aufgrund der Vielzahl der Interessenten wurde entgegen der ursprünglichen Planung zwei Erprobungsstrecken eingerichtet:

- BAB A7, km 34,150 – 39,750, RiFa Süd, Anschlussstelle Schuby bis Anschlussstelle Jagel
- B 106, nördlich der BAB A 24 in Fahrtrichtung Schwerin, zwischen den Knoten Fahrbinde und Goldenstädt

Von den 11 Bewerbern musste ein Bindemittel aufgrund nicht erfüllter Anforderungen von der Erprobung ausgeschlossen werden, drei Bindemittelhersteller konnten die verlängerte Verjährungsfrist für Mängelansprüche von 8 Jahren nicht akzeptieren und mussten leider unberücksichtigt bleiben.

Für die BAB A7 wurden ausschließlich viskositätsabsenkende Fertigbindemittel (Bindemittelsysteme) gewählt. Auf der B 106 erfolgte die Additivierung, direkt an der Asphaltmischanlage. Die dort verwendeten Additive eignen sich ebenfalls für eine Verwendung als Fertigprodukt, wobei ein Additiv (Haftverbesserer Colzuphalt) aufgrund der besonderen Wirkungsweise nicht dem Bindemittel beigemischt werden kann, sondern im Vorwege auf den Füller aufgezogen wird.

Die Additivierung an der Mischanlage erfordert grundsätzlich eine verlängerte Mischzeit, um eine homogene Verteilung des Additivs in der Asphaltmischung zu gewährleisten. Gleichwohl ist die Additivierung an der Mischanlage wirtschaftlich interessant, um eine Vorhaltung eines zusätzlichen Bindemittels zu vermeiden bzw. um Kleinmengen problemlos herstellen zu können.

#### 4.1.1 Voruntersuchungen am Bindemittel

Im Rahmen der Voruntersuchungen mussten durch die Bewerber Bindemittelkenndaten am frischen additivierten Bindemittel sowie am im rotierenden Kolben kurzzeit-gealterten Bindemittel abgegeben werden.

Gefordert wurden im Einzelnen:

- Erweichungspunkt R.u.K.
- Penetration bei 25 °C
- Brechpunkt nach Fraass
- Kraftduktilität bei 20 °C
- DSR, Bestimmung von komplexem Modul und Phasenwinkel bei 40, 50, 60, 70, 80 °C
- Nullscherviskosität bei 60 °C
- BBR, Steifigkeit und m-Wert bei -16 °C

Die Ergebnisse sind in Anlage 2 tabellarisch aufgeführt. Weiterhin wurde von den Lieferanten eine Beschreibung des Zusatzes gefordert, die eine spätere Identifikation des Additivs ermöglichen soll. Die von den Herstellern gemachten Angaben dienen als Grundlage für die spätere Formulierung von Anforderungswerten in den Ausschreibungsunterlagen.

#### 4.1.1.1 Wachse

Bei sechs der sieben zur Anwendung gekommenen Additive handelt es sich um Wachse. Verwendet wurden langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe / Amidwachse und ein Fischer-Tropsch-Paraffin (FT-Paraffin). Bei FT-Paraffin handelt es sich um einen langkettigen aliphatischen Kohlenwasserstoff, der nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren aus dem Synthesegas CO und H<sub>2</sub> in einem katalytischen Hochdruckverfahren gewonnen wird. Der Tropfpunkt liegt bei ca. 100 °C. Als Additiv bewirkt FT-Paraffin ab ca. 80 °C eine Verringerung der Bindemittelviskosität. Unterhalb dieser Temperatur hat das sich einstellende Kristallgitter der Wachse eine versteifende Wirkung auf das Bitumen. Die Strukturelastizität wird angehoben. Amidwachse sind synthetisch hergestellte Carbonsäureamide. Unter der Bezeichnung „langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe“ können sämtliche n-Alkane, d.h. Verbindungen ohne Ringstrukturen zusammengefasst werden. Im Allgemeinen handelt es sich bei den Wachsen um langkettige Kohlenwasserstoffverbindung, deren Tropfpunkt mit steigender Kettenlänge zunimmt und zwischen 90 °C und 145 °C liegt. Im Gegensatz zu bitumeneigenem Paraffin (überwiegend mikrokristallin), das mit einer mittleren Kettenlänge von 35 C-Atomen und relativ geringem Molekulargewicht einen Tropfpunkt um die 40 °C hat, haben die künstlichen Wachse (überwiegend makrokristallin) Kettenlängen von im Mittel 60-65 C-Atomen und entsprechend höhere Molekulargewichte. Allgemein gilt, dass höhere Molekulargewichte zu höheren Tropfpunkten der Wachse führen. Der Einfluss der handelsüblichen Wachse auf die Bitumeneigenschaften ist somit grundsätzlich anders als der des bitumeneigenen Paraffins. Rahimian [6] weist in seiner Arbeit darauf hin, dass kristallines Paraffin im oberen Temperaturbereich eine Viskositätsanomalie beim Einlösen der Kristalle in die Bitumenmatrix verursacht. Das Ausmaß dieser

Veränderung ist bei makrokristallinen Paraffinen (n-Alkanen) wesentlich stärker ausgeprägt, als bei mikrokristallinen Paraffinen (überwiegend Iso- und Cycloalkane), findet bei deutlich höheren Temperaturen statt und hängt von der chemischen Zusammensetzung wie von der Kristallisationsfähigkeit des Paraffins ab. Iso- und Cycloalkane kristallisieren schlechter aus, sind daher besser mit der Bitumenmatrix verträglich als n-Alkane und führen daher nicht zu deutlichen Viskositätssprüngen bei Temperaturveränderungen. Sie erreichen ihren Tropfpunkt schon bei Temperaturen zwischen 20 und 70 °C und bewirken ein zusätzliches Erweichen des Bitumens bei Erwärmung. Weiterhin bewirken mikrokristalline Paraffine bei tiefen Temperaturen eine Plastifizierung des Bitumens und eine Erniedrigung des Brechpunktes, wohingegen makrokristalline Paraffine eine Versprödung und somit einen Anstieg des Brechpunktes verursachen.

Die sprunghafte Viskositätsabsenkung kommt oberhalb des Tropfpunktes der makrokristallinen Paraffine dadurch zustande, dass die Viskosität des Paraffins deutlich unterhalb der des Bitumens liegt. Die verflüssigende Wirkung bleibt beim Abkühlen bis zu einer Temperatur, die um 5 – 10 K unterhalb des Tropfpunktes liegt, bestehen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass das sich bildende Kristallgitter bis zur vollständigen Kristallisation der unterschiedlich langen Moleküle eine gewisse Zeit benötigt. , Außerdem wird bei der Kristallisation Wärme frei. Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Molekulargewichte unterschiedlicher Wachse.

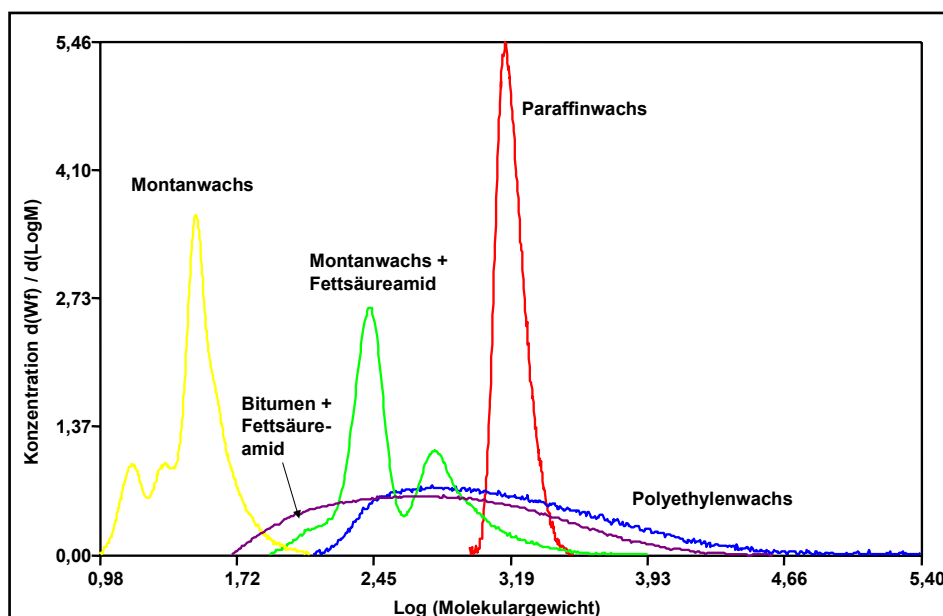


Abbildung 1: Molekulargewichte unterschiedlicher Wachse

Die Kristallisationsbildung ist mit einer messbaren Wärmeabgabe verbunden. Im Temperaturbereich der jeweiligen Kristallisation führt dies zu einem Anstieg der Temperatur an den Grenzflächen zu den Mineralstoffen, wodurch die Verdichtbarkeit des Mischgutes auch in diesem Bereich noch geringfügig

verbessert wird. Die messbare Wärmeabgabe kann zur quantitativen und qualitativen Bestimmung der Additivmenge herangezogen werden (DSC-Methode).

Sämtliche Wachse lassen sich sehr gut in Bitumen auflösen und verteilen. Weiterhin sind sie nach der Verteilung lagerstabil. Wird die Additivmenge auf eine Zugabe von maximal 4 M.-% bezogen auf das Bitumen begrenzt, führt die beschriebene Versteifung des Bindemittels in der Regel nicht zu Nachteilen im Kälteverhalten. Diese genannte obere Grenze von 4 M.-% ist geringfügig abhängig von dem Paraffingehalt des Ausgangsbitumens Damm et.al. [4].

#### 4.1.1.2 Colzuphalt

Colzuphalt ist nach Nies [7] ein flüssiges, oberflächenaktives Netzhaftmittel mit petrophilen Eigenschaften. Es wirkt im Herstellungsprozess des Asphalttes zunächst als Netzmittel (Primäreffekt) und durch chemische Umsetzung als Haftmittel (Sekundäreffekt). Als Netzmittel hat es die Eigenschaft, große Oberflächen schnell zu belegen. Diese Eigenschaft bewirkt eine gute Umhüllung besonders im Füllerbereich. Bei Temperaturen >120 °C und entsprechender thermischer Belastung im Herstellungsprozess findet eine Umwandlung zu einem Haftmittel statt. Die chemische Umwandlung in ein Haftmittel verbessert nach Herstellerangaben dauerhaft die Adhäsion zwischen Bitumen und Mineralstoffen und die Kohäsion der Asphaltmischung. Durch die Benetzung und anschließende Umwandlung erhalten die Mineralstoffe hydrophobe und oleophile Eigenschaften. Das Zusammenwirken von Primär- und Sekundäreffekt ermöglicht die Absenkung der Asphalttemperatur. Eine Veränderung der Bindemittelleigenschaften soll laut Herstellerangaben nicht erfolgen. Nach der Verarbeitung des Mischgutes ist daher die Wirkung des Colzufalles im Rahmen von Kontrollprüfungen nicht nachzuweisen.

Die Verwendung des flüssigen Colzuphalt kann entweder durch direktes Eindüsen in den Mischer an der Mischanlage oder durch Vorbehandlung des Füllers und Dosierung über das Fremdfüllersilo erfolgen. Dazu wird das Additiv in einem vorbereitenden Schritt auf den Füller aufgezogen.

#### 4.1.2 Voruntersuchungen an Asphalt

In Vorversuchen war der Nachweis einer Temperaturabsenkung auf  $\leq 145$  °C sowie der Verdichtbarkeit bis 100 °C für einen Asphaltbinder 0/16 S und einen Splittmastixasphalt 0/11 S mittels Herstellung von Probekörpern mit dem Marshallverfahren zu erbringen. Als Nachweis der Verdichtbarkeit bei 100 °C wurde ein Mindestverdichtungsgrad von 97 % bezogen auf die Raumdichte am Marshallkörper der Nullvariante mit PmB 45A bei 145 °C gefordert.



Die Vorgehensweise zum Nachweis der Temperaturabsenkung mit dem Marshallverfahren wurde vom Forschungsnehmer, asphalt-labor Arno J. Hinrichsen, vorgegeben. Es musste zunächst eine Eignungsprüfung für einen SMA 0/11 S und einen ABi 0/22 S entsprechend Merkblatt für die Eignungsprüfung an Asphalt, 1998, zur Ermittlung des optimalen Bindemittelgehaltes für die Nullvariante mit PmB 45 A mit einem Zielhohlraumgehalt von ca. 3,5 Vol.-% für den SMA 0/11 S und 5,5 Vol.-% für den ABi 0/22 S durchgeführt werden. Mit diesem optimalen Bindemittelgehalt und dem temperaturabsenkenden Bindemittel wurden Marshallkörper bei 145 °C, 130 °C, 115 °C und 100 °C hergestellt.

An den MPK wurden die Raumdichten, die Rohdichte und rechnerisch der Hohlraumgehalt bestimmt. Der Hohlraumgehalt wurde über die Verdichtungstemperatur aufgetragen und diejenige Temperatur abgelesen, bei der der oben genannte Zielhohlraumgehalt erreicht wird. Durch Addition eines Vorhaltemaßes von 15 K für Temperaturverluste während des Transportes und des Einbaus bis hinter die Fertigerbohle errechnet sich die maximale Mischguttemperatur, die in jedem Fall  $\leq 145$  °C sein musste. Weiterhin werden die Raumdichten in einem Raumdichte-Temperatur-Diagramm aufgetragen und der mögliche Verdichtungsgrad aus der Raumdichte bei 100 °C und der Referenzraumdichte der Nullvariante bei 145 °C bestimmt. Der Verhältniswert muss einen „Verdichtungsgrad“ von mindestens 97 % ausweisen.

In Abbildung 2 sind beispielhaft die Verdichtungskurven für einen SMA 0/11 S mit einem viskositätsabsenkenden Bindemittel im Vergleich zu einem PmB 45 A dargestellt. Bei 100 °C ergibt sich bezogen auf die Raumdichte der Nullvariante bei 145 °C ein Verdichtungsgrad von 99,6 %. Die Verdichtungstemperatur bei einem Zielhohlraumgehalt von 3,5 Vol.-% liegt danach bei 120 °C, sodass sich als maximale Verdichtungstemperatur gemäß Anforderung ein Wert von 135 °C ergibt.

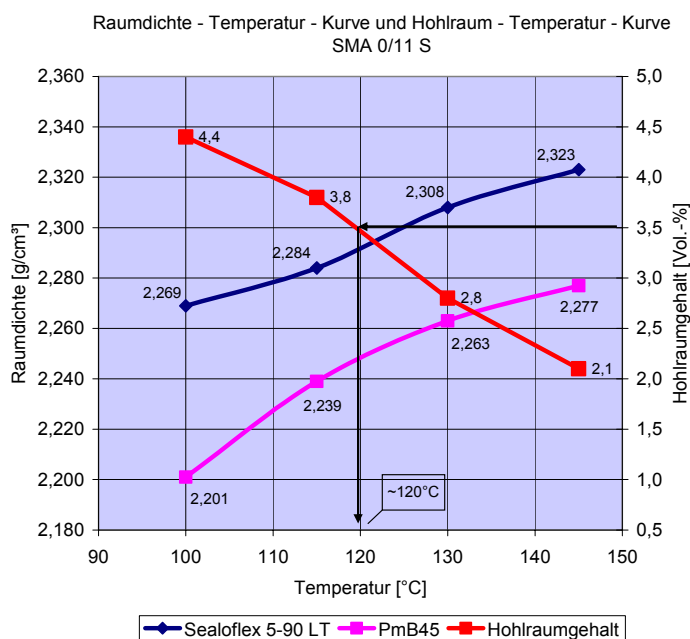


Abbildung 2: Nachweis der Temperaturabsenkung, Vorgehensweise



## 4.2 Ausschreibung

Die Erprobungsstrecken wurden mit einer vorgeschalteten Präqualifikation europaweit ausgeschrieben. Acht Baufirmen haben sich für die Ausschreibung der BAB A7 qualifiziert. Die Firma EUROVIA, Niederlassung Langenhorn, hat den Zuschlag erhalten. Für die Erprobungsstrecke B 106 wurde der Auftrag an die STRABAG, Direktion Hamburg, Niederlassung Neubrandenburg, vergeben. Der für den TA-Asphalt relevante Ausschreibungstext ist in Anlage 3 enthalten.

Zusammenfassend sind folgende Punkte gesondert hervorzuheben:

- die erweiterten Eignungsprüfungen sind vom Forschungsnehmer asphalt-labor Arno J. Hinrichsen nach einheitlichen Prüfverfahren und Kriterien zu erstellen
- es wird ein Kalkulationsbindemittelgehalt vereinbart
- bei Lieferung aus zwei Asphaltmischanlagen gelten die gleichen Eignungsprüfungen
- Binder – und Deckschicht sind auf voller Breite von 8,50 m einzubauen
- dem Asphaltfertiger ist ein Shuttle vorzuschalten
- die Herstellungstemperatur ab Werk und die Anlieferungstemperatur des Mischgutes ist beim Abkippen in den Shuttle zu dokumentieren
- es ist eine flächendeckende Verdichtungskontrolle nachzuweisen
- für eine abschnittsweise Verdichtung >98 % wird je 1 % höherem Verdichtungsgrad eine Zulage von 4 %, maximal von 12 % des Einheitspreises der betreffenden Schicht vergütet. Grundlage für die Berechnung der Zulage ist der erreichte mittlere Verdichtungsgrad pro Versuchsfeld.
- für den Schichtenverbund sind Anforderungswerte vereinbart
- die Absplittung ist mit einem weggesteuerten Splittstreuer vorzunehmen

## 4.3 Entnahmeplan von Proben und Untersuchungsumfang

### 4.3.1 Entnahme von Mischgut und Bohrkernproben

Je Erprobungsabschnitt mit einer Mindestlänge von 800 m (BAB A7) und 600 m (B 106) werden an zwei Profilen ca. 200 kg Mischgutproben (10 Eimer à 20 kg) und Bohrkernproben unterschiedlichen Durchmessers entnommen. Auf der BAB A7 sind die Profile jeweils 200 m und 600 m nach Abschnittsbeginn angeordnet. Auf der B 106 wurde das jeweils erste Profil ebenfalls 200 m nach Abschnittsbeginn eingerichtet, auf Grund der kürzeren Abschnittslängen reduziert sich der Abstand für das zweite Profil auf 400 m nach Beginn des Abschnitts.

Seitens der BAST wurden an Zwischenprofilen in jedem Abschnitt Mischgutproben entnommen und über den rechten Hauptfahrstreifen Aluminiumfolien geklebt, um die Schichtdicken zerstörungsfrei 8 Jahre lang messen zu können.

In Anlage 4 sind die Bohrkernentnahmepläne für Binder- und Deckschicht dargestellt. Diese Anordnung wurde für beide Versuchsstrecken gewählt. Die Bohrkernentnahmen wurden alternierend im Haupt- und Überholfahrstreifen der BAB A7 bzw. in der linken und rechten Fahrspur der B 106 entnommen. Je Profil wurden 2 Kerne mit einem Durchmesser  $d$  von 300 mm für Spurbildungsversuche im Wasserbad bei 50 °C mit dem Stahlrad und 2 Bohrkernentnahmen  $d=150$  mm für die Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner zwischen Binder- und Tragschicht, sowie zwischen Deck- und Binderschicht entnommen. Aus der Deckschicht wurden zusätzlich 2 Kerne mit  $d= 225$  mm für Griffigkeitsmessungen nach Wehner-Schulze entnommen. An den Bohrkernen mit einem Durchmesser von 300 mm bzw. 225 mm wurden die Raumdichten für die Verdichtungskontrolle bestimmt. Die Raumdichten dienen weiterhin zur Kalibrierung der Troxler-Sondenmessungen. An sämtlichen Bohrkernen wurde die Schichtdicke ermittelt.

### 4.3.2 Entnahme von Bindemittelproben

Für die Versuchsstrecke BAB A7 wurden die Bindemittel in der Aufteilung 2/3 zu 1/3 alternierend zu den beteiligten zwei Mischwerken geliefert (vgl. 6.1). Die größere Menge wurde mit je 2 Tankzügen angeliefert, für die kleinere Menge war ein Fahrzeug pro Bindemittel ausreichend. Jede Lieferung wurde bei der Probenahme berücksichtigt. Wenn es nicht möglich war, die Bindemittelproben aus dem Fahrzeug zu entnehmen, mussten die Proben am Bindemittel-Tank während des laufenden Betriebs gezogen werden. Je Bindemittel wurden  $3 \times 2 = 6$  Eimer á 5 kg entnommen.

Im Unterschied zur BAB A7 wurden für die Versuchsstrecke B 106 die Asphalte/Bindemittel durch Zugabe an der Mischanlage additiviert. Daher wurde aus logistischen Gründen an den zwei beteiligten Mischwerken jeweils nur ein Additiv verarbeitet. Es wurden Proben der Ausgangsbindemittel jeder Lieferung im gleichen Umfang wie bei der BAB A7 entnommen. Zusätzlich wurden die Additive beprobt.

### 4.3.3 Untersuchungsumfang

Das im Forschungsvorhaben vereinbarte Untersuchungsprogramm sieht Untersuchungen am Asphalt, an der verdichteten Schicht sowie an den verwendeten Bindemitteln vor. An den Asphaltproben und Bohrkernen werden vom Forschungsnehmer im Einzelnen folgende Untersuchungen durchgeführt:

- vollständige Kontrollprüfungen am Mischgut gemäß ZTV Asphalt- StB 01,
- Spurbildungsversuche an Bohrkernen Ø 300 mm (Wasserbad 50 °C, Stahlrad), gemäß TP-A StB, Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurtiefe im Wasserbad, 1997
- Verdichtungsversuche am Mischgut bei 4 verschiedenen Temperaturen, 145, 130, 115 und 100 °C
- Prüfung der Verdichtbarkeit am Mischgut gemäß DIN EN 12697-10:2001 unter Anwendung der Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt
- Bestimmung der Spaltzugfestigkeit an Marshallprobekörpern aus Mischgut vor und nach Wasserlagerung (96h Wasserlagerung bei 40 °C, Prüfung bei 5°C)
- Abkühlzugversuche an im Labor hergestellten Probekörpern gemäß TP-A StB, Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen, 1994

Darüber hinaus werden von der BAST aus den Mischgutproben Probeplatten für einen zusätzlichen Spurbildungsversuch hergestellt Diese werden auf die an den Bohrkernen ermittelten Raumdichten verdichtet. Die Spurbildungsversuche werden bei 60 °C, Gummirad, Lufttemperierung durchgeführt.

Die Bindemitteluntersuchungen werden am frischen Bindemittel, nach Kurzzeitalterung mit dem RFT-Verfahren (Rotating-Flask-Test), nach Langzeitalterung mit dem PAV -Verfahren (Pressure Aging Vessel) und vorgeschalteter RFT-Alterung sowie am rückgewonnenen Bindemittel durchgeführt. Im Einzelnen werden geprüft:

- Erweichungspunkt RuK, Penetration, Brechpunkt nach Fraass, Duktilität bei 25 °C
- komplexer Schubmodul  $G^*$ , Phasenwinkel  $\delta$ , Viskosität  $\eta$  und Nullscherviskosität ZSV bei 60 °C mit dem dynamischen Scherrheometer, AASHTO TP 5
- Steifigkeit S bei -16 °C mit dem Biegebalkenrheometer, AASHTO TP1
- Kraftduktilität bei 25 °C

An der verdichteten Schicht werden folgende Prüfungen bei Fertigstellung der Baumaßnahme sowie 2 Jahre, 4 und 8 Jahre nach Fertigstellung durchgeführt:

- Längs – und Querebenheit mit dem Planographen und dem Profilographen
- Griffigkeit mit dem Messverfahren SCRIM
- Beurteilung der Rissbildung und etwaiger Substanzverluste
- Bohrkernentnahmen, Mischgut- und Bindemitteluntersuchung

## 5 Eignungsprüfungen

Nach den ZTV Asphalt- StB 01 ist eine Mischgutzusammensetzung für Verkehrswege der Bauklasse SV, I und II und bei besonderer Beanspruchung im Rahmen einer erweiterten Eignungsprüfung nach den Kriterien

- Wärmestandfestigkeit und / oder
- Verhalten bei tiefen Temperaturen und / oder
- Verdichtbarkeit

zu optimieren. Bei der Versuchsstrecke BAB A7 handelt es sich mit 68,6 Millionen äquivalenten 10-t-Achsen in 30 Jahren Nutzungsdauer um eine sehr hoch belastete Autobahn der Bauklasse SV. Die Erprobungsstrecke B 106 ist für eine Bauklasse II zu konzipieren. Für beide Versuchsstrecken ergeben sich darüber hinaus besondere Anforderungen aus dem Forschungsvorhaben, sodass die Notwendigkeit umfangreicher erweiterter Eignungsprüfungen besteht. Die durchgeführten Untersuchungen beinhalten dynamische Prüfverfahren an Asphalt, sowie performanceorientierte Bitumenprüfungen. Neben einer herkömmlichen Eignungsprüfung werden im Einzelnen für jede EP beider Versuchsstrecken folgende Prüfungen durchgeführt:

- Einaxiale Druckschwellversuche gemäß TP A-StB, Teil Einaxialer Druckschwellversuch – „Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme, 1999“ sowie Spurbildungsversuche gemäß TP A-StB, Teil Spurbildungsversuch – „Bestimmung der Spurrinntiefe im Wasserbad, 1997“ zur Optimierung der Mischgutzusammensetzung hinsichtlich Wärmestandfestigkeit
- Biegebalkenrheometer BBR zur Beurteilung des Tieftemperaturverhaltens
- Verdichtungswiderstand gemäß Merkblatt für das Verdichten von Asphalt, 1991 Teil: Praxis der Verdichtung sowie Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt mit Hilfe des Marshallverfahrens, 1987
- Griffigkeitsprognose nach Wehner-Schulze
- Temperaturabsenkungspotential (Marshallverfahren: Abhängigkeit des Verdichtungszustandes von der Verdichtungstemperatur)

### 5.1 Prüfverfahren

Für alle Prüfverfahren, bei denen im Rahmen der Eignungsprüfung die Herstellung von Marshallprobekörpern notwendig war, wurde als Verdichtungstemperatur für die temperaturabgesenkten

Asphalte eine Temperatur von  $135\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  gewählt. Auf die Problematik der Wahl der richtigen Verdichtungstemperatur wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Der Abschnitt 8.2 befasst sich eingehend mit diesem Thema.

## 5.1.1 Einaxialer Druckschwellversuch

Zur Ansprache des Verformungsverhaltens bei hohen Gebrauchstemperaturen eignet sich der einaxiale Druckschwellversuch gemäß TP A-StB Teil: Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme, 1999. Ein planparallel geschliffener Marshallprobekörper wird dabei einer auf seiner Grundfläche gleichmäßig verteilten sinusimpulsförmigen (haversine) Druckschwellbelastung unterworfen. Für jeden Belastungszyklus (insgesamt 10000) wird die resultierende visko - plastische Verformung in Belastungsrichtung aufgezeichnet und ausgewertet. Zur Beurteilung des Verformungsverhaltens bei Wärme ist die Dehnungsrate  $\epsilon_w^*$  im Wendepunkt der aufgezeichneten Kurve (Dehnung in Abhängigkeit der Lastimpulszahl) maßgebend. Weitere Merkmalsgrößen für das Verformungsverhaltens bei Wärme sind die Dehnung  $\epsilon_w$  und die Lastimpulszahl  $n_w$  im Wendepunkt der registrierten Kurve. Aufgetragen wird die Dehnung als Funktion der Lastimpulszahl. Abbildung 3 zeigt beispielhaft den Verlauf einer Verformungskurve im Druckschwellversuch. Die Kurve lässt sich in drei Phasen unterteilen. Im ersten Teil kommt es zu einer anfänglich starken Verformung mit progressiv abnehmender Verformungsgeschwindigkeit. Der Probekörper wird konsolidiert. Anschließend folgt im 2. Teil eine Verformung mit nahezu konstanter Verformungsgeschwindigkeit und einem Wendepunkt. Im dritten Teil zeigt sich mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit die Gefügezerstörung des Probekörpers.

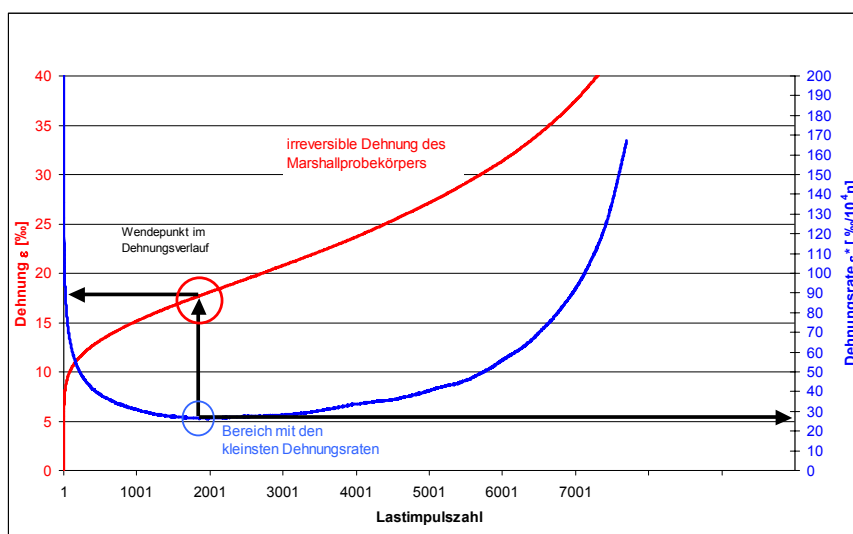


Abbildung 3: Verformungskurve Druckschwellversuch

**Tabelle 1:** Prüfbedingungen im einaxialen Druckschwellversuch

Prüftemperatur	:	50 °C ± 0,3 K
Oberlast	:	2,750 kN
Unterlast	:	0,200 kN
Dauer der Oberlast	:	0,2 s
Dauer der Unterlast	:	1,5 s
Zyklusdauer	:	1,7 s
Belastungsbild	:	Sinusimpuls (haversine)
Probe	:	planparallel geschliffene Grundflächen, mit Gleitmittel versehen
Temperierdauer	:	mindestens 2,5 Stunden

In Tabelle 1 sind die üblichen Prüfbedingungen für den Druckschwellversuch gemäß Roos et. al. [8] zusammengestellt. Für Splittmastixasphalte liegt ein Bewertungshintergrund zur Beurteilung der Wärmestandfestigkeit vor, für Asphaltbinder zurzeit noch nicht. Der Druckschwellversuch eignet sich jedoch auch für Asphaltbinder sehr gut zur Optimierung der Korngrößenverteilung. Die Wärmestandfestigkeit der Asphaltbinder wird mit dem nachfolgend beschriebenen Spurbildungsversuch beurteilt.

### 5.1.2 Spurbildungsversuch

Zur Ansprache der Wärmestandfestigkeit wurden an allen Asphalten Spurbildungsversuche gemäß TP A-StB, Teil Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinentiefe im Wasserbad, 1997 an im Labor hergestellten Probepfatten durchgeführt.

Für die Asphaltbinder wurden Platten mit einer Dicke von 5 cm und für die Splittmastixasphalte mit einer Dicke von 4 cm hergestellt. Das Mischgut wurde im Lamellenverdichter auf 100 % verdichtet. Als Bezugsraumdicke wurde die für jedes Bindemittel am Marshallprobekörper bestimmte Raumdicke zugrunde gelegt.

Die Spurtiefen wurden anschließend im Wasserbad bei 50 °C nach 20000 Überrollungen mit dem Stahlrad bestimmt.

### 5.1.3 Bestimmung der Verdichtbarkeit sowie Temperaturabsenkungspotential

Zur Abschätzung des Temperaturabsenkungspotentials wurde bei drei verschiedenen Temperaturen die Verdichtbarkeit der Asphalte gemäß DIN EN 12697-10:2001 bestimmt. Unter Anwendung des in der

Arbeitsanleitung für die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Walzasphalt beschriebenen Verfahrens über die Dickenänderung des Marshallprobekörpers während des Verdichtungsprozesses dient als Kenngröße für die Beschreibung der Verdichtbarkeit der Verdichtungswiderstand  $D [21 \text{ Nm}]$ . Anhaltswerte für die Beurteilung der Ergebnisse werden dem „Merkblatt für das Verdichten von Asphalt, Teil 2: Theorie der Verdichtung“, FGSV, 1993 entnommen.

Die Ermittlung des D-Wertes erfolgte bei 135 °C, 120 °C und 105 °C.

## 5.1.4 Griffigkeitsprognose nach dem Wehner/Schulze Verfahren

Die Poliermaschine Wehner/Schulze simuliert zeitraffend den Schwerlastverkehr, dem eine Fahrbahnbefestigung ausgesetzt ist. Die Prüfung wird an Bohrkernen mit einem Durchmesser von 225 mm durchgeführt. Die Probekörperoberfläche wird durch drei mit Gummimanschetten bestückte Rollen mit einem Kontaktdruck von 0,4 N/mm<sup>2</sup> unter Zugabe von Wasser und Quarzmehl als Schleifmittel poliert. Merkmalsgröße für die Griffigkeit ist der Gleitbeiwert  $\mu\text{PWS}$ . Dieser wird ermittelt, indem drei Messgummis auf nasser Prüfkörperoberfläche von einer Umlaufgeschwindigkeit von 100 km/h durch Reibung bis zum Stillstand abgebremst werden. Die Probekörper werden der in Tabelle 2 angegebenen Standard-Verkehrssimulation (Verfahren Wehner/Schulze) unterzogen.

**Tabelle 2:** Standard-Verkehrssimulation Verfahren Wehner/Schulze

Beanspruchungsstufen	
Unbeanspruchter Ausgangszustand	(0)
90.000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	(1)
Aufräumen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen	(2)
90.000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	(3)
Weitere Griffigkeitsmessungen mit dem LGM bis zum Erreichen des Grenzwertes	(4)

Die Beanspruchungsstufe (1) stellt einen Griffigkeitszustand dar, der sich nach kurzzeitiger Verkehrsbeanspruchung einstellt (Anfangsgriffigkeit). Maßgebend für die relative Bewertung des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltgemischen unter Verkehr sind die PWS-Werte der Beanspruchungsstufen



(3) und (4). Eine Interpretation der Beanspruchungsstufen (0) und (2) findet aufgrund des fehlenden Bewertungshintergrundes derzeit nicht statt.

## 5.1.5 Biegebalkenrheometer (BBR)

Das Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen wird maßgeblich von der Bindemittelart und der Bindemittelmenge bestimmt. Mit dem Biegebalkenrheometer kann der Beitrag der Bindemittel zum Widerstand gegen Rissbildung bei Kälte abgeschätzt werden.

Zur Prüfung wird die Durchbiegung eines Bindemittelbalkens, die aus einer mittig aufgetragenen konstanten Last bei  $-16\text{ °C}$  entsprechend TL PmB Ausgabe 2001 nach 60 Sekunden resultiert, gemessen. Als Merkmalgrößen werden daraus die Steifigkeit  $S$  und der  $m$ -Wert (als Maß für die Relaxationsfähigkeit) bestimmt. Je geringer die Steifigkeit und je höher der  $m$ -Wert sind, desto günstiger ist das Kälteverhalten des Bindemittels zu bewerten. Werden die in der TL PmB 01 genannten Anforderungswerte eingehalten, so kann davon ausgegangen werden, dass bis zu einer Temperatur von  $-26\text{ °C}$  nicht die Gefahr der thermisch induzierten Rissbildung besteht, AASHTO TP 1 [23].

Nach Eurobitume [9] besteht eine gesicherte Korrelation zwischen den Prüfergebnissen mit dem BBR und der am korrespondierenden Asphalt im axialen Abkühl-/Zugversuch nach Arand ermittelten Bruchtemperatur. Daher erfolgte die nach ZTV Asphalt – StB 01 geforderte Beurteilung des Tieftemperaturverhaltens von Asphalten auf Basis der am Bindemittel gefundenen Eigenschaften.

## 5.2 Erprobungsstrecke BAB A7

Die Erprobungsstrecke erstreckt sich auf der BAB A7 – Rifa Süd, km 34+280 bis km 39+890 zwischen den Anschlussstellen Schuby und Owschlag. Die bemessungsrelevante Beanspruchung in 30 Jahren beträgt 68,6 Mio. äquivalente 10t-Achsen entsprechend der Bauklasse SV. Für den Untersuchungszeitraum von 8 Jahren werden 18,3 Mio. äquivalente 10 t-Achsen zugrunde gelegt. Es handelt sich um eine Deckenerneuerung mit Verstärkung der Asphalttragschicht. Die Erprobung der TA-Bindemittel bezieht sich ausschließlich auf die Binder- und Deckschicht. Es kamen ausschließlich Fertigbindemittel, die mit Wachsen/Paraffinen additiviert wurden, zum Einsatz.

Es wurden sechs Erprobungsabschnitte von mindestens 800 m Länge angelegt, von denen 5 Erprobungsabschnitte mit TA-Asphalt (Temperaturabsenkung auf  $140\text{ °C}$  bis  $145\text{ °C}$ ) und eine



Referenzstrecke mit herkömmlichem Asphalt mit PmB 45 A (Einbautemperatur 165 °C bis 175 °C) gebaut wurde. Das PmB 45 A wurde von der Raffinerie Brunsbüttel der TOTAL geliefert.

## 5.2.1 Asphaltbinder 0/16 S

### 5.2.1.1 Auswahl der Sieblinie

Die Sieblinie wurde mit Hilfe des einaxialen Druckschwellversuches (vgl. 4.4.1) im Hinblick auf Wärmestandfestigkeit optimiert. Es wurden zwei unterschiedliche Gesteinskörnungsgemische (KGV 1 und KGV 2) untersucht. KGV 1 wurde dabei sandreicher und splittärmer zusammengesetzt. Der Sandanteil liegt dabei an der oberen Grenze des für Asphaltbinder nach ZTV Asphalt-StB 01 zulässigen Sieblinienbandes. Für KGV 2 wurde der Sandanteil zugunsten des Splittanteils reduziert. Die Sieblinie liegt somit mittig im zulässigen Sieblinienband. Die Voruntersuchungen wurden mit dem Bindemittel Olexobit NV 25 durchgeführt. Dieses Bindemittel war aufgrund seiner im Rahmen der Präqualifikation festgestellten Bindemittleigenschaften als repräsentativ für die temperaturabsenkenden Bindemittel der Binderschicht anzusehen. Tabelle 3 zeigt die untersuchten Korngemische.

**Tabelle 3:** BAB A7, Abi 0/16 S, untersuchte Korngemische KGV 1 und KGV 2

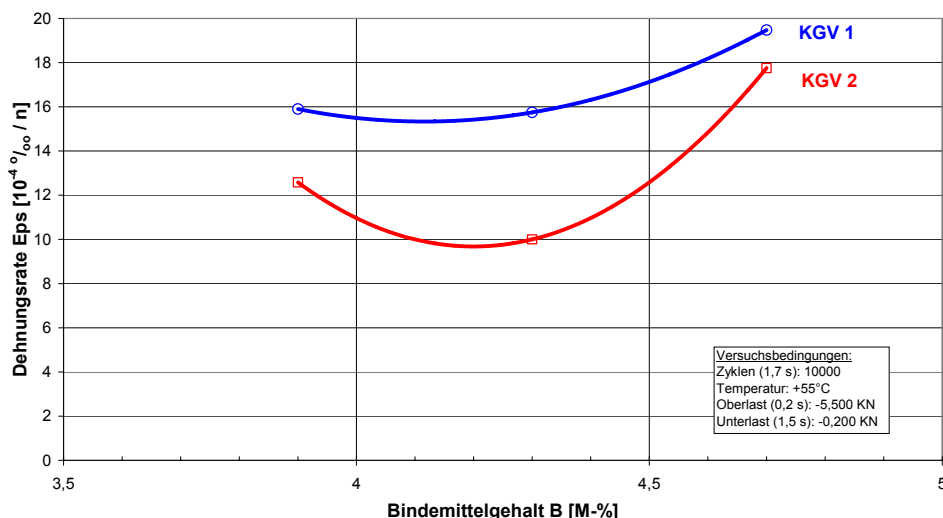
Korngrößenverteilung 1 (KGV 1)			Korngrößenverteilung 2 (KGV 2)		
Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]		Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]	
0,09	7,0	Füller: 7,0	0,09	7,0	Füller: 7,0
0,25	11,6		0,25	11,0	
0,71	18,1		0,71	16,6	
2,0	30,0	Sand: 23,0	2,0	27,0	Sand: 20,0
5,0	42,9		5,0	40,6	
8,0	57,6		8,0	56,4	
11,2	74,3	>2,0 mm: 70,0	11,2	73,5	>2,0 mm: 73,0
16,0	97,2	>11,2 mm: 25,7	16,0	97,1	>11,2 mm: 26,5
22,0	100,0		22,0	100,0	

Da die ersten Untersuchungen mit einer Belastung entsprechend Roos et.al. [8] (Temperatur 50 °C, Spannung 0,35 N/mm<sup>2</sup>) keine ausreichende Spreizung der Ergebnisse geliefert hat, wurde für die Voruntersuchung die Oberspannung auf einen Wert von 0,7 N/mm<sup>2</sup> verdoppelt und die Temperatur auf 55 °C angehoben, sodass die folgenden Versuchsbedingungen eingehalten wurden:

**Tabelle 4:** Versuchsbedingungen im einaxialen Druckschwellversuch BAB A7, ABI 0/16 S

Prüftemperatur	:	50 °C ± 0,3 K
Oberlast	:	5,500 kN (entspricht einer Oberspannung von 0,700 N/mm <sup>2</sup> )
Unterlast	:	0,200 kN (entspricht einer Unterspannung von 0,025 N/mm <sup>2</sup> )
Dauer der Oberlast	:	0,2 s
Dauer der Unterlast	:	1,5 s
Zyklusdauer	:	1,7 s
Belastungsbild	:	Sinusimpuls (haversine)
Probe	:	planparallel geschliffene Grundflächen, mit Gleitmittel versehen
Temperierdauer	:	mindestens 2,5 Stunden

Das nachfolgende Diagramm zeigt die ermittelten Dehnungsraten, aufgetragen über die variierten Bindemittelgehalte. Beide Korngrößenverteilungen weisen auf eine hohe Wärmestandfestigkeit hin. Die Dehnungsraten für KGV 2 liegen im Niveau jedoch deutlich unterhalb der Dehnungsraten für KGV 1. Es ist eine größere Empfindlichkeit für etwaig produktionsbedingte Bindemittelschwankungen zu erkennen, dennoch wird die Korngrößenverteilung KGV 2 aufgrund der absolut günstigeren Dehnungsraten für sämtliche Abschnitte gewählt.



**Abbildung 4:** BAB A7, ABI 0/16 S, einaxialer Druckschwellversuch, ermittelte Dehnungsraten bei variiertem Bindemittelgehalt für Korngemische KGV1 und KGV 2

Der einaxiale Druckschwellversuches ist somit sehr gut für eine Optimierung des Bindemittelgehaltes hinsichtlich der Wärmestandfestigkeit des Asphaltes geeignet.

### 5.2.1.2 Auswahl des optimalen Bindemittelgehaltes

Nach den ZTV Asphalt-StB 01 und dem Bauvertrag ist für den Hohlraumgehalt am Marshallprobekörper eine Spannweite von 4,0 bis 7,0 Vol.-% und für den Bindemittelgehalt von 4,2 bis 5,5 M.-% vorgegeben. Diese Vorgaben sind bei der Erstellung der Eignungsprüfung zu beachten. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit des Asphaltbinders ist ein niedriger Hohlraumgehalt anzustreben. Tabelle 5 zeigt die Zusammenstellung der ermittelten Bindemittel- und Hohlraumgehalte.

**Tabelle 5:** BAB A7, ABi 0/16 S, Bindemittelzugabe und Hohlraumgehalt

Erprobungsabschnitt		Raumdichte MPK $\rho_D$	Bindemittel Zugabe	Hohlraumgehalt MPK $H_{bit}$
Nr	Bindemittel	[g/cm <sup>3</sup> ]	[M.-%]	[Vol.-%]
2	SFB 5-90 LT	2,471	4,3	4,4
3	Olexobit NV 25	2,457	4,5	4,6
4	Sübit VR 35	2,461	4,3	4,8
5	SmB 25	2,463	4,3	4,7
6	Caribit 25 S	2,455	4,6	4,5
1	PmB 45 A	2,460	4,4	4,6

Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich die Art des TA-Bindemittels auf den optimalen Bindemittelgehalt auswirkt und daher nicht einfach durch ein anderes TA-Bindemittel ersetzt werden darf.

### 5.2.1.3 Verdichtungswiderstand und Temperaturabsenkungspotential

Die Ermittlung und Beurteilung des Verdichtungswiderstandes und Temperaturabsenkungspotentials erfolgt nach dem im Abschnitt 5.1.3 beschriebenen Verfahren. Für einen Asphaltbinder 0/16 wird ein Variationsbereich des Verdichtungswiderstandes D von 23 bis 53 [21 Nm], im Mittel 39 angegeben. Der D-Wert wurde dabei zur gleichzeitigen Beurteilung des Temperaturabsenkungspotentials für jedes Bindemittel bei drei verschiedenen Temperaturen bestimmt. Für die Referenzstrecke wurde lediglich bei 145 °C der Verdichtungswiderstand ermittelt. Tabelle 6 zeigt die ermittelten Werte.

**Tabelle 6:** BAB A7, ABi 0/16 S, Verdichtungswiderstand D

Erprobungsabschnitt		Verdichtungswiderstand D [21 Nm]			
Nr	Bindemittel	145 °C	135 °C	120 °C	105 °C
2	SFB 5-90 LT	-	37,7	40,8	40,3
3	Olexobit NV 25	-	39,3	40,4	42,2
4	Sübit VR 35	-	39,7	42,2	41,9
5	SmB 25	-	38,3	41,8	41,5
6	Caribit 25 S	-	38,0	39,6	41,0
1	PmB 45 A	38,1	-	-	-

Die Verdichtbarkeit von Asphaltbindern wird maßgeblich durch das Kornhaufwerk bestimmt. Der Viskosität der Bindemittel sowie der Verdichtungstemperatur kommt daher eine eher untergeordnete Bedeutung zu. Dies wird auch durch die gefundenen D-Werte bestätigt. Sämtliche D-Werte liegen auf einem vergleichbaren Niveau und steigen auch bei 105 °C nur geringfügig an. Die Temperaturabsenkung bei den TA-Asphalten führt somit nicht zu einer Verschlechterung der Verarbeitbarkeit der Asphalte.

#### 5.2.1.4 Wärmestandfestigkeit

Für Asphaltbinder liegt zurzeit kein ausreichend abgesicherter Bewertungshintergrund zur Bewertung der Wärmestandfestigkeit mit dem einaxialen Druckschwellversuch vor. Eine Beurteilung erfolgt im Rahmen der Eignungsprüfung daher mit Hilfe des Spurbildungsversuchs gemäß TP A-StB: Teil Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinntentiefe im Wasserbad, Ausgabe 1997. Gemäß Bauvertrag werden als maximale Spurrinntentiefe für die Eignungsprüfung 3,5 mm gefordert. Tabelle 7 zeigt die Spurtiefen der Asphaltbinder 0/16 S.

**Tabelle 7:** BAB A7, ABi 0/16 S, Spurtiefen im Spurbildungsversuch

Erprobungsabschnitt		Eignungsprüfung	
Nr.	Bindemittel	Mischgut	Spurtiefe
			[mm]
2	SFB 5-90 LT	ABi 0/16 S	1,1
3	Olexobit NV 25	ABi 0/16 S	1,1
4	Sübit VR 35	ABi 0/16 S	1,3
5	SmB 25	ABi 0/16 S	1,4
6	Caribit 25 S	ABi 0/16 S	1,2
1	PmB 45 A	ABi 0/16 S	2,0

Mit allen Bindemitteln ist eine sehr gute Wärmestandfestigkeit im Rahmen der Eignungsprüfung nachweisbar.

## 5.2.1.5 Tieftemperatureigenschaften

Das Tieftemperaturverhalten der TA-Asphalte wurde im Rahmen der Eignungsprüfung mit dem Biegebalkenrheometer BBR überprüft (vgl. Abschnitt 5.1.5). In Tabelle 8 sind die Ergebnisse am frischen und am kurzzeitgealterten Bindemittel für die Bindemittel der Erprobungsabschnitte dargestellt. Aufgrund der Ergebnisse ist für sämtliche Asphalte bis zu einer Temperatur von  $-26\text{ °C}$  nicht mit einer Rissbildung infolge kryogener Zugspannungen zu rechnen. Das Relaxationsverhalten kann für sämtliche Bindemittel positiv bewertet werden. Das Bindemittel der Referenzstrecke erfüllt die Anforderungen der Regeluntersuchungen nach TL PmB, Ausgabe 2001, es kann daher davon ausgegangen werden, dass auch in diesem Abschnitt erst bei Temperaturen  $< -26\text{ °C}$  mit Kälterissen zu rechnen ist.

**Tabelle 8:** BAB A7, Abi 0/16 S, Steifigkeit und m-Wert Eignungsprüfung

Erprobungsabschnitt		Steifigkeit S [MPa]			m-Wert [-]		
Nr	Bindemittel	Anforderungswert Gemäß LV	frisch	nach RFT	Anforderungswert	frisch	nach RFT
2	SFB 5-90 LT	$\leq 200$	37	55	$\geq 0,3$	0,5	0,5
3	Olexobit NV 25	$\leq 250$	197	239	$\geq 0,3$	0,3	0,3
4	Sübit VR 35	$\leq 250$	127	148	$\geq 0,3$	0,3	0,3
5	SmB 25	$\leq 250$	205	221	$\geq 0,3$	0,3	0,3
6	Caribit 25 S	$\leq 350$	306	306	$\geq 0,3$	0,3	0,3
1	PmB 45 A	$< 300$	Bindemittel wurde für die Splittmastixasphalt untersucht, vgl. Tabelle 14				

## 5.2.2 Splittmastixasphalt 0/11 S

Zusätzlich zu den am Asphaltbinder durchgeführten Untersuchungen wurde für die Splittmastixasphalte die Wärmestandfestigkeit mit Hilfe des einaxialen Druckschwellversuchs angesprochen, sowie der Einfluss der Bindemittelsysteme auf die Griffigkeit mit der Griffigkeitsprognose nach Wehner-Schulze untersucht.

### 5.2.2.1 Auswahl der Sieblinie

Es wurden ebenfalls zwei unterschiedliche Korngemische (KGV1 und KGV2) untersucht. Für KGV 2 wurde der Anteil  $< 2,0\text{ mm}$  an der oberen Grenze des Sieblinienbandes für Splittmastixasphalte gemäß ZTV Asphalt-StB 01 gewählt, um damit auch eine Verbesserung der Griffigkeitseigenschaften des Asphaltes

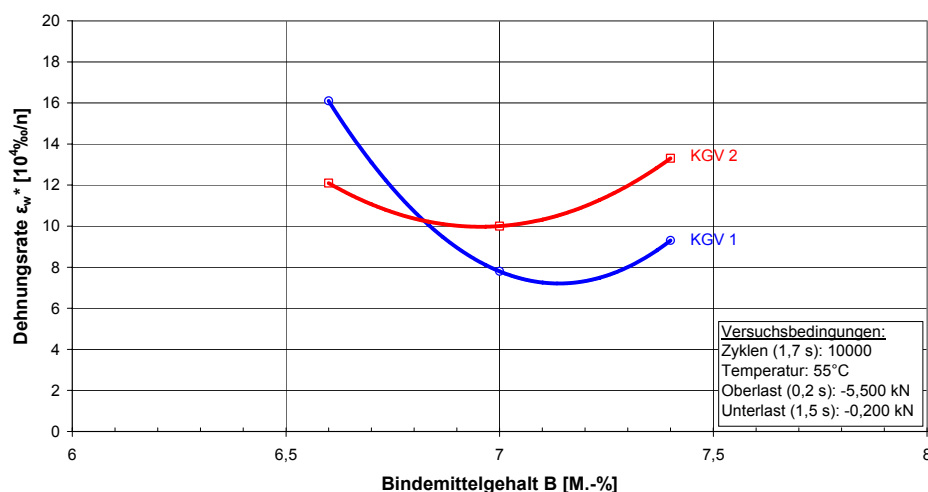
zu erreichen. KGV 1 ist die splittreichere Variante und liegt mittig im nach ZTV Asphalt-StB 01 möglichen Sieblinienband. Die Voruntersuchungen wurden mit dem Bindemittel Olexobit NV 45 durchgeführt. Dieses Bindemittel war aufgrund seiner Bindemittleigenschaften (Angaben aus der Präqualifikation) als repräsentativ für die temperaturabsenkenden Bindemittel der Deckschicht anzusehen. (vgl. Abschnitt 4.1, S.11).

**Tabelle 9:** BAB A7, SMA 0/11 S, untersuchte Korngemische KGV 1 und KGV 2

Korngrößenverteilung 1 (KGV 1)			Korngrößenverteilung 2 (KGV 2)		
Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]		Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]	
0,09	11,2	Füller: 11,2	0,09	11,2	Füller: 11,2
0,25	13,9		0,25	14,2	
0,71	17,7		0,71	18,4	
2,0	24,3	Sand: 13,1	2,0	25,8	Sand: 14,6
5,0	36,0		5,0	39,0	
8,0	60,0	>2,0 mm: 75,7	8,0	59,9	>2,0 mm: 74,2
11,2	95,7	>8,0 mm: 40,0	11,2	95,7	>8,0 mm: 40,1
16,0	100,0		16,0	100,0	

Abbildung 5 zeigt die ermittelten Dehnungsraten, aufgetragen über die variierten Bindemittelgehalte. Um eine gute Spreizung der Ergebnisse zu erzielen, wurden die Untersuchungen mit einer gegenüber Roos et.al. [8] erhöhten Belastung (Temperatur 55 °C, Spannung 0,7 N/mm<sup>2</sup>) durchgeführt. Die Dehnungsraten bei KGV 1 liegen bei höherem Bindemittelgehalt im Niveau unterhalb der Dehnungsraten von KGV 2, es wird jedoch eine größere Empfindlichkeit gegenüber Bindemittelschwankungen und auch eine höhere Dehnungsrate bei geringerem Bindemittelgehalt deutlich. Daher wurde KGV 2 für sämtliche Abschnitte ausgewählt.

Von einem wärmebeständigen Asphaltgemisch für eine Bauklasse SV, Kategorie I (bis 30,0 Mio. äquivalente 10t-Achsübergänge in 10 Jahren) kann man ausgehen, wenn die maßgebende Dehnungsrate  $< 5‰ \cdot 10^4/n$  ist. Auf der BAB A7 werden in den ersten 8 Jahren 18,6 Mio. äquivalente 10t-Achsübergänge erwartet. Die für die beiden Korngrößenverteilungen ermittelten Dehnungsraten liegen erwartungsgemäß bei der erhöhten Belastung oberhalb des für die Kategorie 1 erwähnten Anforderungswertes. Die Beurteilung der Wärmebeständigkeit erfolgt unter Verwendung der zu erprobenden Bindemittel, bei Versuchsbedingungen die dem Bewertungshintergrund entsprechen. Die Auswertung erfolgt im Abschnitt 5.2.2.4.



**Abbildung 5:** BAB A7, SMA 0/11 S, einaxialer Druckschwellversuch, ermittelte Dehnungsraten bei variiertem Bindemittelgehalt für Korngemische KGV1 und KGV 2

### 5.2.2.2 Auswahl des optimalen Bindemittelgehaltes

Nach den ZTV Asphalt-StB 01 und den Anforderungen aus dem Bauvertrag sind für den Hohlraumgehalt am Marshallprobekörper eine Spannweite von 3,0 bis 4,0 Vol.-% und für das Bindemittelvolumen ein Mindestwert von 16 Vol.-% vorgegeben, die bei der Erstellung der Eignungsprüfung zu beachten sind. Für temperaturabsenkende Bindemittel liegen noch keine abgesicherten Erkenntnisse vor, ob diese Vorgaben zutreffend sind. Mit den gewählten Zusammensetzungen der Eignungsprüfungen wird daher zum Teil bewusst von diesen Vorgaben abgewichen. Weiterhin haben die im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung durchgeführten Untersuchungen zur Ansprache der Wärmestandfestigkeit (vgl. 5.2.2.4) sowie die Griffigkeitsprognose nach Wehner/Schulze (vgl. 5.2.2.5) zu geringeren als im Marshallverfahren ermittelten Bindemittelgehalten geführt. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

**Tabelle 10:** BAB A7, SMA 0/11 S, Bindemittelzugabe, Hohlraumgehalt, Bindemittelvolumen

Erprobungsabschnitt		Raumdichte MPK $\rho_D$	Bindemittel Zugabe	Hohlraumgehalt MPK $H_{bit}$	Bindemittel- volumen $B_v$
Nr	Bindemittel	[g/cm <sup>3</sup> ]	[M.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]
2	SFB 5-90 LT	2,308	6,7	4,3	15,1
3	Olexobit NV 45	2,325	6,7	3,6	15,2
4	Sübit VR 35	2,295	6,9	4,7	15,4
5	SmB 35	2,314	6,8	4,0	15,3
6	Caribit 45 S	2,280	6,9	5,2	15,4
1	PmB 45 A	2,323	6,7	3,7	15,2



Die in den Eignungsprüfzeugnissen festgelegten Hohlraumgehalte der Erprobungsabschnitte 2, 4 und 6 liegen oberhalb der nach ZTV Asphalt-StB 01 zulässigen Spannweite. Es wurde jedoch bewusst keine Erhöhung des Bindemittelgehaltes vorgenommen, um nicht die Wärmestandfestigkeit zu verschlechtern. Auffällig sind die Abweichungen des Hohlraumgehaltes der Abschnitte 2, 3 und 1 trotz gleicher Bindemittelzugabe. Offensichtlich lässt sich das hochpolymerisierte Bindemittel SFB 5-90 LT mit dem Marshallhammer nicht optimal verdichten.

### 5.2.2.3 Verdichtbarkeit und Temperaturabsenkungspotential

Die Ermittlung der Verdichtbarkeit erfolgte nach dem in Abschnitt 5.1.3 beschriebenen Prüfverfahren.

Für einen Splittmastixasphalt 0/11 wird ein Variationsbereich des Verdichtungswiderstandes D von 21 bis 54 [21 Nm], im Mittel 38 angegeben. Der D-Wert wurde dabei zur gleichzeitigen Beurteilung des Temperaturabsenkungspotentials für jedes Bindemittel bei drei verschiedenen Temperaturen bestimmt. Für die Referenzstrecke wurde lediglich bei 145 °C der Verdichtungswiderstand ermittelt. Tabelle 11 zeigt die gefundenen Werte.

**Tabelle 11:** BAB A7, SMA 0/11 S, Verdichtungswiderstand D

Erprobungsabschnitt		Verdichtungswiderstand D [21 Nm]			
Nr	Bindemittel	145 °C	135 °C	120 °C	105 °C
2	SFB 5-90 LT	-	33,0	35,0	33,5
3	Olexobit NV 45	-	29,6	28,5	28,8
4	Sübit VR 35	-	31,6	32,7	32,7
5	SmB 35	-	29,6	33,3	33,5
6	Caribit 45 S	-	30,9	33,4	36,0
1	PmB 45 A	37,0	-	-	-

Die Splittmastixasphalte mit TA-Bindemittel können als leicht bis mittel, der Asphalt der Referenzstrecke als mittel verdichtbar eingestuft werden. Die D-Werte bei 105 °C bleiben auf dem gleichen Niveau wie bei 135 °C. Die Temperaturabsenkung führt danach nicht zu einem verkürzten Temperaturbereich für die Verdichtung. Aus der Eignungsprüfung ergeben sich somit keine Hinweise auf besondere Maßnahmen für die Verdichtung.

### 5.2.2.4 Wärmestandfestigkeit

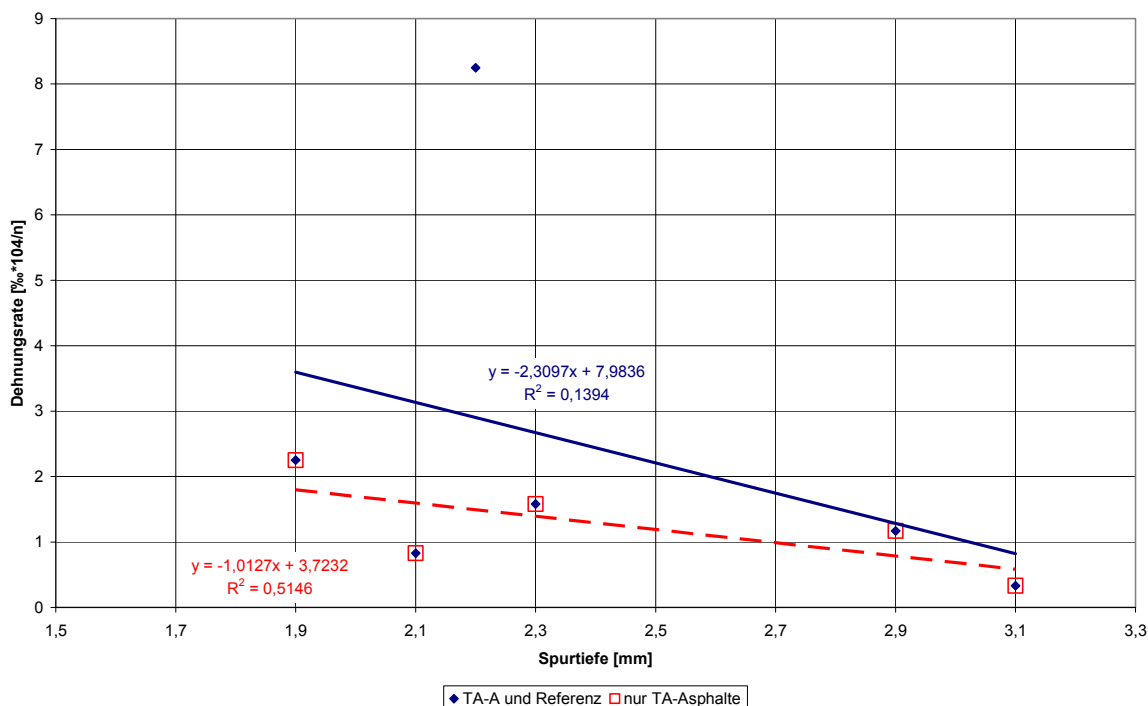
Zur Beurteilung der Wärmestandfestigkeit der Splittmastixasphalte wurden die Dehnungsraten im einaxialen Druckschwellversuch bei 50 °C sowie die Spurtiefen im Spurbildungsversuch bei 50 °C, im Wasserbad mit dem Stahlrad bestimmt. Nach Roos et.al. [8] kann von einem wärmestandfesten Asphaltgemisch für die



Bauklasse SV, Kategorie 1 (über 20,0 bis 30,0 Mio. äquivalente 10 t-Achsübergänge in 10 Jahren) ausgegangen werden, wenn die maßgebende Dehnungsrate  $\leq 5\% \cdot 10^4/n$  ist. Im Bauvertrag wird für die Spurtiefe im Spurbildungsversuch gemäß TP A ein Wert von  $\leq 3,5$  mm gefordert. Tabelle zeigt die ermittelten Dehnungsraten sowie die im Spurbildungsversuch ermittelten Spurtiefen. Die Lastverformungskurven sowie die Verläufe der Spurtiefe sind in Anlage 5 beigefügt.

**Tabelle 12:** BAB A7, SMA 0/11 S, Dehnungsraten und Spurtiefen, Eignungsprüfung

Erprobungsabschnitt		Wärmestandfestigkeit SMA 0/11 S	
Nr.	Bindemittel	Dehnungsrate, 50 °C [‰*10 <sup>4</sup> /n]	Spurtiefe, 50 °C [mm]
2	SFB 5-90 LT	0,33	3,1
3	Olexobit NV45	0,83	2,1
4	Sübit VR 35	1,58	2,3
5	SmB 35	1,17	2,9
6	Caribit 45 S	2,25	1,9
1	PmB 45 A	8,25	2,2



**Abbildung 6:** BAB A7, SMA 0/11 S, Korrelation Dehnungsrate / Spurbildung

Aus der Abbildung 6 ist ersichtlich, dass keine eindeutige Korrelation zwischen der Dehnungsrate bei 50 °C und der Spurtiefe bei 50 °C besteht, wenn man sämtliche Abschnitte bei der Betrachtung berücksichtigt. Für die getrennte Betrachtung der TA-Asphalte ist eine Korrelation erkennbar, wenngleich das Bestimmtheitsmaß mit 51 % nicht überzeugt. Die Korrelation gelingt deshalb nicht in überzeugendem Maß, weil der Spurbildungsversuch unterhalb einer Spurtiefe 3,5 mm nicht mehr ausreichend genau differenzieren kann. Will man auf einem hohen Wärmestandfestigkeitsniveau eine Optimierung vornehmen, so ist hierfür nur noch der Druckschwellversuch geeignet.

Für die TA-Asphalte wurden Dehnungsraten gefunden, die den Anforderungswert deutlich unterschreiten. Die Spurtiefen erfüllen in allen Fällen den bauvertraglich vereinbarten Grenzwert. Für das Referenzmischgut wurde im Druckschwellversuch bei einem Bindemittelgehalt von 6,9 M.-% eine Dehnungsrate gefunden, die den Anforderungswert geringfügig überschreitet. Auf die Wiederholung des Druckschwellversuchs im Rahmen der Eignungsprüfung wurde aufgrund des Ergebnisses im Spurbildungsversuch verzichtet.

### 5.2.2.5 Griffigkeitsprognose nach Wehner/Schulze

Für die relative Bewertung des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltgemischen unter Verkehr sind die  $\mu$ -PWS-Werte der Beanspruchungsstufen 3 und 4 maßgebend (vgl. 5.1.4). Ein exakter Bewertungshintergrund über den Zusammenhang von  $\mu$ -PWS-Werten und  $\mu$ -SCRIM-Werten liegt zurzeit noch nicht vor, sodass die in Tabelle 13 aufgeführten Werte lediglich mit Erfahrungswerten vorangegangener Untersuchungen abgeglichen werden konnten. Die gefundenen Messwerte zeigen, dass die Griffigkeit auf einem für Splittmastixasphalte üblichen Niveau liegt.

**Tabelle 13:** BAB A7, SMA 0/11 S, Griffigkeitswerte  $\mu$ -PWS

Erprobungsabschnitt		Beanspruchungsstufen				
Nr	Bindemittel	0	1	2	3	4
2	SFB 5-90 LT	0,24	0,25	0,47	0,26	0,24
3	Olexobit NV 45	0,19	0,23	0,39	0,20	0,17
4	Sübit VR 35	0,20	0,22	0,55	0,23	0,20
5	SmB 35	0,29	0,29	0,55	0,27	0,23
6	Caribit 45 S	0,21	0,23	0,57	0,25	0,22
1	PmB 45 A	0,33	0,32	0,59	0,29	0,26

### 5.2.2.6 Tieftemperatureigenschaften

Die Tieftemperatureigenschaften wurden auch für die Splittmastixasphalte durch Untersuchungen am Bindemittel überprüft. In Tabelle 14 sind die Ergebnisse am frischen wie auch kurzzeitgealterten Bindemittel

zusammengestellt. Im Erprobungsabschnitt 2 und 4 wurden dieselben Bindemittel wie auch für die Asphaltbinder verwendet. Die Ergebnisse entsprechen daher den unter 5.2.1.5 aufgeführten Werten.

**Tabelle 14:** BAB A7, SMA 0/11 S Steifigkeit S und m-Wert, Eignungsprüfung

Erprobungsabschnitt		Steifigkeit S [MPa]			m-Wert [-]		
Nr	Bindemittel	Anforderungswert gemäß LV	frisch	nach RFT	Anforderungswert	frisch	nach RFT
2	SFB 5-90 LT	≤ 200	37	55	>0,3	0,5	0,5
3	Olexobit NV 45	≤ 250	197	239	≥ 0,3	0,3	0,3
4	Sübit VR 35	≤ 250	127	148	≥ 0,3	0,3	0,3
5	SmB 35	≤ 250	199	214	≥ 0,3	0,4	0,3
6	Caribit 45 S	≤ 350	306	307	≥ 0,3	0,3	0,3
1	PmB 45 A	≤ 300	141	150	-	0,4	0,4

Die Bindemittel erfüllen die Anforderungswerte des Leistungsverzeichnisses. Auch ein Vergleich mit dem Anforderungswert der TL PmB, Ausgabe 2001 für das Referenzbindemittel PmB 45 A lässt den Schluss zu, dass frühestens bei Temperaturen < - 26°C mit Kälterissen infolge kryogener Zugspannungen zu rechnen ist.

## 5.3 Erprobungsstrecke B 106

Die Untersuchungsstrecke hat zwei Abschnitte, die unter Temperaturabsenkung gebaut wurden und eine Referenzstrecke mit PmB 45 A. Es wurde bewusst das PmB 45 A von der Raffinerie Brunsbüttel der TOTAL wie für die BAB A7 eingesetzt, um eine Verbindung zwischen den Versuchsstrecken herzustellen. Die B 106 wurde grunderneuert, im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Herstellung der Binder- und der Deckschicht betreut. Es kamen zwei unterschiedliche Additive, die an den Mischanlagen zugegeben wurden, zum Einsatz.

### 5.3.1 Asphaltbinder 0/16 S

#### 5.3.1.1 Optimierung der Korngrößenverteilung

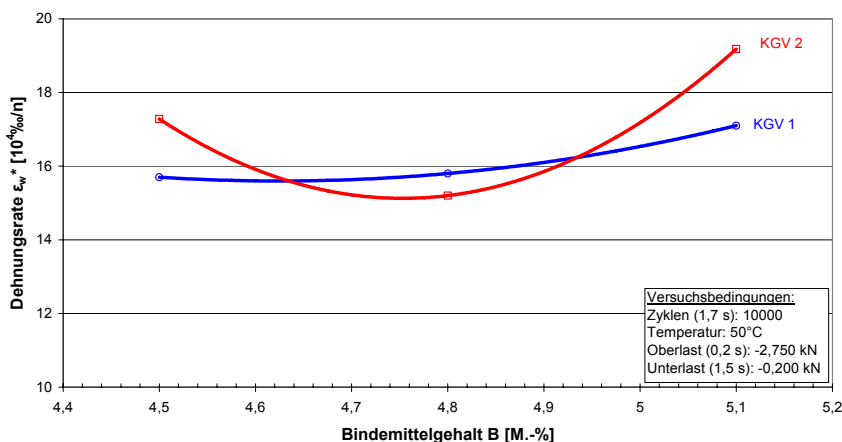
Die Auswahl der Sieblinie erfolgte wie bei den Eignungsprüfungen der Versuchsstrecke BAB A7 mit Hilfe des einaxialen Druckschwellversuchs. Gegenüber der BAB A7 wurden sämtliche Splitte ausgetauscht. Daher wurde die Optimierung der zwei Korngemische (KGV 1 und KGV 2), in ihrer Zusammensetzung

denen der BAB A7entsprechen erneut durchgeführt. Tabelle 15 zeigt die gewählten Korngemische. Als Bindemittel wurde für die Voruntersuchungen ein PmB 45 A gewählt.

**Tabelle 15:** B 106, ABI 0/16 S, untersuchte Korngemische KGV 1 und KGV 2

Korngrößenverteilung 1 (KGV 1)			Korngrößenverteilung 2 (KGV 2)		
Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]		Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]	
0,09	7,0	Füller: 7,0	0,09	7,0	Füller: 7,0
0,25	10,9		0,25	11,6	
0,71	17,0		0,71	18,1	
2,0	27,0	Sand: 20,0	2,0	30,0	Sand: 23,0
5,0	40,6		5,0	42,9	
8,0	56,4		8,0	57,6	
11,2	73,5	>2,0 mm: 73,0	11,2	74,3	>2,0 mm: 70,0
16,0	97,1	>11,2 mm: 26,5	16,0	97,2	>11,2 mm: 25,7
22,0	100,0		22,0	100,0	

Abbildung 7 zeigt die ermittelten Dehnungsraten in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt. Da für Asphaltbinder wie schon erwähnt noch kein ausreichender Bewertungshintergrund vorliegt, erfolgt die Bewertung der ermittelten Werte als vergleichende Beurteilung. Die Dehnungsraten der Korngrößenverteilungen KGV 1 und KGV 2 liegt bei einem Bindemittelgehalt von 4,8 M.-% auf vergleichbarem Niveau. Da bei der Korngrößenverteilung KGV 1 eine geringere Empfindlichkeit der Dehnungsraten bei Bindemittelschwankungen zu erkennen ist, wurde die KGV 1 ausgewählt.



**Abbildung 7:** B 106, ABI 0/16 S, Ergebnis einaxialer Druckschwellversuch

### 5.3.1.2 Bestimmung des optimalen Bindemittelgehaltes

Nach den ZTV Asphalt-StB 01 und dem Bauvertrag ist für den Hohlraumgehalt am Marshallprobekörper eine Spannweite von 4,0 bis 7,0 Vol.-% und für den Bindemittelgehalt von 4,2 bis 5,5 M.-% vorgegeben. Diese Vorgaben sind bei der Erstellung der Eignungsprüfung zu beachten. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit des Asphaltbinders ist ein niedriger Hohlraumgehalt anzustreben. In Tabelle 16 sind die Untersuchungsergebnisse zusammengestellt. Die Hohlraumgehalte liegen für die drei Bindemittel bei nahezu gleichem Bindemittelgehalt auf praktisch demselben Niveau.

**Tabelle 16:** B 106, ABi 0/16 S, Raumdichte, Bindemittelzugabe, Hohlraumgehalt

Erprobungsabschnitt		Raumdichte MPK $\rho_D$	Bindemittel Zugabe	Hohlraumgehalt MPK $H_{bit}$
Nr	Bindemittel	[g/cm <sup>3</sup> ]	[M.-%]	[Vol.-%]
0	PmB 45 A	2,360	4,7	5,4
1	50/70 mit Licomont	2,362	4,6	5,5
2	PmB 45 A + Colzuphalt	2,367	4,7	5,4

### 5.3.1.3 Verdichtbarkeit und Temperaturabsenkungspotential

Die Ermittlung der Verdichtbarkeit erfolgte nach dem in Abschnitt 5.1.3 beschriebenen Prüfverfahren. Für einen Asphaltbinder 0/16 wird ein Variationsbereich des Verdichtungswiderstandes D von 23 bis 53 [21 Nm], im Mittel 39 angegeben. Der D-Wert wurde dabei zur gleichzeitigen Beurteilung des Temperaturabsenkungspotentials für jedes Bindemittel bei drei verschiedenen Temperaturen bestimmt. Für die Referenzstrecke wurde der Verdichtungswiderstand lediglich bei 145 °C ermittelt. In Tabelle 14 sind die ermittelten Werte zusammengestellt. Die untersuchten Asphalte können als mittelschwer verdichtbar eingestuft werden. Der Verdichtungswiderstand D ist für die temperaturabgesenkten Varianten über den Temperaturbereich von 105 °C bis 135 °C nahezu konstant.

**Tabelle 17:** B 106, ABi 0/16 S, Verdichtungswiderstand D

Erprobungsabschnitt		Verdichtungswiderstand D [21 Nm]			
Nr	Bindemittel	145 °C	135 °C	120 °C	105 °C
0	PmB 45 A	41,6			
1	50/70 mit Licomont		41,8	39,7	39,7
2	PmB 45 A + Colzuphalt		37,9	37,1	40,4

### 5.3.1.4 Wärmestandfestigkeit

Für Asphaltbinder liegt zurzeit kein ausreichend abgesicherter Bewertungshintergrund zur Bewertung der Wärmestandfestigkeit mit dem einaxialen Druckschwellversuch vor. Eine Beurteilung erfolgt im Rahmen der Eignungsprüfung daher mit Hilfe des Spurbildungsversuchs gemäß TP A-StB: Teil Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinnentiefe im Wasserbad, Ausgabe 1997. Gemäß Bauvertrag werden als maximale Spurrinnentiefe für die Eignungsprüfung 3,5 mm gefordert. Tabelle 18 zeigt die Spurtiefen der Asphaltbinder 0/16 S.

**Tabelle 18:** B 106, ABi 0/16 S, Spurtiefen im Spurbildungsversuch

Erprobungsabschnitt		Eignungsprüfung	
Nr.	Bindemittel	Mischgut	Spurtiefe
			[mm]
0	PmB 45 A	ABi 0/16 S	1,8
1	50/70 mit Licomont	ABi 0/16 S	2,0
2	PmB 45 A + Colzuphalt	ABi 0/16 S	1,4

Mit allen Bindemitteln ist eine sehr gute Wärmestandfestigkeit im Rahmen der Eignungsprüfung nachweisbar.

### 5.3.1.5 Tieftemperatureigenschaften

Das Tieftemperaturverhalten der TA-Asphalte wurde im Rahmen der Eignungsprüfung mit dem Biegebalkenrheometer BBR überprüft (vgl. Abschnitt 5.1.5). In Tabelle 19 sind die Ergebnisse am frischen und am kurzzeitgealterten Bindemittel für die temperaturabsenkenden Bindemittel dargestellt. Bis zu einer Temperatur von -26 °C ist nicht mit einer Rissbildung infolge kryogener Zugspannungen zu rechnen. Auffällig ist die geringe Steifigkeit S für das mit Colzuphalt additivierte PmB 45 A. Die gefundenen Werte liegen auf einem Niveau, dass üblicherweise nur mit hochpolymerisierten Bitumen erreicht wird. Das Relaxationsverhalten kann für sämtliche Bindemittel positiv bewertet werden. Das Bindemittel der Referenzstrecke erfüllt die Anforderungen der Regeluntersuchungen nach TL PmB, Ausgabe 2001.

**Tabelle 19:** B 106, ABI 0/16 S, Steifigkeit S und m-Wert, Eignungsprüfung

Erprobungsabschnitt		Steifigkeit S [MPa]			m-Wert [-]		
Nr	Bindemittel	Anforderungswert Gemäß LV	frisch	nach RFT	Anforderungswert Gemäß LV	frisch	nach RFT
0	PmB 45 A	< 300	157	156	-	0,4	0,4
1	50/70 mit Licomont	< 300	190	197	>0,3	0,4	0,3
2	PmB 45 A + Colzuphalt	< 300	53,4	49,1	≥0,3	0,6	0,5

## 5.3.2 Splittmastixasphalt 0/8 S

### 5.3.2.1 Optimierung der Korngrößenverteilung

Die Optimierung der Korngrößenverteilung des SMA 0/8 S erfolgt hinsichtlich der Wärmestandfestigkeit für eine Bauklasse II. Zur Ansprache des Verformungsverhaltens bei hohen Gebrauchstemperaturen wurde wiederum der einaxiale Druckschwellversuch gemäß TP A durchgeführt. Als Richtwert für eine günstige Wärmestandfestigkeit für Splittmastixasphalt der Bauklassen SV + I gilt nach Roos et.al. [8] eine Dehnungsrate von  $\epsilon_w^* < \leq 21 \cdot 10^{-4} \% /n$ . Für die Bauklasse II ist nach Eulitz [10] eine Dehnungsraten von  $\epsilon_w^* \leq 40 \cdot 10^{-4} \% /n$  ausreichend. Tabelle 20 zeigt die Zusammensetzung der untersuchten Korngemische KGV1 und KGV2.

**Tabelle 20:** B 106, SMA 0/8 S, untersuchte Korngemische KGV 1 und KGV 2

Korngrößenverteilung 1 (KGV 1)			Korngrößenverteilung 2 (KGV 2)		
Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]		Sieb [mm]	Durchgang [M.-%]	
0,09	11,9	Füller: 11,9	0,09	12,3	Füller: 11,2
0,25	15,4		0,25	15,4	
0,71	19,7		0,71	18,7	
2,0	26,7	Sand: 14,8	2,0	24,2	Sand: 11,9
5,0	44,1		5,0	40,7	
8,0	93,8	>2,0 mm: 73,3	8,0	93,4	>2,0 mm: 75,8
11,2	100,0	>5,0 mm: 55,9	11,2	100,0	>5,0 mm: 59,3

Sie unterscheiden sich durch die Splitt- und Sandgehalte. KGV 1 wurde sandreicher zusammengesetzt. Der Splittgehalt liegt an der unteren Grenze der nach ZTV Asphalt-StB 01 zulässigen Spanne. Der höhere



Sandgehalt soll die Griffigkeit des Asphaltes verbessern. Zur Optimierung der Korngrößenverteilung wurde für die Splittmastixasphalte das Bindemittel PmB 45 A der Referenzstrecke eingesetzt.

Abbildung 8 zeigt die ermittelten Dehnungsraten in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt. Die Korngrößenverteilung KGV 1 ergibt eine deutlich günstigere Wärmestandfestigkeit als KGV 2 und wurde daher ausgewählt.

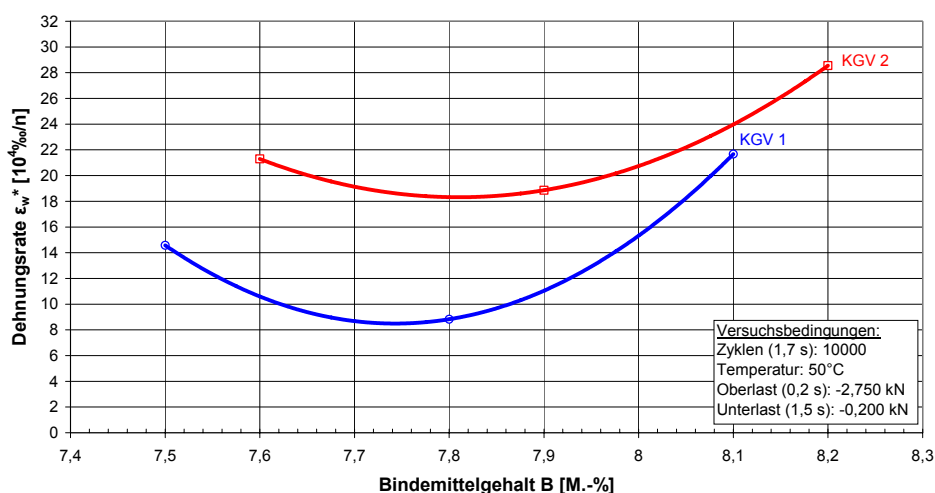


Abbildung 8: B 106, SMA 0/8 S, Ergebnisse einaxialer Druckschwellversuch

### 5.3.2.2 Bestimmung des optimalen Bindemittelgehaltes

Zur Optimierung des Bindemittelgehaltes wurden sowohl die Ergebnisse der Eignungsprüfungen nach Marshall als auch aus dem Druckschwellversuch berücksichtigt. Gemäß ZTV Asphalt - StB 01 sowie den Anforderungen aus dem Bauvertrag werden für den SMA 0/8 S am Marshallprobekörper Hohlraumgehalte von 3,0 bis 4,0 Vol.-% sowie ein Mindestbindemittelgehalte von 7,0 M.-% gefordert. Tabelle 21 zeigt die optimalen Bindemittelgehalte mit den zugehörigen Raumdichten und Hohlraumgehalten.

Tabelle 21: B 106, SMA 0/8 S, Raumdichte, Bindemittelzugabe, Hohlraumgehalt

Erprobungsabschnitt		Raumdichte MPK ρ <sub>D</sub>	Bindemittel Zugabe	Hohlraumgehalt MPK H <sub>bit</sub>
Nr	Bindemittel	[g/cm <sup>3</sup> ]	[M.-%]	[Vol.-%]
0	PmB 45 A	2,230	7,8	3,8
1	50/70 mit Licomont	2,233	7,6	3,8
2	PmB 45 A + Colzuphalt	2,240	7,5	3,7



### 5.3.2.3 Verdichtbarkeit und Temperaturabsenkungspotential

Die Ermittlung der Verdichtbarkeit erfolgte nach dem in Abschnitt 5.1.3 beschriebenen Prüfverfahren. Für einen Splittmastixasphalt 0/8 S wird eine Spannweite des Verdichtungswiderstandes D von 23 bis 55 [21 Nm], im Mittel 41 angegeben. Der D-Wert wurde dabei auch zur Beurteilung des Temperaturabsenkungspotentials für jedes Bindemittel bei drei verschiedenen Temperaturen bestimmt. Für die Referenzstrecke wurde der Verdichtungswiderstand lediglich bei 145 °C ermittelt. Tabelle 22 zeigt die ermittelten Werte.

**Tabelle 22:** B 106, SMA 0/8 S, Verdichtungswiderstand D

Erprobungsabschnitt		Verdichtungswiderstand D [21 Nm]			
Nr	Bindemittel	145 °C	135 °C	120 °C	105 °C
0	PmB 45 A	46,0	-	-	-
1	50/70 mit Licomont	-	48,2	46,7	44,6
2	PmB 45 A + Colzuphalt	-	42,2	43,7	42,3

Die untersuchten Asphalte weisen alle einen mittleren bis höheren Verdichtungswiderstand auf. Der Verdichtungswiderstand D ist für die temperaturabgesenkten Varianten über den Temperaturbereich von 105 °C bis 135 °C nahezu konstant.

### 5.3.2.4 Wärmestandfestigkeit

Zur Beurteilung der Wärmestandfestigkeit wurden die Dehnungsraten  $\epsilon_w^*$  im einaxialen Druckschwellversuch (vgl. 5.1.1) sowie die Spurtiefen im Spurbildungsversuch gemäß TP A bestimmt. Für die Bauklasse II und einen Splittmastixasphalt sollen die Dehnungsraten  $\epsilon_w^* \leq 40 \cdot 10^{-4} \% / n$  betragen. Für die Spurtiefen nach 20000 Überrollungen mit dem Stahlrad im Wasserbad bei 50 °C ergibt sich gemäß Bauvertrag ein Anforderungswert von  $\leq 3,5$  mm. Tabelle 23 zeigt die ermittelten Werte.

**Tabelle 23:** B 106, SMA 0/8 S, Vergleich Dehnungsrate und Spurtiefe während Eignungsprüfung

Erprobungsabschnitt		Wärmestandfestigkeit SMA 0/8 S	
Nr.	Bindemittel	Dehnungsrate	Spurtiefe
		[ $\% \cdot 10^4 / n$ ]	[mm]
0	PmB 45 A	8,8	2,6
1	50/70 mit Licomont	36,8	4,5
2	PmB 45 A + Colzuphalt	37,0	2,7

Die Druckschwellversuche zeigen, dass der nicht additivierte Asphalt die höchste Wärmestandfestigkeit aufweist. Für die additivierten Asphalte wird der für die Bauklasse II ermittelte Erfahrungswert für ausreichend standfeste Splittmastixasphalte eingehalten. Die Spurtiefen der PmB-Varianten liegen erwartungsgemäß auf gleichem Niveau und erfüllen den geforderten Grenzwert. Die Variante 1 mit dem Additiv Licomont und einem 50/70 als Basisbitumen überschreitet den im Bauvertrag vereinbarten Anforderungswert von 3,5 mm. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse im Druckschwellversuch wird der Asphalt als noch ausreichend wärmestandfest beurteilt.

### 5.3.2.5 Griffigkeitsprognose nach Wehner/Schulze

Für die relative Bewertung des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltgemischen unter Verkehr sind die Griffigkeitsbeiwerte  $\mu$ -PWS der Beanspruchungsstufen 3 und 4 maßgebend (vgl. 5.1.4). Ein abgesicherter Bewertungshintergrund über den Zusammenhang von  $\mu$ -PWS-Werten und  $\mu$ -SCRIM-Werten liegt zurzeit noch nicht vor, sodass die in Tabelle 24 aufgeführten Werte lediglich mit Erfahrungswerten vorangegangener Untersuchungen beurteilt werden können. Die ermittelten Messwerte zeigen ein für Splittmastixasphalte 0/8 S übliches Griffigkeitsniveau und liegen erwartungsgemäß etwas über den Werten des Splittmastixasphalt 0/11 S der BAB A 7.

**Tabelle 24:** B 106, SMA 0/8 S, Griffigkeitswerte  $\mu$ -PWS

Erprobungsabschnitt		Beanspruchungsstufen				
Nr	Bindemittel	0	1	2	3	4
0	PmB 45 A	0,36	0,31	0,65	0,30	0,26
1	50/70 mit Licomont	0,30	0,33	0,70	0,34	0,30
2	PmB 45 A + Colzuphalt	0,26	0,30	0,65	0,29	0,25

### 5.3.2.6 Tieftemperatureigenschaften

Zur Beurteilung der Empfindlichkeit gegenüber Spannungsrissen aus kryogenen Zugspannungen wurden Untersuchungen am Bindemittel mit dem Biegebalkenrheometer bei  $-16\text{ °C}$  durchgeführt. Da die verwendeten Bindemittel der Binder und Deckschicht im Rahmen der Eignungsprüfung identisch sind, wurden die Untersuchungen lediglich einmal für jeden Abschnitt durchgeführt.

**Tabelle 25:** B 106, SMA 0/8 S, Steifigkeit S und m-Wert vor und nach Wärmealterung

Erprobungsabschnitt		Steifigkeit S [MPa]			m-Wert [-]		
Nr	Bindemittel	Anforderungswert Gemäß LV	frisch	nach RFT	Anforderungswert Gemäß LV	frisch	nach RFT
0	PmB 45 A	< 300	147	160	-	0,4	0,4
1	50/70 mit Licomont	< 300	190	197	>0,3	0,4	0,3
2	PmB 45 A + Colzuphalt	< 300	53,4	49,1	>0,3	0,6	0,5

Die Bindemittel weisen günstige Tieftemperatureigenschaften auf und lassen keine temperaturbedingten Spannungsrisse bis zu einer Temperatur von -26 °C erwarten.

## 6 Baudurchführung Versuchsstrecke BAB A7

Die Versuchsstrecke BAB A7 wurde zwischen April und Juni 2004 gebaut. Die Asphaltarbeiten für die Binder- und Deckschicht wurden vom 18. Mai bis 25. Mai 2004 durchgeführt. Die Einbauleistung wurde den Anforderungen aus dem Bauvertrag entsprechend so geplant, dass sich innerhalb der Erprobungsabschnitte keine Tagesansätze ergeben. Dies hatte zur Folge, dass für die Binderschicht je Arbeitstag zwei Abschnitte mit je ca. 1360 t asphaltiert werden konnten. Die Deckschicht wurde insgesamt an zwei Einbautagen fertig gestellt, da durch die geringere Asphaltmenge der Einbau von drei Abschnitten an einem Tag möglich wurde. Über den gesamten Einbauzeitraum herrschte trockenes Wetter mit leichtem Rückenwind und Außentemperaturen zwischen 15 und 22 °C.

### 6.1 Asphaltmischanlage und Belieferung

Der Asphalt wurde in den zwei Mischanlagen VAM, Owschlag, und SAW, Jagel, nach identischen Eignungsprüfungen hergestellt. Es handelt sich um Chargenmischer mit einer Stundenleistung von 180 t bei einer Chargenfüllung von 2 t.

Die Mischanlage Owschlag liegt ca. 18 km und die Mischanlage Jagel ca. 8 km von der Erprobungsstrecke entfernt.

Die Belieferung erfolgte parallel, wobei je Erprobungsabschnitt alternierend eine Mischanlage 2/3 und die andere 1/3 der Mischgutmenge produzierte und auslieferte.

Die Belieferung erfolgte mit abgedeckten, nicht thermoisolierten 42-t-Sattelzügen. Die Anzahl der Fahrzeuge war so bemessen, dass stets eine ausreichende Mischgutmenge vorhanden war.

### 6.2 Fertiger und Shuttle

Im Bauvertrag wurde der Einbau über die gesamte Einbaubreite sowie die Beschickung des Fertigers mit einem Shuttle vorgeschrieben. Zum Einsatz kam ein Fertiger Vögele Super 2500 mit einer Standardbohle SB300 TP2 mit je 2 starren Anbauteilen (1,5 m und 1,0 m Breite) sowie Ausziehenbauteilen von 0,75 m. Daraus ergibt sich eine Einbaubreite von maximal 9,5 m. Die Einbaubohle arbeitet mit normaler Vorverdichtung. Um ein Anhalten des Fertigers beim Beschicken mit Mischgut und damit potentielle Längsunebenheiten zu vermeiden, war dem Fertiger ein Shuttle Vögele MT 1000-1 mit einem Fassungsvermögen von 9 t vorgeschaltet.

Der Asphaltfertiger fuhr beim Einbau des 8 cm dicken Asphaltbinders 0/16S mit einer mittleren Einbaugeschwindigkeit von 3-4 m/Minute und von 3,2 m/Minute beim Einbau des 4 cm dicken Splittmastixasphaltes 0/11S.

## 6.3 Verdichtung

Der Asphalt wurde mit folgenden Walzen verdichtet:

- 2 Vibrationswalzen Ammann AV 95 ACE & AMCOS, 9,5t
- 1 Vibrationswalze Ammann AV 95 T mit Tellerstreuer, 9,5t
- 1 Vibrationswalze Ammann DTV 903 mit Tellerstreuer, 9,5t
- 1 statische Walze Hamm HD 90, 12,5t

Die Vibrationswalzen AV 95 ACE wurden direkt hinter dem Fertiger eingesetzt und sind mit dem Mess- und Regelsystem ACE sowie dem GPS-gestützten Maschinenleitsystem AMCOS zur automatischen flächendeckenden Verdichtungskontrolle ausgestattet.

Das System arbeitet dabei nach dem folgenden Prinzip: über das Maschinenleitsystem wird laufend die Position der Walze dokumentiert. Die Walze misst über Schwingungsaufnehmer und in Abhängigkeit der Asphalttemperatur ständig die Steifigkeit des Materials und wählt automatisch die Amplituden und Frequenzen. Die Asphaltsteifigkeit und die Asphalttemperatur werden mit den Standortinformationen des GPS-Systems verknüpft und geben dem Maschinenführer so auf einem Bildschirm den Verdichtungserfolg in Form unterschiedlich eingefärbter Bereiche an. Es erscheint allerdings fraglich, ob dieses System eine hinreichende Sicherheit für eine ausreichende Verdichtung gibt (vgl. Abschnitt 6.4.3 Verdichtungskontrolle/Troxlermessungen).

## 6.4 Baubegleitende Untersuchungen

### 6.4.1 Temperaturmessungen

Während der Durchführung der Versuchsstrecke wurden kontinuierlich die Mischguttemperaturen ermittelt und dokumentiert. Der Bauvertrag schreibt eine maximale Herstelltemperatur von 145 °C für die temperaturabgesenkten Abschnitte vor. Die Abnahme der Mischguttemperatur bis zum Abkippen in den Shuttle darf maximal 10 K betragen.

Die Kontrolle der Herstelltemperatur erfolgte stichprobenartig über die am Steuerstand angezeigte Mischtemperatur. Am Mischwerk wurde für jeden LKW die Mischguttemperatur beim Verlassen des Werkes

dokumentiert. An der Einbaustelle wurde beim Abkippen sowie hinter der Einbaubohe die Temperatur gemessen und aufgezeichnet.

Für jeden LKW wurde nach Abkippen je eines Drittels der Ladung in den Shuttle die Temperatur gemessen. Aus den drei Einzelwerten wurde der Mittelwert als maßgebende Mischguttemperatur für den jeweiligen LKW festgehalten. Die Messung erfolgte sowohl mit Einstichthermometern (Testo 925) als auch mit Infrarotthermometern (Infratest, Raytek MX). Abbildung 9 zeigt die für die Binderschicht gemessenen Temperaturen der Erprobungsabschnitte sowie der Referenzstrecke. Die Temperaturen für den Splittmastixasphalt sind in Abbildung 10 aufgeführt. Es zeigt sich, dass gegenüber der Referenzstrecke eine Absenkung der Temperatur von rund 30 K in allen Abschnitten und für beiden Schichten erreicht wurde.

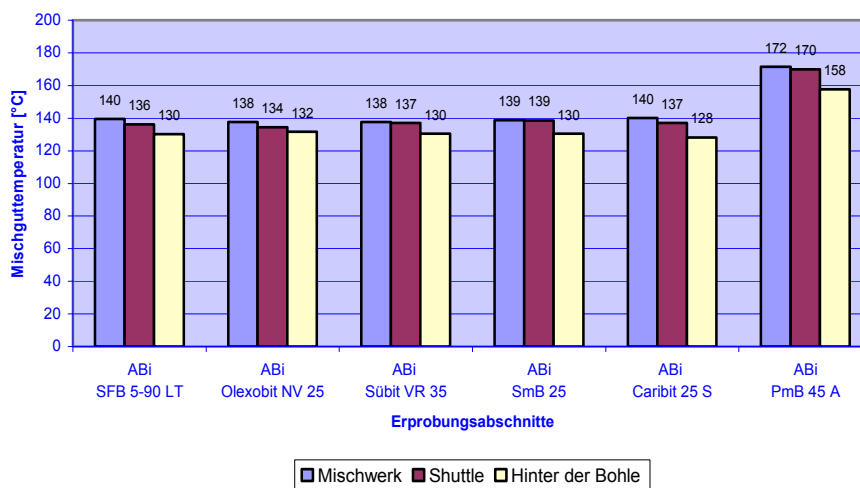


Abbildung 9: BAB A7, ABi 0/16 S, Mischguttemperaturen am Mischwerk, Shuttle und hinter der Bohle

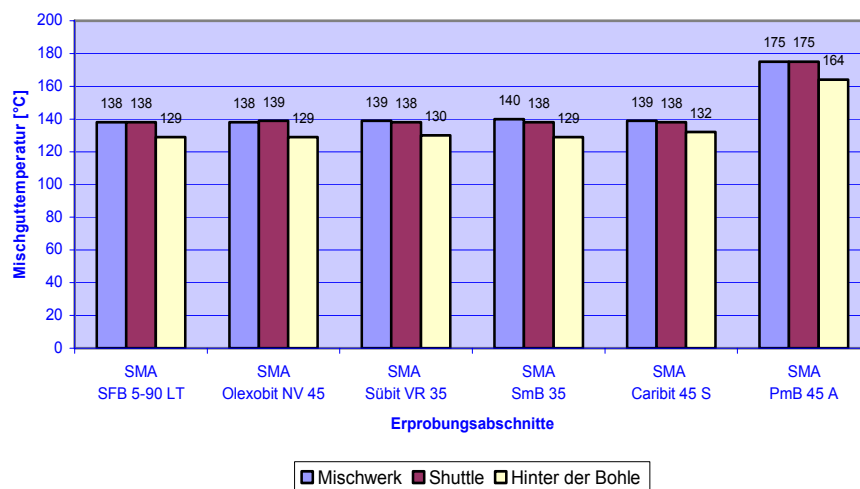


Abbildung 10: BAB A7, SMA 0/11 S, Mischguttemperaturen am Mischwerk, Shuttle und hinter der Bohle

Aufgrund der kurzen Transportwege verringerte sich die Mischguttemperatur auf dem Wege zur Einbaustelle nicht; vom Shuttle bis zur Fertigerbohle nahm die Mischguttemperatur um rund 10 K ab.

## 6.4.2 Verdichtungskontrolle

Für die Dauerhaftigkeit von Asphaltbefestigungen ist der erreichte Verdichtungszustand der Asphaltsschicht von entscheidender Bedeutung. Die Kontrolle des Verdichtungserfolges erfolgte während des Bauablaufs kontinuierlich mit Hilfe von radiometrischen Sonden. Sowohl die Einbaufirma als auch der Forschungsnehmer hatten eine Troxlersonde 4640B im Einsatz. Die unmittelbar nach jeder Messung ausgegebenen Verdichtungsgrade, hilfsweise errechnet aus dem Eingangswert der Eignungsprüfung, geben nicht den absoluten Verdichtungszustand wieder, sondern zeigen lediglich einen relativen Dichtezuwachs an, der durch die Kalibrierung an Bohrkernen in absolute Werte umgerechnet werden muss. Die Messungen dienten zum einen zur Ermittlung der erforderlichen Walzübergänge, zum anderen auch der Kontrolle einer gleichmäßigen Verdichtung über den jeweiligen Abschnitt. Für die Ermittlung der erforderlichen Walzübergänge wurde nach jedem Walzübergang an der gleichen Stelle die Troxlerdichte gemessen. Hin- und Rückfahrt der Walze wurde zusammen als ein Walzübergang gezählt.

Die flächenhafte Verdichtungskontrolle erfolgte nach Abschluss der Verdichtung durch alternierende Messung im rechten und linken Fahrstreifen alle 50 Meter. Abbildung 11 zeigt den für die Splittmastixasphalte durch Korrelation der Troxlerdichten mit den an Bohrkernen ermittelten Raumdichten gefundenen Korrekturfaktor von 1,02. Für die Asphaltbinder ergibt sich kein einheitlicher Umrechnungsfaktor, sodass abschnittsweise Faktoren zur Umrechnung herangezogen wurden.

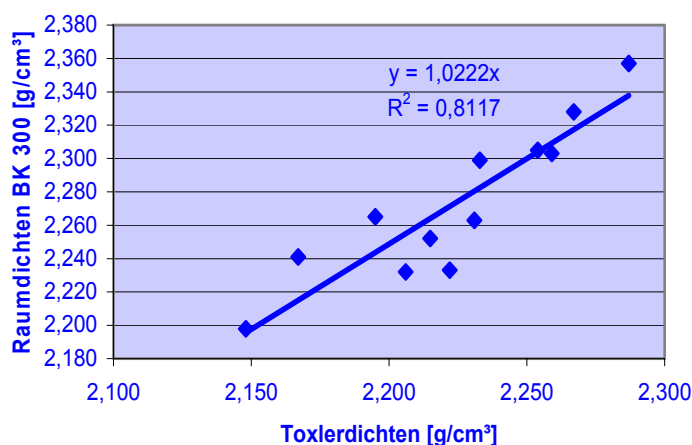


Abbildung 11: BAB A7, SMA 0/11 S, Korrelation Troxlerdichte mit Raumdichte Bohrkern



Die Ermittlung der erforderlichen Walzübergänge ermöglichte außerdem stichprobenartig eine Überprüfung des auf den Walzen eingesetzte ACE-System (vgl. 6.3). Da dies nicht Teil des Forschungsauftrages war, erfolgte die Kontrolle lediglich für die Deckschicht und nicht systematisch. Auf den Messprotokollen der Troxlermessungen wurde die Anzahl der Walzübergänge vermerkt, bei der eine ausreichende Verdichtung durch die Walze angezeigt wurde. Die anschließend weiterhin durchgeführte Troxlermessung zeigt, dass auch danach noch ein deutlicher Dichtezuwachs erreicht wurde und in einigen Fällen das ACE-System schon bei Verdichtungsgraden von deutlich unter 97,0 % das Erreichen einer ausreichenden Verdichtung signalisiert hat. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen beispielhaft die Messungen mit der Troxlersonde zur Ermittlung der erforderlichen Anzahl Walzübergänge im Erprobungsabschnitt 5, SmB 35 und im Erprobungsabschnitt 3, Olexobit NV 45. Die angegebenen Raumdichten für die Verdichtungsgrade 97 % und 100 % sind im Rahmen der Kontrollprüfung ermittelt worden (vgl. dazu Abschnitt 8.2). Eine „ausreichende“ Verdichtung nach dem ACE-System ist durch den Pfeil gekennzeichnet.

Walzverdichtungskurve Troxler SMA 0/11 S mit 6,8 M.-% SmB 35

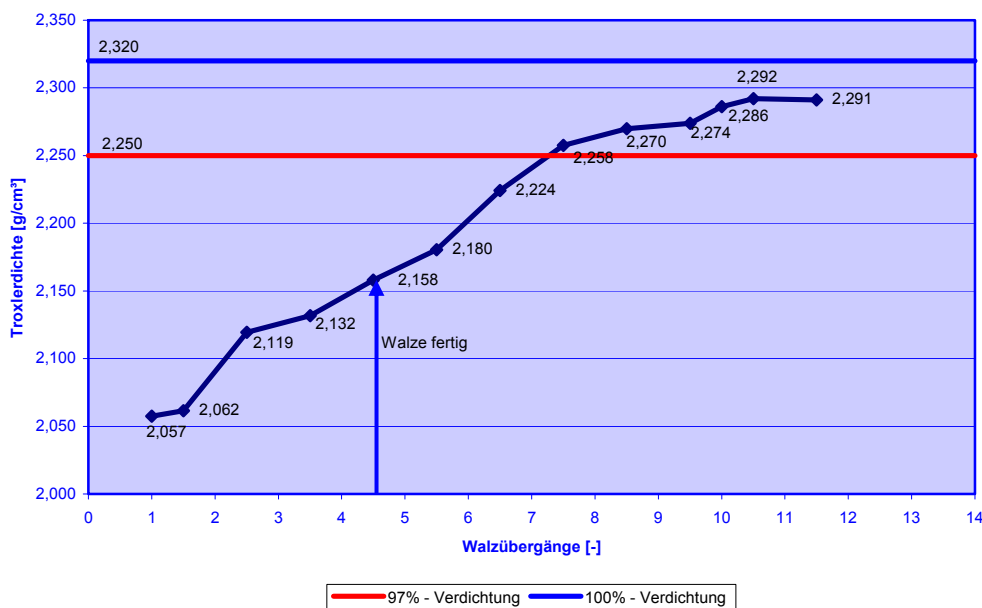
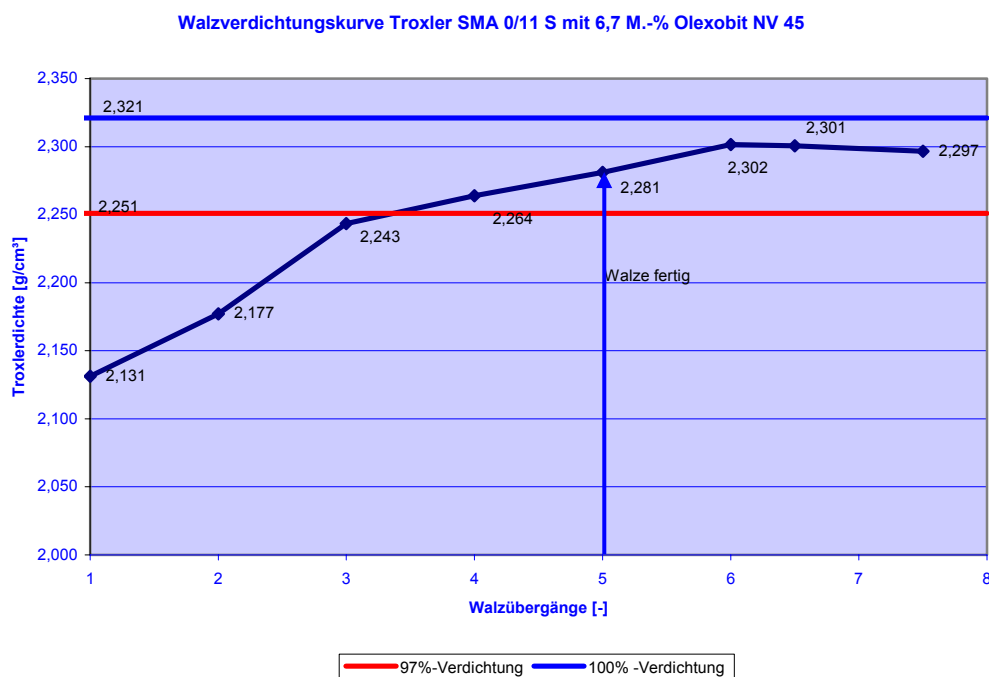


Abbildung 12: BAB A7, SMA 0/11 S mit SmB 35, Troxlermessung Walzübergänge und Vergleich mit ACE-System (Pfeil bei 4,5 Walzübergängen)



**Abbildung 13:** BAB A7, SMA 0/11 S mit Olexobit NV 45, Troxlermessung Walzübergänge und Vergleich mit ACE-System (Pfeil bei 5 Walzübergängen)

### 6.4.3 Längs- und Querebenheit

Die Längsebenheit wurde mit dem Planograph von Riedhofer für sämtliche Abschnitte auf dem Haupt- und Überholfahrstreifen gemessen. An den Untersuchungsprofilen wurden zweimal je Abschnitt Querprofile mit Vermessungsnägeln vermarkt und die Querebenheit mit dem Profilograph SQM (Standard-Querprofil-Messgerät) gemessen. Diese Messungen werden in regelmäßigen Abständen im Rahmen des Forschungsvorhabens wiederholt.

Außer an den Abschnittswechseln und Tagesansätzen wurden in Längsrichtung keine Bereiche festgestellt, in denen die Längsunebenheit innerhalb einer 4 m – Strecke größer als 4 mm ist. Aufgrund der wechselnden Mischgutzusammensetzung zwischen den Erprobungsabschnitten und dem dadurch variierenden Verdichtungsverhalten der Asphalte dürfen die an den Abschnittswechseln festgestellten Unebenheiten nicht überbewertet werden. Keinesfalls darf der Eindruck entstehen, dass die temperaturabgesenkte Bauweise zu einer Verschlechterung der Ebenflächigkeit beiträgt.

Die Querprofilmessungen zeigen in allen Abschnitten und für beide Fahrspuren Überschreitungen der nach den ZTV Asphalt-StB 01 zulässigen Abweichung in Querrichtung von maximal 4 mm auf 4 m Messstrecke. Die Profile zeigen eine systematische maximale Abweichung zwischen Mitte Fahrspur und rechter Rollspur. Die Profile sind in Anlage 6 dargestellt. Die Ergebnisse der Querprofilmessungen sind in Tabelle 26 für die Binderschicht und Tabelle 27 für die Deckschicht aufgeführt. Die Unebenheiten des Hauptfahrstreifens liegen mit 10,5 mm im Mittel über alle Profile deutlich über den Unebenheiten des Überholfahrstreifens mit 5,7 mm im Mittel über alle Profile. Die Unebenheiten der Binderschicht konnten durch die Deckschicht nicht bzw. nur teilweise ausgeglichen werden. Da die Abweichungen nicht nur in den Erprobungsabschnitten sondern ebenfalls im Referenzabschnitt festgestellt wurden, kann die temperaturabgesenkte Bauweise nicht ursächlich für das Auftreten der Unebenheiten sein. Ursächlich könnte vielmehr die Einbautechnik sein – u.a. Fertiger, Stampferbohle, Walzeneinsatz.

**Tabelle 26:** BAB A7, ABi 0/16 S, Querprofilmessung

Station	Erprobungs- abschnitt / Profil	Querneigung	max. Unebenheit auf 4,25 m
[Bau-km]	[ - ]	[%]	[mm]
34+550 HS	2 / 1	2,3	6,0
34+950 HS	2 / 2	2,5	7,0
35+360 HS	3 / 1	2,4	6,0
35+760 HS	3 / 2	2,7	8,0
36+200 HS	4 / 1	2,0	11,5
36+600 HS	4 / 2	2,3	8,0
37+050 HS	5 / 1	2,5	8,0
37+450 HS	5 / 2	2,5	8,0
37+908 HS	6 / 1	2,4	10,5
38+308 HS	6 / 2	2,4	7,0
38+723 HS	1 / 1	2,1	9,0
39+123 HS	1 / 2	2,3	11,5
Binderschicht im Gesamtmittel :		2,4	8,4

**Tabelle 27:** BAB A7, SMA 0/11 S, Querprofilmessung

Station	Erprobungs- abschnitt / Profil	Querneigung	max. Unebenheit auf 4,25 m
[Bau-km]	[ - ]	[%]	[mm]
34+550 HS	2 / 1	2,2	11,0
34+550 ÜS		2,1	5,5
34+950 HS	2 / 2	2,5	10,5
34+950 ÜS		2,5	5,0
35+360 HS	3 / 1	2,3	9,5
35+360 ÜS		2,3	4,5
35+760 HS	3 / 2	2,4	10,5
35+760 ÜS		2,3	4,0
36+200 HS	4 / 1	2,1	9,5
36+200 ÜS		2,0	5,0
36+600 HS	4 / 2	2,2	10,5
36+600 ÜS		2,1	6,5
37+050 HS	5 / 1	2,5	11,0
37+050 ÜS		2,4	6,5
37+450 HS	5 / 2	2,6	10,5
37+450 ÜS		2,6	6,5
37+908 HS	6 / 1	2,4	10,5
37+908 ÜS		2,3	5,0
38+308 HS	6 / 2	2,6	10,0
38+308 ÜS		2,4	5,5
38+723 HS	1 / 1	2,0	10,0
38+723 ÜS		2,2	8,5
39+123 HS	1 / 2	2,4	13,0
39+123 ÜS		2,3	6,0
Deckschicht im Gesamtmittel :		2,3	8,1
			10,5
			5,7

## 6.4.4 Griffigkeit

Nach den ZTV Asphalt und dem Bauvertrag sind zur Ermittlung der Griffigkeit der Deckschicht Messungen mit der SCRIM vorgesehen. Diese Messungen wurden innerhalb der vorgesehenen Frist nach Verkehrsfreigabe durchgeführt. Die Messungen liefern für jeden Abschnitt einen Griffigkeitsbeiwert  $\mu$ -SCRIM.

Eine Korrelation mit den an Bohrkernen  $\varnothing$  225 mm mit dem Labor-Griffigkeitsmessgerät LGM Wehner/Schulze gefundenen Griffigkeitsbeiwerten  $\mu$ -PWS konnte noch nicht nachgewiesen werden, was angesichts des „jungfräulichen“ Zustandes der Deckschicht auch nicht zu erwarten war.

Sämtliche Abschnitte erfüllen den geforderten Mindestwert  $\mu$ -SCRIM von 0,46 bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h deutlich. Die für jeden Fahrstreifen gemittelten Messergebnisse sind in Tabelle 28 den im Labor ermittelten  $\mu$ -PWS gegenüber gestellt.

**Tabelle 28:** BAB A7, Ergebnisse Griffigkeitsmessungen, SCRIM und PWS

Fahrtrichtung	$\mu$ -SCRIM [-], v = 80 km/h				$\mu$ -PWS (4)			
	Mittelwert	Min	Max	Grenzwert	Mittelwert	Min	Max	
Hauptfahrstreifen					0,46			
SFB 5-90 LT	0,55	0,53	0,57	0,246		0,241	0,250	
Olexobit NV 45	0,56	0,54	0,58	0,233		0,231	0,235	
Sübit VR 35	0,56	0,53	0,59	0,239		0,234	0,243	
SmB 35	0,56	0,53	0,58	0,249		0,242	0,255	
Caribit 45 S	0,56	0,53	0,59	0,260		0,248	0,271	
PmB 45 A	0,54	0,49	0,58	0,235		0,229	0,241	
Überholfahrstreifen								
SFB 5-90 LT	0,60	0,55	0,66	0,263		0,257	0,269	
Olexobit NV 45	0,57	0,54	0,60	0,245		0,238	0,251	
Sübit VR 35	0,57	0,53	0,60	0,241		0,232	0,249	
SmB 35	0,58	0,55	0,62	0,239		0,221	0,257	
Caribit 45 S	0,59	0,55	0,62	0,245		0,232	0,257	
PmB 45 A	0,58	0,54	0,63	0,245		0,230	0,259	

## 6.4.5 Emissionsmessungen und Energieeinsparung

Ein Hauptziel der temperaturabgesenkten Bauweise ist die Reduzierung der Bitumendämpfe und Aerosole und damit eine Verbesserung des Arbeitsschutzes für die am Bau beteiligten Personen. Minimalziel ist hierbei die zielsichere Einhaltung des zwischenzeitlich ausgesetzten Grenzwerts von  $10\text{mg}/\text{m}^3$  Luft. Die Bauberufsgenossenschaft Hannover hat im Rahmen der Versuchsstrecke Expositionsmessungen an verschiedenen Stellen des Einbauzuges vorgenommen. Die Analyse der Proben wurde vom berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz in Sankt Augustin durchgeführt und mit dem Messbericht T 096457 vom 24.06.2004 dem Auftragnehmer übergeben. Die Messungen wurden durchgeführt links und rechts am Bohlenende des Fertigers, am Steuerstand des Fertigers und in der Kabine einer Walze. Sämtliche Messungen ergaben auch auf der Referenzstrecke eine deutliche Unterschreitung des oben angegebenen Grenzwertes. Für die TA-Asphalte liegen die gefundenen Werte im Mittel geringfügig unterhalb der Werte für Normalasphalt. Abbildung 14 zeigt die an den einzelnen Messstellen festgestellten Werte. Für die TA-Asphalte wurden jeweils Mittelwerte über sämtliche Erprobungsabschnitte gebildet. Die Werte für die Referenzstrecke stellen Einzelwerte dar. Bei der Bewertung dieser sehr günstigen Werte muss allerdings betont werden, dass die Versuchsstrecke in offenem Gelände liegt und zum Zeitpunkt des Einbaus ein leichter stetiger Wind wehte, wodurch etwaige Bitumendämpfe von den Einbaugeräten weggetrieben wurden. Bei den temperaturabgesenkten Asphalten waren im Gegensatz zu den Referenzasphalten keine Bitumendämpfe sichtbar.

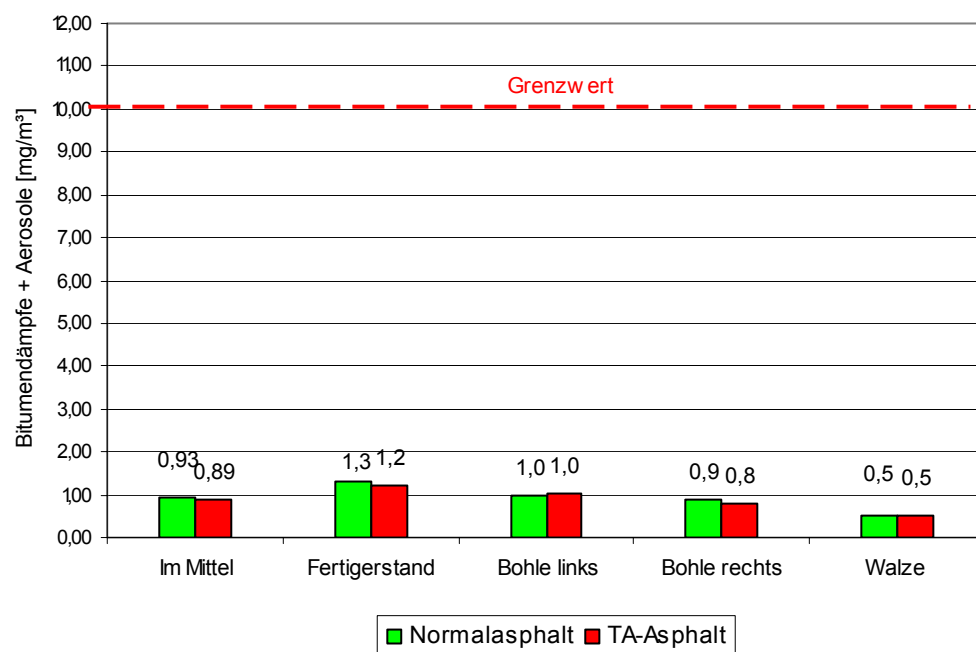


Abbildung 14: BAB A7, Ergebnisse Emissionsmessung während des Einbaues der Binder – und Deckschicht

Neben der Verbesserung des Arbeitsschutzes wird erwartet, dass durch die temperaturabgesenkte Bauweise Energie beim Herstellungsprozess eingespart werden kann und so CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert werden können. Für die BAB A7 konnten von den beteiligten Mischwerken keine exakten Angaben über den Energieverbrauch gemacht werden. Die Einsparung bei Aufheizung und Trocknung der Mineralstoffe wurde jedoch weitestgehend durch eine um 15 Sekunden verlängerte Nassmischzeit auf 45 Sekunden kompensiert. Die verlängerte Mischzeit wurde erforderlich, weil sowohl beim Binder als auch bei dem Splittmastixasphalt mit der üblichen Nassmischzeit von 30-35 Sekunden keine vollständige Umhüllung der Mineralstoffe erreicht werden konnte. Dadurch nahm die Mischanlagenleistung von üblicherweise 180 t/Stunde auf ca. 130 – 140 t/Stunde ab.

## 6.5 Einbauverhalten

Die Beurteilung des Einbauverhaltens erfolgt subjektiv. Die Angaben zu Mischzeiten wurden von den Mischgutherstellern übernommen. Die Beurteilung von Asphalteigenschaften der fertigen Schicht und insbesondere des Verdichtungserfolges folgt in Kapitel 8 und ist somit nicht Teil dieser Beschreibung. Die Einbaugeschwindigkeit ergibt sich aus den Vorgaben des LV, insbesondere dem Verbot von Tagesansätzen innerhalb eines Erprobungsabschnittes und ist nicht auf eine schlechtere Verarbeitbarkeit aufgrund der abgesenkten Einbautemperatur zurück zu führen.

### 6.5.1 Asphalte mit SFB 5-90 LT

Bei der Verarbeitung von Asphalten unter Verwendung des Bindemittels Sealoflex 5-90 LT müssen schon bei normalen Mischguttemperaturen besondere Maßnahmen vorgesehen werden. So wurde im Vorwege verlangt, dass auch für die mit SFB 5-90 LT hergestellten Asphalte am Ende der Verdichtung schwere statische Walzen eingesetzt werden.

Bei Absenkung der Herstell- und Verarbeitungstemperatur konnte eine vollständige Umhüllung der Mineralstoffe lediglich durch eine verlängerte Nassmischzeit von 45 s erreicht werden. Beim Einbau verhielt sich das Mischgut aufgrund der hohen Klebfähigkeit vergleichsweise sperrig und zäh, sodass immer wieder Rückstände im Shuttle und an der Förderschnecke des Fertigers haften blieben. Die Einbaugeschwindigkeit wurde teilweise gegenüber den übrigen Abschnitten geringfügig herabgesetzt. Nach Augenschein wurde die Viskosität des Bindemittels nicht in einem ausreichenden Maß herabgesenkt. Der Einbau der Asphalte gestaltete sich schwierig, wobei sich der Splittmastixasphalt aufgrund der hohen Bindemittelmenge deutlich schlechter verarbeiten ließ. Die Rückstände an der Fertigerbohle führten immer wieder zur Bildung von



Lunken in der Oberfläche, die durch gezieltes „Nachschmeißen“ von Mischgut händisch ausgebessert werden mussten.

## 6.5.2 Asphalte mit Olexobit NV 25 und Olexobit NV 45

Für die mit Olexobit NV 25 (ABi 0/16S) und NV 45 (SMA 0/11S) hergestellten Asphalte gilt verstärkt das gleiche wie für die mit SFB 5-90 LT hergestellten Asphalte. So waren bei der Herstellung ebenfalls verlängerte Nassmischzeiten erforderlich. Der Materialfluss in der Einbaueinheit Shuttle/Fertiger wurde durch die starke Klebkraft des Bindemittels stark beeinträchtigt. Die Förderschnecken des Shuttles waren nicht in der Lage, das Mischgut restlos auf das Förderband zu fördern. Die Mischgutreste mussten nach im Durchschnitt jedem dritten LKW beim Asphaltbinder und nach jedem LKW beim Splittmastixasphalt mit einem Radlader aus dem Shuttle entfernt werden. An der Fertigerbohle bildete sich um die Förderschnecke ebenfalls ein fester Mischgutrest, der nicht mehr eingebaut werden konnte und händisch entfernt werden musste. Wiederum wirkte sich die vergleichsweise hohe Viskosität des Mischgutes bei dem Splittmastixasphalt stärker aus. Auch hier mussten in der Deckschicht durch händische Nacharbeit Lunker, die durch Rückstände an der Einbaubohle in der Deckschicht hervorgerufen wurden, geschlossen werden. Die Einbaugeschwindigkeit betrug 2-3 m/min. Bedingt durch den geringeren Verdichtungserfolg pro Walzübergang, was mit den Messungen der Troxlersonde festgestellt wurde, liefen die Walzen zum Teil bis zu ca. 50 m hinter dem Fertiger, wodurch eine weitere Verdichtung noch erschwert wurde.

Das Reinigen des Asphaltfertigers und der Mischanlage nach Abschluss der Arbeiten nahm mehrere Stunden in Anspruch.

## 6.5.3 Asphalte mit Sübit VR 35

Die Einhaltung des Temperaturabsenkungszieles hatte bis auf eine Verlängerung der Nassmischzeit keine zusätzlichen Maßnahmen zur Folge. Ob die Verlängerung tatsächlich erforderlich war, sei dahin gestellt. Aus Sicherheitsgründen hatten sich die Mischanlagenbetreiber dazu entschieden, weiterhin mit verlängerten Mischzeiten zu fahren. Sowohl Asphaltbinder als auch Splittmastixasphalt ließen sich mit üblichem Aufwand verarbeiten und sehr gut einbauen. Im Gegensatz zu den in beiden vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Bindemittelsystemen blieben keine Rückstände im Shuttle bzw. an der Fertigerbohle hängen. Das Mischgut ließ sich sehr gut verarbeiten. Es konnte eine gleichmäßige Oberflächenstruktur bei einer mittleren Einbaugeschwindigkeit von 3-4 m/min ohne Fehlstellen herstellen werden. Die Walzen liefen

teilweise in erheblichem Abstand zur Fertigerbohle, sodass der erste Walzübergang teilweise mehr als 5 Minuten nach Einbau erfolgte.

#### 6.5.4 Asphalte mit SmB 25 und SmB 35

Für die mit SmB 25 und SmB 35 hergestellten Asphalte gelten die gleichen Aussagen wie für Sübit VR 35. Wiederum bildeten sich keine Rückstände im Shuttle oder an der Fertigerbohle, die händisch entfernt werden mussten. Auch in diesem Abschnitt liefen die Walzen teilweise bis zu 50 m hinter dem Fertiger.

#### 6.5.5 Asphalte mit Caribit 25 S und Caribit 45 S

Es gelten die gleichen Aussagen wie für Sübit VR 35 und SmB 25 / 35. Sowohl Asphaltbinder als auch Splittmastixasphalt ließen sich mit den polymermodifizierten Bindemitteln Caribit 25 S und Caribit 45 S sehr gut verarbeiten und einbauen. Die verlängerten Nassmischzeiten bei der Herstellung der Asphalte wurden seitens der Mischguthersteller nach den Erfahrungen im ersten Abschnitt beibehalten, da die für die vorgesehene Tagesleistung notwendige Mischgutmenge auch dann noch problemlos produziert werden konnte. Ob die Nassmischzeit bei diesem Bindemittel tatsächlich erforderlich ist, wäre durch gezielte Nachuntersuchungen festzustellen. Die Einbaugeschwindigkeit lag wiederum bei 3-4 m/min. Die bessere Koordination des Walzeneinsatzes führte in diesem Abschnitt beim Einbau des Splittmastixasphaltes zu einem im Mittel deutlich geringeren Abstand zur Fertigerbohle.

## 7 Baudurchführung Versuchsstrecke B 106

Die Asphaltarbeiten für die Binder- und Deckschicht wurden vom 27. September bis 30. September 2004 ausgeführt. Es wurde für beide Schichten zunächst die Referenzstrecke und anschließend die Erprobungsabschnitte eingebaut. Der Einbau der Binderschicht wurde im Erprobungsabschnitt 2 (Colzuphalt) am 28. September aufgrund von Dauerregen unterbrochen. Am 29. September erfolgte die Fertigstellung des Binders. Die Deckschicht wurde am 30. September für sämtliche Abschnitte bei trockener Witterung hergestellt.

Die Arbeiten wurden von der Strabag, Niederlassung Neubrandenburg ausgeführt. Aufgrund der Erfahrungen aus der BAB A7 hatte der Forschungsnehmer den AN darauf hingewiesen, dass der Verdichtung besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist.

### 7.1 Asphaltmischanlage und Belieferung

Die Belieferung der Baustelle erfolgte von zwei Mischanlagen der AMM aus Brenz und Consrade. Die Entfernung zur Einbaustelle beträgt 17,5 km bzw. 16,5 km. Bei beiden Mischanlagen handelt es sich um Chargenmischanlagen mit einer Mischleistung von ca. 2 t/Mischtakt. Für die Zugabe des Additivs Colzuphalt wurde seitens des Additivlieferanten eine Dosierpumpe mitgeliefert und installiert. Die Zugabe des Additivs Licomont erfolgte händisch über eine Zugabeklappe am Mischer. Die Einhaltung der Dosierung wurde durch vom Hersteller entsprechend vorkonfektionierte Kunststoffbeutel sichergestellt. Bedingt durch die Additivierung an der Mischanlage und der relativ geringen Einbaumenge je Abschnitt erfolgte die Belieferung der Erprobungsabschnitte jeweils von einer Mischanlage, um nicht die Dosiereinrichtung doppelt vorhalten zu müssen. Im Mischwerk Consrade wurde das Mischgut mit Licomont für den Erprobungsabschnitt 1 und im Mischwerk Brenz das Mischgut unter Zugabe von Colzuphalt für den Erprobungsabschnitt 2 hergestellt. Die Belieferung der Referenzstrecke erfolgte parallel aus beiden Mischanlagen.

Bei der händischen chargenweisen Zugabe der Additive in den Mischtrog erhöht sich die Mischzeit zwangsläufig aus verfahrenstechnischen Gründen. Die Mischzeitverlängerung ist aber unbedingt erforderlich, um eine homogene Verteilung der Additive im Mischgut und eine vollständige Umhüllung der Gesteinskörner zu gewährleisten.

## 7.2 Fertiger und Shuttle

Zwischen den Knoten Goldenstädt und Fahrbinde erfolgte der Ausbau der B 106 unter Vollsperrung, sodass der bauvertraglich geforderte Asphalteinbau über die gesamte Breite durch den Einsatz eines Fertigers Vögele Super 2100 mit 8 m breiter Einbaubohle erfüllt werden konnte. Dem Fertiger wurde ein Shuttle MT 1000 mit einem Fassungsvermögen von 14 t zur kontinuierlichen Beschickung vorgeschaltet, um ein Anhalten des Einbauzuges beim Wechsel der LKW zu vermeiden. Die Einbaubohle wurde mit normaler Vorverdichtung (ca. 80 % Verdichtungsgrad) gefahren. Die Einbaugeschwindigkeit variierte auf Teilen der Referenzstrecke zwischen maximal 5-6 m/Minute und 2-3 m/Minute im Erprobungsabschnitt 2. Die geringe Einbaugeschwindigkeit wurde erforderlich, weil aufgrund der Wirkungsweise des Additivs Colzuphalt mit einer Mindestreaktionszeit von 120 Minuten eine ausreichende Belieferung der Baustelle durch nur eine Mischanlage stark eingeschränkt wurde.

## 7.3 Verdichtung

Für die Verdichtung kamen 9,5 t und 13 t Glattmantelwalzen zum Einsatz. Im Einzelnen wurden folgende Walzen eingesetzt:

- 1 x 9,5 t Bomag BW 154 AD-2, statisch und mit Vibration
- 1 x 9,5 t Bomag BW 174 AD, statisch und mit Vibration
- 3 x 9,5 t Hamm DV 8, mit Vibration und Splittstreur
- 1 x 9,5 t Hamm Oszillationswalze
- 1 x 13 t Dynapac CC 432, statisch
- 1 x 13 t Bomag BW 184 AD, statisch

Am ersten und letzten Einbautag wurde jeweils auf eine 9,5 t-Walze verzichtet. Zum Erreichen einer ausreichenden Anfangsgriffigkeit wurde die Deckschicht mit leicht vorbituminiertem Edelsplitt 1/3 abgesplittet. Zum Einsatz kam - wie bauvertraglich gefordert - ein wegabhängiger Balken/Walzenstreuer Westbjørn 1500 S, um eine gleichmäßige Verteilung des Abstreumaterials zu gewährleisten.

## 7.4 Baubegleitende Untersuchungen

### 7.4.1 Temperaturmessungen

Für die Mischguttemperaturen wurden bauvertraglich die gleichen Anforderungen wie schon für die Versuchsstrecke BAB A7 gestellt. Auch für die B 106 beträgt die maximale Mischguttemperatur 145 °C und der Temperaturverlust bis zum Abkippen in den Shuttle wurde auf 10 K begrenzt. Diese Vorgaben wurden trotz teilweise widriger Witterungsbedingungen bis auf wenige Ausnahmen eingehalten. Dabei gab es lediglich Abweichungen bei der Herstelltemperatur. Die Temperaturverluste durch Transport fielen für sämtliche Abschnitte und beide Schichten deutlich geringer als vorgegeben aus. Die Temperaturmessungen erfolgten wiederum im LKW beim Verlassen des Mischwerks, auf der Baustelle beim Abkippen in den Shuttle jeweils nach einem Drittel der Mischgutmenge und direkt hinter der Bohle zur Dokumentation der Temperatur zu Beginn der Verdichtung. Abbildung 15 zeigt die gemittelten Temperaturen für sämtliche Abschnitte für den Asphaltbinder 0/16 S sowie für den Splittmastixasphalt 0/8 S.

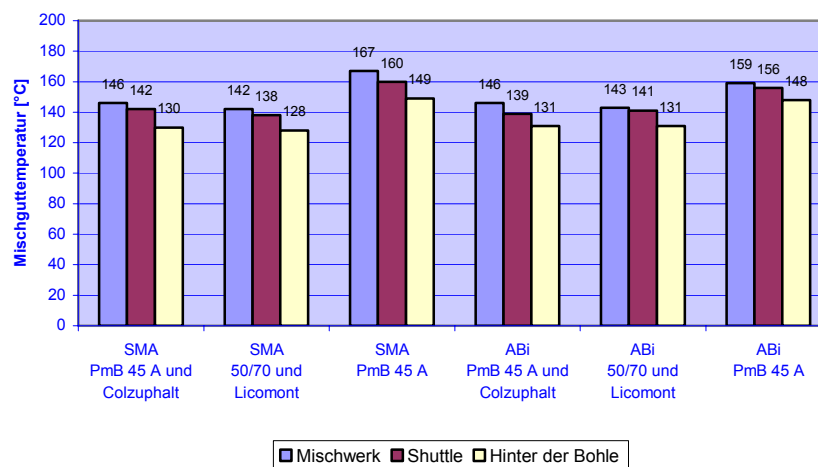


Abbildung 15: B 106, Mischguttemperaturen, am Mischwerk, Shuttle und hinter der Bohle

### 7.4.2 Verdichtungskontrolle

Wie auf der Versuchsstrecke BAB A7 wurden auch auf der B 106 Messungen mit der Troxlersonde 4640 B zur Kontrolle der Verdichtung durchgeführt. Seitens der Einbaufirma erfolgte die im Bauvertrag geforderte flächendeckende Verdichtungskontrolle mit einer PDM-Sonde. Die Troxlermessungen hatten zum einen die Ermittlung der erforderlichen Walzübergänge und zum anderen die flächendeckende Verdichtungskontrolle je Abschnitt und Schicht zum Ziel. Parallel zur Bestimmung der erforderlichen Walzübergänge wurde auf

dieser Strecke die Mischguttemperatur aufgezeichnet. Die gemessenen Troxlerwerte müssen anhand von Raumdichten, die an Bohrkernen bestimmt werden, kalibriert werden, um aus den Messwerten tatsächliche Raumdichten zu errechnen. Dazu wurde exakt an der Entnahmestelle der Bohrkern die Dichte mit der Troxlerprobe ermittelt. Es ergab sich kein einheitlicher Korrekturfaktor für alle Abschnitte. Daher werden abschnittsbezogene Korrekturfaktoren verwendet. Diese sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

**Tabelle 29:** B 106, Troxlermessungen, abschnittsbezogene Korrekturfaktoren

Erprobungsabschnitt		Abschnittsbezogener Korrekturfaktor	Abschnittsbezogener Korrekturfaktor
Nr.	Bindemittel	SMA 0/8 S	ABi 0/16 S
0	PmB 45 A	1,007	1,040
1	50/70 mit Licomont	1,027	1,046
2	PmB 45 A mit Colzuphalt	1,041	1,059

Auffällig ist, dass für den Splittmastixasphalt trotz gleicher Zusammensetzung der Mineralstoffe stark unterschiedliche Korrekturfaktoren ermittelt wurden. Für die Asphaltbinder sind die Abweichungen nicht so groß wie beim Deckschichtmischgut, allerdings sind Korrekturfaktoren größer 1,02 ungewöhnlich.

Abbildung 16 zeigt beispielhaft den Verlauf der Raumdichten, aufgetragen über der Anzahl Walzübergänge und der Mischguttemperatur. Anlage 7 enthält entsprechende Diagramme für die Deck- und Binderschicht der übrigen Abschnitte. Nach 7 Walzübergängen ist bereits die Endverdichtung erreicht. Mit den folgenden Walzübergängen wird praktisch kein weiterer Anstieg der Raumdichte erzielt. Dies wird auch durch eine Betrachtung des Temperaturverlaufs an der Mischgutoberfläche bestätigt. Ab einer Temperatur von ca. 70 °C an der Oberfläche ist eine weitere Verdichtung nicht mehr möglich. Da das Additiv Licomont zu den Wachsen gehört, die einen Erstarrungspunkt um ca. 80 °C haben, ist dies plausibel.

Die Verwendung der 13 t Walzen mit statischer Verdichtung erklärt bei den beiden übrigen Abschnitten einen deutlichen Anstieg der Raumdichte auch noch bei Oberflächentemperaturen unter 60 °C. Dieser Anstieg ist nicht nur im Abschnitt mit Colzuphalt (Abbildung 17) sondern auch im Referenzabschnitt (Abbildung 18) zu verzeichnen. Die Beurteilung des Verdichtungserfolges mit Angabe des flächendeckenden Verdichtungsgrades erfolgt im Abschnitt 8.2.

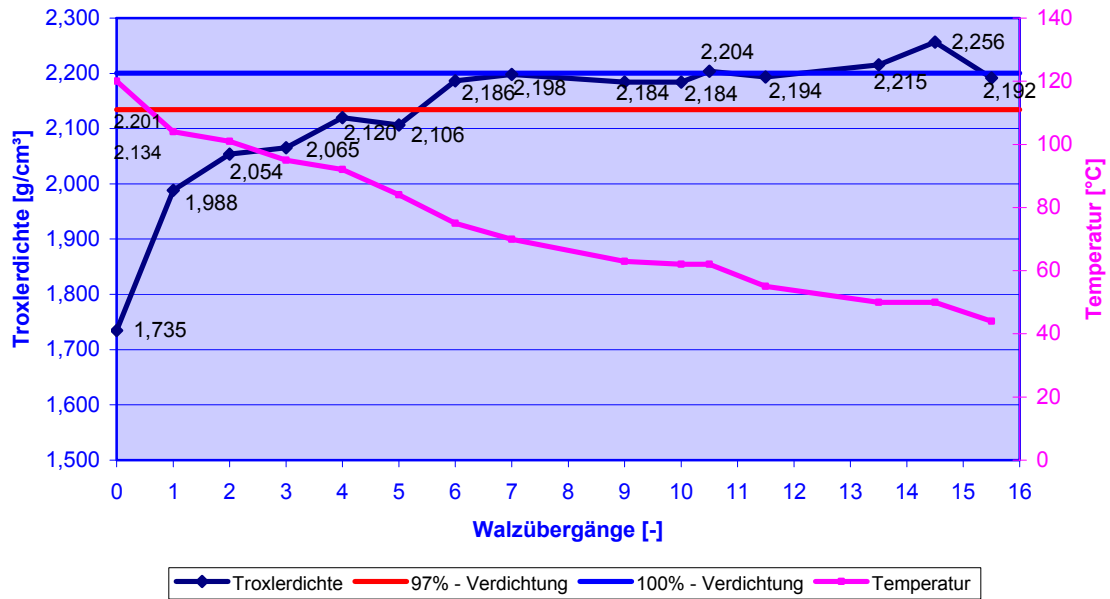


Abbildung 16: B 106, SMA 0/8 S mit Licomont, Troxlermessungen Walzübergänge, Temperaturverlauf

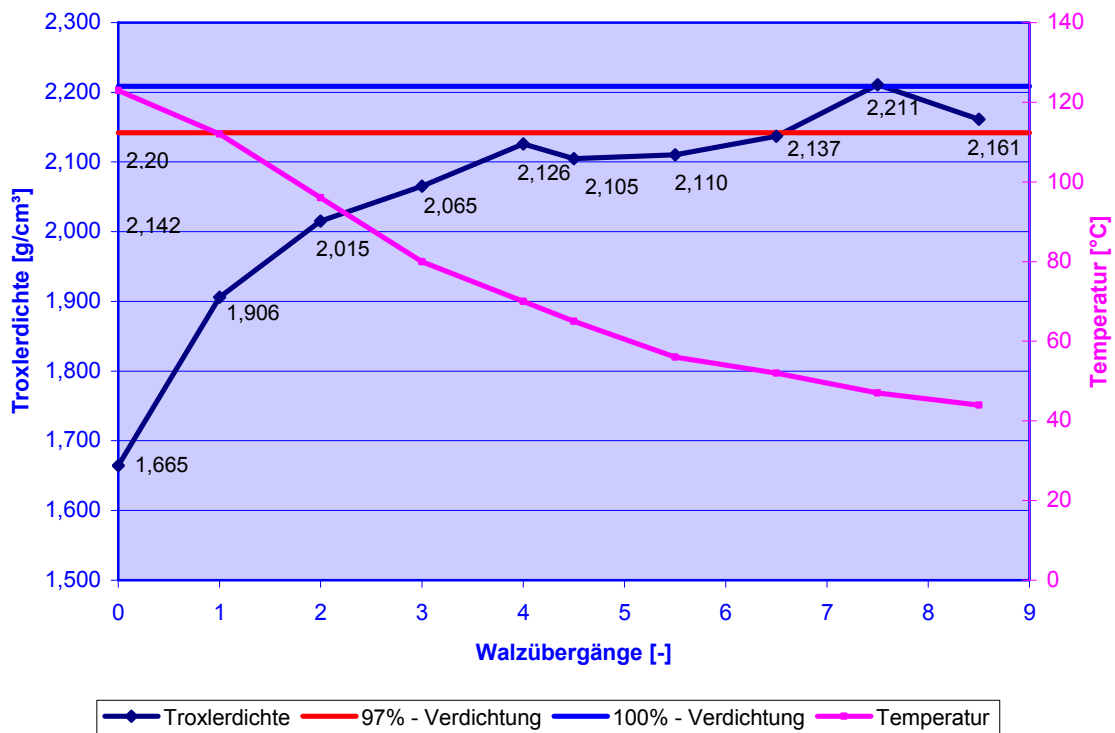


Abbildung 17: B 106, SMA 0/8 S mit Colzuphalt, Troxlermessungen Walzübergänge, Temperaturverlauf



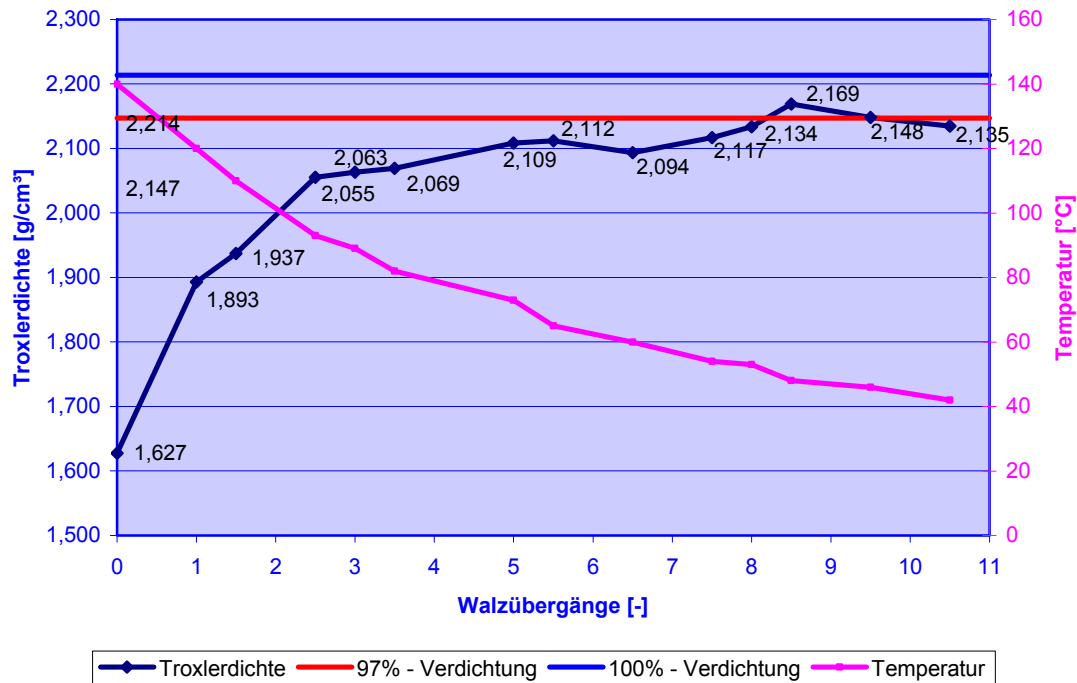


Abbildung 18: B 106, SMA 0/8 S mit PmB 45 A, Troxlermessungen Walzübergänge, Temperaturverlauf

### 7.4.3 Längs- und Querebenheit

Die Längsebenheit wurde mit einem Planograph von Riedhofer über sämtliche Abschnitte in beiden Fahrtrichtungen gemessen. In Fahrtrichtung Schwerin ergeben sich an acht Stellen, die nicht einem Abschnittswechsel zugeordnet werden können, geringfügige Überschreitungen (1 mm) des nach ZTV Asphalt-StB 01 festgelegten maximalen Anforderungswertes für die Ebenheit von 4 mm. In Richtung Ludwigslust wurden zwei Überschreitungen festgestellt. Insgesamt ist die Längsebenheit über alle Abschnitte als sehr gut zu bezeichnen. Insbesondere ist nicht festzustellen, dass sich die temperaturabgesenkte Bauweise negativ auf die Ebenflächigkeit auswirkt.

Die Ergebnisse der Querprofilmessungen sind für die Binder- und Deckschicht in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt. Die Messungen wurden je Abschnitt an den zwei Bohrkernentnahmestellen / Untersuchungsprofilen durchgeführt und mit Vermessungsnägeln vermarkt, um die Entwicklung der Spurtiefen über den Untersuchungszeitraum von 8 Jahren feststellen zu können.

**Tabelle 30:** B 106, ABI 0/16 S, Ergebnisse Querprofilmessung

Station [Bau-km]	Erprobungs- abschnitt [ - ]	Querneigung [%]	max. Unebenheit auf 3,90 m [mm]
0+350 rechts	Colzuphalt (P I)	2,8	3,5
0+550 rechts	Colzuphalt (P II)	2,2	2,0
0+980 rechts	Licomont (P I)	3,0	1,0
0+980 links	Licomont (P I)	2,0	2,0
1+230 rechts	Licomont (P II)	2,7	2,0
1+230 links	Licomont (P II)	2,2	2,0
1+700 rechts	PmB 45 A (P I)	2,2	2,0
1+700 links	PmB 45 A (P I)	2,7	1,0
1+900 rechts	PmB 45 A (P II)	2,3	2,5
1+900 links	PmB 45 A (P II)	2,3	3,0
Binderschicht im Gesamtmittel :		2,4	2,1

**Tabelle 31:** B 106, SMA 0/8 S, Ergebnisse Querprofilmessung

Station [Bau-km]	Erprobungs- abschnitt [ - ]	Querneigung [%]	max. Unebenheit auf 3,90 m [mm]
0+350 rechts	Colzuphalt (P I)	2,4	0,0
0+350 links	Colzuphalt (P I)	2,5	3,0
0+550 rechts	Colzuphalt (P II)	0,8	2,5
0+550 links	Colzuphalt (P II)	1,0	1,5
0+980 rechts	Licomont (P I)	0,3	2,0
0+980 links	Licomont (P I)	2,2	3,0
1+230 rechts	Licomont (P II)	2,5	2,0
1+230 links	Licomont (P II)	2,2	2,0
1+700 rechts	PmB 45 A (P I)	2,1	2,5
1+700 links	PmB 45 A (P I)	2,8	3,0
1+900 rechts	PmB 45 A (P II)	2,1	3,0
1+900 links	PmB 45 A (P II)	2,7	2,5
Deckschicht im Gesamtmittel :		2,0	2,3

Die maximalen Unebenheiten sind bei allen Messungen im Bereich der rechten Rollspur festzustellen. Auffällig ist die bei den Stationen 0+980 rechts und 0+550 rechts und links festgestellte geringe Querneigung, die durch die gleichzeitig festgestellte Unebenheit zu einem Gegengefälle führt. Die Profile sind in Anlage 6 aufgeführt.

## 7.4.4 Griffigkeit

Die Griffigkeitsmessungen lieferten für sämtliche Abschnitte Griffigkeitsbeiwerte  $\mu$ -SCRIM, die bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h deutlich oberhalb des Grenzwertes von 0,51 liegen. Im Mittel werden Werte  $\mu$ -SCRIM von 0,78 für die Richtungsfahrbahn Schwerin und 0,80 in Richtung Ludwigslust / BAB A24 erreicht. Die sehr guten Werte werden im Vergleich zur BAB A7 vorrangig auf die Verwendung eines SMA 0/8 S anstelle eines SMA 0/11 S und nicht auf die unterschiedlichen Bindemittelsysteme zurückzuführen sein. Eine Korrelation zwischen den mit dem Laborgriffigkeitsmessgerät Wehner/Schulze gemessenen Griffigkeitswerten  $\mu$ -PWS- und den  $\mu$ -SCRIM-Werten ist erwartungsgemäß noch nicht festzustellen. Die gegenüber der BAB A7 festgestellte Erhöhung der Griffigkeitswerte wird allerdings auch durch die Laborprüfung bestätigt.

**Tabelle 32:** B 106, Ergebnisse Griffigkeitsmessungen, SCRIM und PWS

Fahrtrichtung	$\mu$ -SCRIM [-], v = 60 km/h				$\mu$ -PWS (4)		
	Mittelwert	Min	Max	Grenzwert	Mittelwert	Min	Max
Rifa Schwerin				0,51			
PmB 45 A + Colzuphalt	0,74	0,68	0,80		0,275	0,268	0,282
50/70 + Licomont	0,76	0,72	0,79		0,290	0,287	0,293
PmB 45 A	0,79	0,72	0,86		0,291	0,281	0,302
Rifa Ludwigslust							
PmB 45 A + Colzuphalt	0,79	0,74	0,83		0,278	0,277	0,279
50/70 + Licomont	0,78	0,75	0,83		0,304	0,301	0,307
PmB 45 A	0,79	0,75	0,86		0,294	0,282	0,307

## 7.4.5 Emissionsmessungen und Energieeinsparung

Auch für die Versuchsstrecke B 106 wurden seitens der Bauberufsgenossenschaft Hannover Emissionsmessungen über sämtliche Abschnitte durchgeführt. Die Analyse erfolgte durch das berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz in Sankt Augustin. Die Ergebnisse wurden der Einbaufirma mit dem Untersuchungsbericht T096467 am 20.12.2004 übergeben. Die ermittelten Werte liegen in allen Abschnitten deutlich unterhalb des Grenzwertes von 10 mg/m<sup>3</sup> Luft. Die Werte für den Normalasphalt sind erwartungsgemäß höher als die gemittelten Werte aus beiden temperaturabgesenkten Abschnitten. Insgesamt liegen die gemessenen Dämpfe und Aerosole deutlich oberhalb der auf der Versuchsstrecke BAB A7 festgestellten Werte. Abbildung 19 zeigt die an den einzelnen Messstellen aufgenommenen Konzentrationen sowie die Mittelwerte über alle Messungen.

Die neben der Verbesserung des Arbeitsschutzes erhoffte deutliche Energieeinsparung durch die temperaturabgesenkte Bauweise konnte auch auf der Versuchsstrecke B 106 nicht nachgewiesen werden. Es liegen lediglich theoretische Angaben des Mischgutproduzenten vor, die bei einer Leistungsreduzierung von ~180 t/h bei herkömmlichen Temperaturen auf ~120 t/h bei abgesenkter Temperatur eine Energieeinsparung von 7,1 % bzw. 0,6 l Heizöl pro Tonne Asphaltmischgut ausweisen. Grundlage der Angaben ist eine rechnerische Energiebetrachtung des Herstellungsprozesses. Berücksichtigt wird bei der Berechnung die theoretisch benötigte Energiemenge für das Erhitzen und Verdampfen von Wasser, das Aufheizen der Mineralstoffe sowie das Erhitzen der Umgebungsluft. Die Berechnung führt zu dem Ergebnis, dass die Hauptenergiemenge im Herstellungsprozess für das Erhitzen und Verdampfen des Wassers aufgewendet wird, und somit die Einsparung durch die geringere Aufheizung der Mineralstoffe nicht erheblich sein kann. Die Berechnung ist in Anlage 8 enthalten. Berücksichtigt man die erforderliche erhöhte Anzahl an Walzen - normalerweise würde man anstelle von 7-8 Walzen mit 4-5 Walzen bei der gewählten Einbauleistung auskommen – so verringert sich die Energiesparung nochmals, so dass die in [[http://de.wikipedia.org/wiki/Asphalt#Niedrigtemperaturasphalt\\_.28NTA.29](http://de.wikipedia.org/wiki/Asphalt#Niedrigtemperaturasphalt_.28NTA.29) und [www.aspha-min.com/](http://www.aspha-min.com/) Umwelt-schutz] angegebene Energieeinsparung von rund 10 % bei einer Temperaturabsenkung von 10 K, d.h. bei 30 K also 30 % Energieeinsparung, hier für Walzasphalte bei weitem nicht realisiert werden konnte.

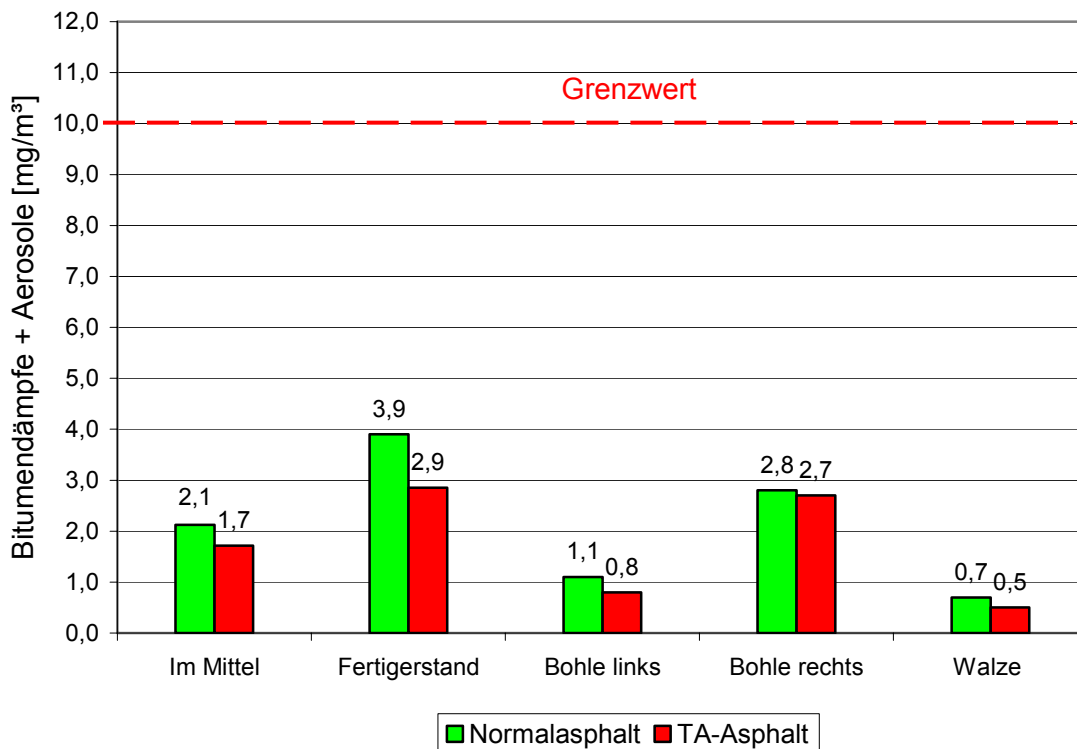


Abbildung 19: B 106, Ergebnisse Emissionsmessungen

## 7.5 Einbauverhalten

Bei der Beurteilung des Einbauverhaltens wird wie im Abschnitt 6.5 der bei der Betreuung des Einbaus auf der Baustelle gewonnene subjektive Eindruck dargestellt. Die Angaben zu Mischzeiten wurden vom Mischguthersteller übernommen. Die Beurteilung von Asphalteeigenschaften der fertigen Schicht insbesondere des Verdichtungserfolges ist ausdrücklich nicht Teil dieser Beschreibung. Die Einbaugeschwindigkeit wurde durch das bauvertraglich festgeschriebene Verbot von Tagesansätzen innerhalb der Erprobungsabschnitte beeinflusst, sodass der Rückschluss auf eine schlechtere Verarbeitbarkeit aufgrund der abgesenkten Einbautemperatur nicht gezogen werden darf.

### 7.5.1 Asphalte mit Licomont

Das Einbauverhalten der mit dem Zusatz Licomont hergestellten Asphalte war sehr gut. Die Einbaugeschwindigkeit lag bei 3-4 m/min, das Mischgut ließ sich augenscheinlich gut verdichten. Nach dem Abkippen in den Shuttle traten keine Probleme bei der Förderung des Mischgutes auf, das Mischgut neigte

nicht zum Verkleben an den Einbaugeräten, so dass keine Rückstände im Shuttle oder an der Förderschnecke des Fertigers zurückblieben. Die Walzen fahren während des Einbaus immer bis unmittelbar an den Fertiger heran. Die Absplittung erfolgte in der Regel beim zweiten Walzübergang und ergab durch die verwendeten Balkenstreuer eine sehr gleichmäßige Verteilung des Abstreumaterials in Längs- und Querrichtung.

## 7.5.2 Asphalte mit Colzuphalt

Die mit dem Colzuphalt hergestellten Asphalte konnten sehr gut eingebaut / verarbeitet werden. Die Absenkung der Einbautemperatur führte nicht zu Problemen bei der Verarbeitung des Mischgutes. Das Mischgut ließ sich sehr gut fördern und blieb ebenfalls nicht an den Einbaugeräten haften. Die Einbaugeschwindigkeit musste allerdings auf 2-3 m/min herabgesetzt werden. Dies war dem Umstand geschuldet, dass die Aktivierungszeit des Additivs mindestens 120 min bei Temperaturen >120 °C beträgt und sich dadurch die Mischleistung der Asphaltmischanlage signifikant verringert. Um Baustellen mit ähnlich hohem Mischgutbedarf in ausreichendem Maß zu beliefern, sollte daher immer von mehr als einer Mischanlage geliefert werden. Die Walzen verrichteten die Verdichtung wiederum unmittelbar hinter dem Fertiger. Die Absplittung wurde wie in den vorangegangenen Abschnitten beim zweiten Walzübergang begonnen. Es ergab sich eine sehr gute Verteilung in Längs- und Querrichtung.

## 8 Eigenschaften am Mischgut und an der verdichteten Schicht

Die Beurteilung der Gleichwertigkeit von TA-Asphalten gegenüber herkömmlich hergestellten Asphalten erfolgt über die Asphalteigenschaften der auf den Versuchsstrecken eingesetzten Asphalte im verdichteten Zustand. Die Einhaltung der in der Eignungsprüfung festgelegten Zusammensetzung der Asphalte und der in den ZTV Asphalt-StB 01 vorgeschriebenen Anforderungen an die einzelnen Mischgutsorten wird im Rahmen der Kontrollprüfung überprüft. Von entscheidender Bedeutung für die Dauerhaftigkeit sind neben der Einhaltung der geforderten Zusammensetzung der Endhohlraumgehalt und der Verdichtungszustand der verdichteten Schicht. Die Beurteilung des Verdichtungszustandes im bauvertraglichen Sinn stellt bei TA-Asphalten ein Problem dar, da die im Regelwerk zur Beurteilung des Verdichtungsgrades festgelegten Temperaturen für die Ermittlung der Referenzraumdichte am Marshallprobekörper bei TA-Asphalten nicht zutreffend sind. Für Walzasphalte mit Straßenbaubitumen ist eine Verdichtungstemperatur von  $135\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  und bei polymermodifizierten Bitumen des Typs PmB 45 A von  $145\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  vorgeschrieben. Die erreichbare Raumdichte am Marshallprobekörper hängt jedoch in hohem Maße von der Verdichtungstemperatur ab. Da bei TA-Asphalten die auf der Baustelle realisierbaren Verdichtungstemperaturen deutlich unterhalb der o.g. Temperaturen liegen, können diese auch nicht mehr für die Ermittlung der Referenzraumdichte am Marshallprobekörper und damit zur Berechnung des Verdichtungsgrades herangezogen werden. Für die Berechnung des vertraglich relevanten Verdichtungsgrades ist vielmehr eine Verdichtungstemperatur der Marshallprobekörper festzulegen, die die unterschiedliche Verdichtbarkeit der TA-Asphalte berücksichtigt. Denkbar sind drei unterschiedliche Herangehensweisen: zum einen könnte die Verdichtungstemperatur maßgeblich sein, die zu einer Raumdichte führt, die mit dem jeweiligen Referenzbindemittel erreicht wird. Diese Vorgehensweise ist in dem Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt, M TA, gewählt worden. Ein zweiter Weg besteht darin, jene Raumdichte und die zugehörige Verdichtungstemperatur zu wählen, bei der ein bestimmter vorgegebener Hohlraumgehalt erreicht wird, zum Beispiel der für Splittmastixasphalte in den ZTV Asphalt - StB 01 angegebene obere Grenzwert von 4 Vol.-%. Eine dritte Möglichkeit besteht darin, sich an der nach Renken [9] zu ermittelnde Endraumdichte zu orientieren. Diese wird am Marshallprobekörper spätestens nach 2 x 100 Schlägen erreicht.

Untersuchungen im Rahmen der Untersuchungsstrecken bestätigen, dass die von Renken empfohlene Schlagzahl von 2 x 100 Schlägen auch für TA-Asphalten gültig ist, d.h. zusätzliche Verdichtungsarbeit bewirkt keine weitere Erhöhung des Dichtezustands. Renken entwickelte einen Verdichtungsindex, der den Verdichtungszustand im Verhältnis zum Endverdichtungszustand beschreibt. Für die Versuchsstrecken wurde der zweite Weg gewählt, nämlich Ermittlung der Referenz - Verdichtungstemperatur über die physikalisch eindeutige Kenngröße Hohlraumgehalt.



Der Einfluss kompositioneller Merkmale der Mineralstoffkomponente auf die Eigenschaften der verwendeten Asphalte wird durch die weitestgehend gleiche Zusammensetzung aller Abschnitte minimiert. Darüber hinaus wurden in allen Abschnitten die Einbautemperaturen auf vergleichbarem Niveau gehalten sowie die gleiche Einbau und Verdichtungstechnik verwendet. Unterschiede in den Asphalteigenschaften müssen daher überwiegend der Bindemittelkomponente zugeschrieben werden, insbesondere der unterschiedlichen Viskosität der verschiedenen temperaturabsenkenden Bindemittel.

## 8.1 Mischgutzusammensetzung

Je Erprobungsabschnitt und Schicht wurden Kontrollprüfungen am Mischgut an jeweils zwei Untersuchungsprofilen durchgeführt. Alle Proben erfüllen die in der Eignungsprüfung geforderte Zusammensetzung. Die Bindemittelgehalte der auf der Versuchsstrecke BAB A7 eingebauten und untersuchten Asphalte liegen um 0,1 bis 0,2 M.-% über dem in der Eignungsprüfung vorgesehenen Wert und damit innerhalb der nach ZTV Asphalt – StB 01 zulässigen Toleranz. Auf der B 106 wurden die geforderten Bindemittelgehalte im Erprobungsabschnitt 1 mit Licomont im Mittel sowohl in der Deckschicht als auch in der Binderschicht überschritten. Eine Zusammenstellung der wichtigsten asphalttechnologischen Kennwerte getrennt nach Erprobungsstrecke und Schicht enthalten die nachfolgenden Tabellen. Eine vollständige Übersicht über die in den Kontrollprüfungen festgestellten Parameter ist in Anlage 9 beigefügt.

**Tabelle 33:** BAB A7, ABI 0/16 S, Asphalteigenschaften am Mischgut und der verdichteten Schicht

Erprobungsabschnitt	Nr	Bindemittel		Anteil	Anteil	Bindemittel-	Hohlraumgehalt H <sub>bit</sub>		fiktiver Hohlraum des	
				< 0,09 mm	> 2 mm		gehalt B	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]	MPK [Vol.- %]
				[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]				
2		SFB 5-90 LT	EPZ	7,0	73,0	4,3	4,4	-	14,7	-
			34+550 re	9,1	72,7	4,5	2,8	4,5	13,7	15,2
			34+950 li	8,7	72,5	4,4	3,7	5,2	14,3	15,6
			i.M.	<b>8,9</b>	<b>72,6</b>	<b>4,5</b>	<b>3,3</b>	<b>4,9</b>	<b>14,0</b>	<b>15,4</b>
3		Olexobit NV 25	EPZ	7,0	73,0	4,5	4,6	-	14,3	-
			35+360 re	7,9	73,5	4,7	4	8,8	15,3	19,5
			35+760 li	8,1	73	4,7	4,5	7	15,7	17,9
			i.M.	<b>8,0</b>	<b>73,3</b>	<b>4,7</b>	<b>4,3</b>	<b>7,9</b>	<b>15,5</b>	<b>18,7</b>
4		Sübit VR 35	EPZ	7,0	73,0	4,3	4,8	-	15,1	-
			36+200 re	7,7	74,3	4,4	3,9	5	14,5	15,5
			36+600 li	7,6	73,6	4,5	5	4,1	15,7	14,9
			i.M.	<b>7,7</b>	<b>74,0</b>	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>	<b>15,1</b>	<b>15,2</b>
5		SmB 25	EPZ	7,0	73,0	4,3	4,7	-	15,0	-
			37+050 re	7,5	74,3	4,5	4,9	6	15,6	16,6
			37+450 li	7,6	73,4	4,5	3,6	6,8	14,4	17,3
			i.M.	<b>7,6</b>	<b>73,9</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>6,4</b>	<b>15,0</b>	<b>16,9</b>
6		Caribit 25S	EPZ	7,0	73,0	4,6	4,5	-	15,5	-
			37+908 re	5,9	76,6	4,7	5,6	5,6	16,6	16,6
			37+308 li	8	73	4,7	4,5	6,5	15,6	17,4
			i.M.	<b>7,0</b>	<b>74,8</b>	<b>4,7</b>	<b>5,1</b>	<b>6,1</b>	<b>16,1</b>	<b>17,0</b>
1		PmB 45	EPZ	7,0	73,0	4,4	4,6	-	15,2	-
			38+723 re	7,8	71,7	4,6	4,1	3,5	15,1	14,6
			39+123 li	8,1	72,4	4,5	4,8	4,9	15,6	15,7
			i.M.	<b>8,0</b>	<b>72,1</b>	<b>4,6</b>	<b>4,5</b>	<b>4,2</b>	<b>15,3</b>	<b>15,1</b>

Die Mischgutzusammensetzung der Asphaltbinder der BAB A7 wird für alle Abschnitte im Rahmen der zulässigen Toleranzen eingehalten.

**Tabelle 34:** BAB A7, SMA 0/11 S, Asphalteigenschaften am Mischgut und der verdichteten Schicht

Erprobungsabschnitt			Anteil < 0,09 mm	Anteil > 2 mm	Bindemittel- gehalt B	Hohlraumgehalt H <sub>bit</sub>		fiktiver Hohlraum des Mineralgemisches H <sub>Mbit</sub>	
Nr	Bindemittel		[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]
2	SFB 5-90 LT	EPZ	11,2	74,2	6,7	4,3	-	19,4	-
		34+550 re	10,7	74,3	6,8	2,4	7,0	17,9	22,0
		34+950 li	10,2	72,8	6,8	2,7	7,8	18,2	22,7
		i.M.	<b>10,5</b>	<b>73,6</b>	<b>6,8</b>	<b>2,6</b>	<b>7,4</b>	<b>18,0</b>	<b>22,3</b>
3	Olexobit NV 45	EPZ	11,2	74,2	6,7	3,6	-	18,8	-
		35+360 re	10,7	74,2	6,8	2,8	9,6	18,2	24,2
		35+760 li	10,9	72,6	6,8	2,1	6,9	17,5	21,9
		i.M.	<b>10,8</b>	<b>73,4</b>	<b>6,8</b>	<b>2,5</b>	<b>8,3</b>	<b>17,9</b>	<b>23,0</b>
4	Sübit VR 35	EPZ	11,2	74,2	6,9	4,7	-	20,1	-
		36+200 re	10,8	72,2	7,1	1,4	4,5	17,3	20,4
		36+600 li	11,2	73,7	7,1	1,7	4,7	17,6	20,6
		i.M.	<b>11,0</b>	<b>73,0</b>	<b>7,1</b>	<b>1,6</b>	<b>4,6</b>	<b>17,4</b>	<b>20,5</b>
5	SmB 35	EPZ	11,2	74,2	6,8	4,0	-	19,3	-
		37+050 re	10,5	74,3	6,9	2,6	4,3	18,2	19,9
		37+450 li	11,7	74,2	6,9	1,9	7,6	17,5	22,6
		i.M.	<b>11,1</b>	<b>74,3</b>	<b>6,9</b>	<b>2,3</b>	<b>6,0</b>	<b>17,8</b>	<b>21,2</b>
6	Caribit 45S	EPZ	11,2	74,2	6,9	5,2	-	20,6	-
		37+908 re	11,2	74,4	7	3,6	7,1	19,4	22,5
		37+308 li	11,5	73,8	7,1	2,5	6,0	18,5	21,7
		i.M.	<b>11,4</b>	<b>74,1</b>	<b>7,1</b>	<b>3,1</b>	<b>6,6</b>	<b>19,0</b>	<b>22,1</b>
1	PmB 45 A	EPZ	11,2	74,2	6,7	3,7	-	18,9	-
		38+723 re	11,5	73,4	6,9	3,1	3,9	19,1	19,7
		39+123 li	11,3	73,8	6,8	2,7	5,4	18,3	20,6
		i.M.	<b>11,4</b>	<b>73,6</b>	<b>6,9</b>	<b>2,9</b>	<b>4,7</b>	<b>18,7</b>	<b>20,2</b>

Für die Splittmastixasphalte wurde in den Kontrollprüfungen ebenfalls eine anforderungsgerechte Zusammensetzung festgestellt. Die Hohlraumgehalte an Marshallprobekörpern des Mischgutes liegen für alle Abschnitte deutlich unterhalb der in den Eignungsprüfungen ausgewiesenen Hohlraumgehalte. Offensichtlich verhalten sich großtechnisch hergestellte TA-Asphalte bei der Verdichtung im Labor anders als im Labormaßstab hergestellte Mischungen gleicher Zusammensetzung.

**Tabelle 35:** B 106, ABI 0/16 S, Asphalteigenschaften am Mischgut und der verdichteten Schicht

Erprobungsabschnitt			Anteil < 0,09 mm	Anteil > 2 mm	Bindemittel- gehalt B	Hohlraumgehalt H <sub>bit</sub>		fiktiver Hohlraum des Mineralgemisches H <sub>Mbit</sub>	
Nr	Bindemittel		[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]
0	PmB 45 A	EPZ	7,0	73,0	4,7	5,4		16,2	-
		1+900 li	7,0	74,2	4,4	7,8	3,8	17,5	13,7
		1+700 re	6,6	71,9	4,9	5,7	5,6	16,8	17,0
		i.M.	<b>6,8</b>	<b>73,1</b>	<b>4,6</b>	<b>6,8</b>	<b>4,7</b>	<b>17,2</b>	<b>15,4</b>
1	50/70 und Licomont	EPZ	7,0	73,0	4,6	5,5		16,0	-
		1+230 li	8,8	71,3	4,9	4,8	3,2	16,0	14,7
		0+980 re	9,5	71,0	4,8	4,1	2,5	15,2	13,6
		i.M.	<b>9,2</b>	<b>71,2</b>	<b>4,9</b>	<b>4,5</b>	<b>2,9</b>	<b>15,6</b>	<b>14,2</b>
2	PmB 45 A und Colzuphalt	EPZ	7,0	73,0	4,7	5,4		16,2	-
		0+550 li	8,7	71,5	4,6	4,2	2,7	14,9	13,6
		0+350 re	8,2	71,8	4,9	3,9	2,7	15,2	14,1
		i.M.	<b>8,5</b>	<b>71,7</b>	<b>4,7</b>	<b>4,1</b>	<b>2,7</b>	<b>15,0</b>	<b>13,9</b>

**Tabelle 36:** B 106, SMA 0/8 S, Asphalteigenschaften am Mischgut und der verdichteten Schicht

Erprobungsabschnitt			Anteil < 0,09 mm	Anteil > 2 mm	Bindemittel- gehalt B	Hohlraumgehalt H <sub>bit</sub>		fiktiver Hohlraum des Mineralgemisches H <sub>Mbit</sub>	
Nr	Bindemittel		[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]	MPK [Vol.- %]	BK [Vol.- %]
0	PmB 45 A	EPZ	11,9	73,3	7,8	3,8	-	20,7	-
		1+900 li	13,2	73,8	7,6	5,5	4,8	21,7	21,1
		1+700 re	13,3	73,5	7,9	4,3	4,7	21,3	21,6
		i.M.	<b>13,3</b>	<b>73,7</b>	<b>7,8</b>	<b>4,9</b>	<b>4,8</b>	<b>21,5</b>	<b>21,4</b>
1	50/70 und Licomont	EPZ	11,9	73,3	7,6	3,8	-	20,4	-
		1+230 li	13,2	73,8	7,7	5,4	6,0	21,7	22,2
		0+980 re	13,3	73,3	7,9	4,3	6,4	21,4	23,1
		i.M.	<b>13,3</b>	<b>73,6</b>	<b>7,8</b>	<b>4,8</b>	<b>6,2</b>	<b>21,6</b>	<b>22,7</b>
2	PmB 45 A und Colzuphalt	EPZ	11,9	73,3	7,5	3,7	-	20,1	-
		0+550 li	12,2	74,2	7,4	5,8	5,3	21,7	21,3
		0+350 re	12,4	73,0	7,5	5,4	5,3	21,5	21,5
		i.M.	<b>12,3</b>	<b>73,6</b>	<b>7,5</b>	<b>5,6</b>	<b>5,3</b>	<b>21,6</b>	<b>21,4</b>

Die Untersuchung der Zusammensetzung der Asphaltbinder auf der B 106 (Tabelle 35) hat nach ZTV Asphalt-01 keine unzulässigen Abweichungen ergeben. Im Erprobungsabschnitt 1 wurde ein um 0,1 bzw. 0,3 M.-% höherer Bindemittelgehalt als in der Eignungsprüfung ausgewiesen festgestellt. Im Referenzabschnitt und im Erprobungsabschnitt 2 sind die Bindemittelgehalte ebenfalls leicht erhöht.

Für die Splittmastixasphalte sind die Ergebnisse in Tabelle 36 zusammengestellt. Abweichungen in der Bindemitteldosierung ergeben sich lediglich im Erprobungsabschnitt 1, 50/70 mit Licomont. Die Kornzusammensetzung wird sehr gut eingehalten. Wiederum wurden allerdings gegenüber der Eignungsprüfung erhöhte Füllergehalte festgestellt. Auffällig ist dabei, dass sich für den fiktiven Hohlraum des Mineralgemisches trotz des erhöhten Füllergehaltes bei eingehaltenem Splittgehalt erhöhte Werte ergeben.

## 8.2 Verdichtungsgrad und Hohlraum

Bei Asphaltbindern hat die Viskositätsabsenkung des Bindemittels wegen des relativ geringen Bitumengehaltes keinen dominanten Einfluss auf das Verdichtungsverhalten. Dieses wird vielmehr durch die Mineralstoffkomponente maßgeblich beeinflusst. Daher können die im Regelwerk angegebenen Verdichtungstemperaturen von  $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  für Normenbitumen und  $145^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  für PmB 45 zur Ermittlung des Verdichtungsgrades der temperaturabgesenkten Asphaltbinderschichten herangezogen werden.

Für die Splittmastixasphalte der BAB A7 wurde in Absprache mit der BAST und dem SBA Flensburg zur Errechnung des vertraglich relevanten Verdichtungsgrades diejenige Verdichtungstemperatur gewählt, bei der sich am Marshallprobekörper ein Hohlraumgehalt von 4 Vol-% einstellt. Es ergaben sich somit für jeden Versuchsabschnitt unterschiedliche Verdichtungstemperaturen zur Berechnung des Verdichtungsgrades. In Tabelle 37 sind die Verdichtungsgrade sowie die zur Ermittlung der Referenzraumdicke bestimmten Verdichtungstemperaturen aufgeführt.

Für die B 106 wurden die vertraglich vereinbarten Verdichtungstemperaturen zur Ermittlung des Verdichtungsgrades herangezogen. Für das Additiv Colzuphalt ist dies aufgrund der bei der Kontrollprüfung nicht reproduzierbaren Wirkungsweise ohnehin angebracht (vgl. 4.1.1.2). Für den Abschnitt mit Licomont lagen die an den Marshallprobekörpern ermittelten Hohlraumgehalte bei einer Verdichtungstemperatur von  $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  oberhalb von 4 Vol.-%, sodass sich keine niedrigere Verdichtungstemperatur ergeben hätte.

**Tabelle 37:** Verdichtungsgrade am Bohrkern und Verdichtungstemperaturen für die Herstellung der Marshallprobekörper

Strecke	Erprobungsabschnitt		Verdichtungsgrad [ % ] Verdichtungstemperatur [ °C ]	
	Nr	Bindemittel	ABi 0/16 S	SMA 0/11 S
BAB A7	2	SFB 5-90 LT	98,2 / 98,5	96,8 / 96,2
			98,4	96,5
			135 °C	122 °C
	3	Olexobit NV 25 / 45	(95,1)* / 97,4	(94,1)* / 97,1
			97,4	97,1
			135 °C	130 °C
	4	Sübit VR 35	98,9 / 100,9	99,4 / 99,4
			99,9	99,4
			135 °C	124 °C
	5	SmB 25 / 35	98,8 / 96,7	99,9 / 96,1
			97,8	98,0
			135 °C	116 °C
	6	Caribit 25 / 45 S	100,0 / 97,9	97,0 / 97,7
			99,0	97,4
		135 °C	127 °C	
	1	PmB 45 A	100,6 / 99,9	98,9 / 97,6
			100,3	98,3
			145 °C	145 °C
			ABi 0/16 S	SMA 0/8 S
B 106	0	PmB 45 A	102,0 / 102,4	99,4 / 100,8
			102,2	99,9
			145 °C	145 °C
	1	Licomont	100,9 / 102,5	98,2 / 99,9
			101,7	98,6
			135 °C	135 °C
	2	Colzuphalt	101,3 / 101,6	100,1 / 100,5
		101,5	100,3	
		145 °C	145 °C	

\* auf einem Brückenbauwerk

Zur Verdichtungskontrolle wurden, wie in den Abschnitten 6.4.2 und 7.4.2 beschrieben, Troxlermessungen durchgeführt. Nach einem Abgleich der Troxlerwerte mit an Bohrkernen ermittelten Raumdichten kann für jeden Abschnitt der flächendeckende Verdichtungserfolg angegeben werden. Neben den alle 50 m festgestellten Troxler - Raumdichten enthalten die in Anlage 10 enthaltenen Abbildungen außerdem die an den Bohrprofilen am Bohrkern ermittelten Raumdichten sowie den mittleren Verdichtungsgrad im Erprobungsabschnitt. Beispielhaft ist in Abbildung 20 der flächendeckende Verdichtungserfolg im Erprobungsabschnitt 2 der BAB A7 und in Abbildung 21 im Erprobungsabschnitt 2 der B 106 für den Splittmastixasphalt dargestellt. Für die Deckschichten der übrigen Abschnitte und auch für die Binderschicht sämtlicher Erprobungsabschnitte sind die Abbildungen in Anlage 10 enthalten.

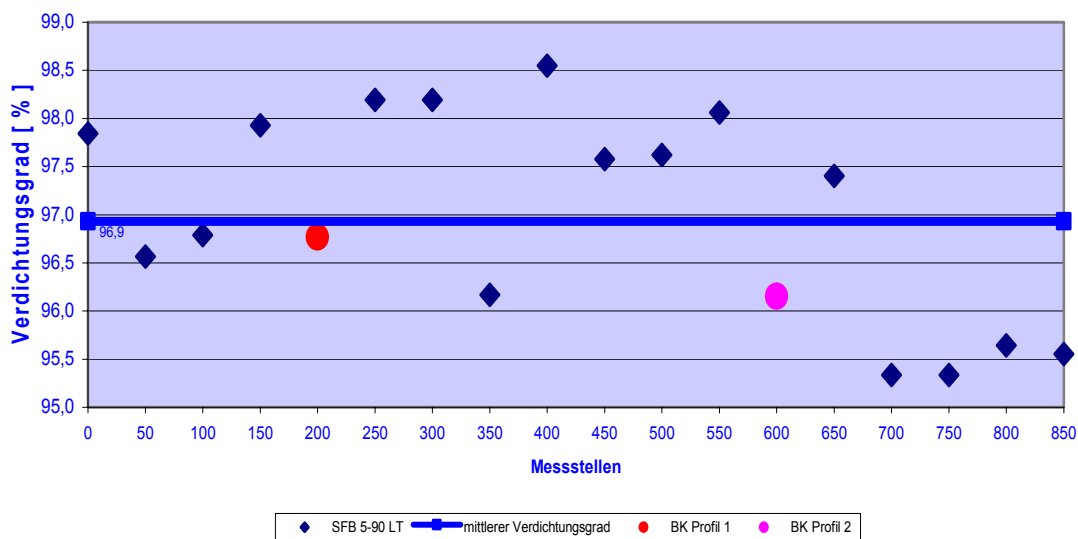


Abbildung 20: BAB A7, SMA 0/11 S, SFB 5-90 LT, Troxlermessungen, flächendeckender Verdichtungsgrad

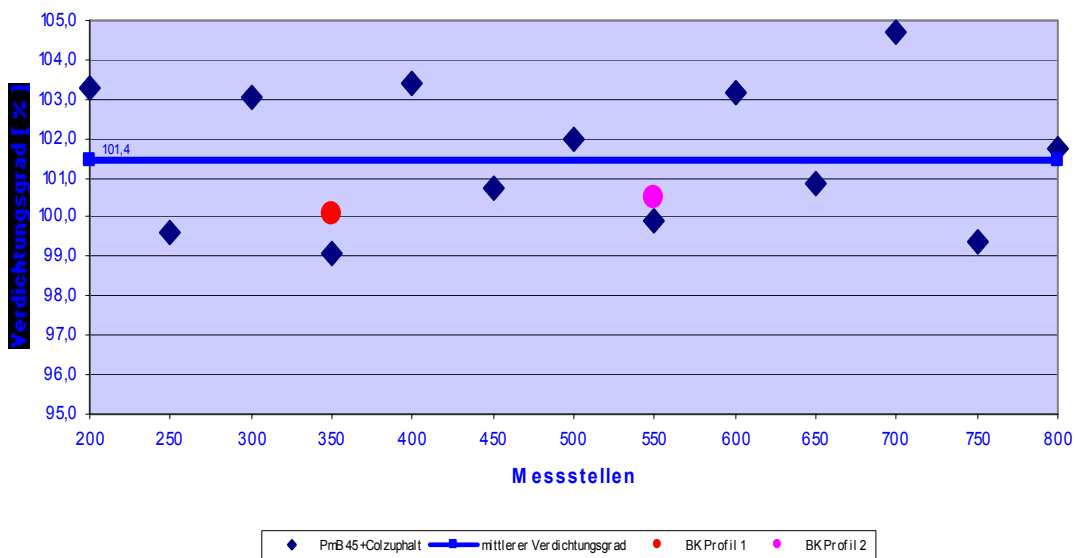


Abbildung 21: B 106, SMA 0/8 S, Colzuphalt, Troxlermessungen, flächendeckender Verdichtungsgrad

Für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Asphaltdecken ist der Verdichtungsgrad nur von bedingter Aussagekraft, da er keine Auskunft über das erreichte absolute Dichteniveau der verdichteten Schicht gibt sondern nur einen relativen Wert. Die Dauerhaftigkeit der verdichteten Schicht wird vielmehr durch die Gebrauchseigenschaft Hohlraumgehalt beschrieben.

In Abbildung 22 sind die Hohlraumgehalte der Deckschicht beider Versuchsstrecken aufgetragen. Nach den ZTV Asphalt – StB 01 gilt für den Hohlraumgehalt von Splittmastixasphalten ein oberer Grenzwert von 6 Vol.-%. Dieser Grenzwert wird in vier der sieben mit abgesenkter Temperatur eingebauten Abschnitte



überschritten. Die mit additivierten Normenbitumen hergestellten SMA auf der Versuchsstrecke BAB A7 verhalten sich verdichtungswilliger als die TA-Asphalte auf Basis additiver PmB. Auf der B 106 ist dies umgekehrt. Auffällig ist hier, dass trotz des Einsatzes von 7-8 Walzen der Hohlraumgehalt in einem Abschnitt nicht den Anforderungswert erreicht. Im Erprobungsabschnitt 1 mit Licomont liegt der Hohlraum der fertigen Schicht im Mittel bei 6,2 Vol.-% und entspricht damit nicht den Anforderungen. Die geringsten Hohlraumgehalte werden im Abschnitt mit Sübit VR 35 sowie in den Referenzabschnitten erreicht. Die hohen Hohlraumgehalte in den Erprobungsabschnitten 2 und 3 der BAB A7 bestätigen den während des Einbaus gewonnenen Eindruck, dass mit den Bindemitteln SFB 5-90 LT und Olexobit NV 45 hergestellte Splittmastixasphalte offensichtlich nicht mit abgesenkter Temperatur eingebaut werden können, es sei denn man erhöht den Verdichtungsaufwand erheblich.

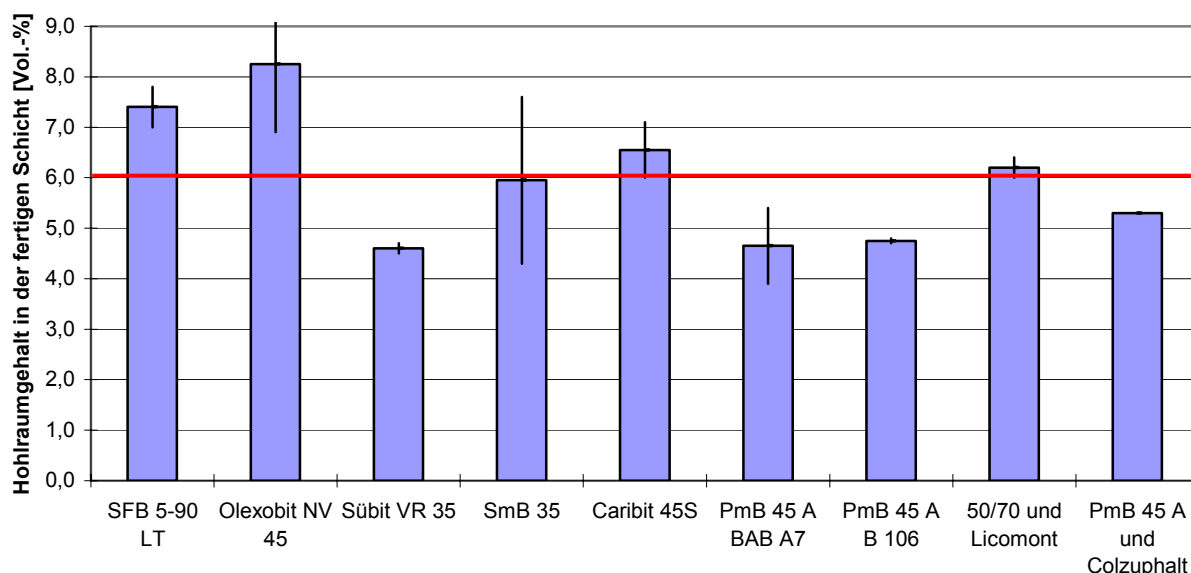


Abbildung 22: BAB A7 und B 106, Splittmastixasphalte, Hohlraumgehalt in der verdichteten Schicht

Beim Einbau der Asphaltbinder traten bei den Bindemitteln SFB 5-90 LT und Olexobit NV 25 ähnliche Probleme beim Durchlauf durch Shuttle und Fertiger auf, wie später beim Einbau des SMA. Dennoch ließen sich sämtliche Abschnitte gut verdichten.

## 8.3 Verdichtbarkeit / Temperaturabsenkungspotential

An Mischgutproben beider Versuchsstrecken wurde der Verdichtungswiderstand D bestimmt. Zur Abschätzung des Temperaturabsenkungspotentials wurde die Bestimmung bei drei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Die in den Eignungsprüfungen ermittelten Werte werden an den Mischgutproben bestätigt. Die Splittmastixasphalte SMA 0/11 S der BAB A7 sind alle als leicht bis mittel schwer verdichtbar und die SMA 0/8 S der B 106 als mittel bzw. mittel bis schwer verdichtbar einzustufen. Die D-Werte steigen auch bei 105 °C nicht in einem Maße an, das zu einer veränderten Einstufung hinsichtlich der Verdichtbarkeit führt. In Abbildung 23 werden die Verdichtungswiderstände D der Eignungsprüfung und an Mischgutproben gegenübergestellt. Nach dieser Prüfmethode können alle Asphalte als für eine Absenkung der Verarbeitungstemperatur geeignet angesehen werden. Dies steht teilweise im Widerspruch zu den praktischen Erfahrungen während des Einbaus der Deckschicht auf der BAB A7 (vgl.6.5.1ff und 7.5.1ff). Es erhebt sich die Frage, ob die bei dieser Prüfmethode eingesetzte schlagende Verdichtung wirklich geeignet ist, um das Verdichtungsverhalten unter Praxisbedingungen zu simulieren. Aus der Abbildung wird aber auch deutlich, dass ein Splittmastixasphalt 0/8 S deutlich verdichtungsunwilliger ist als ein Splittmastixasphalt 0/11 S.

Für die Asphaltbinder liegen die Verdichtungswiderstände ebenfalls für alle Abschnitte auf gleichem Niveau. Wie bereits erwähnt ist hier aufgrund des geringen Bindemittelgehaltes die Art und Zusammensetzung der Mineralstoffe dominant für das Verdichtungsverhalten. Daher wirkt sich die Absenkung der Herstellungstemperatur auch nicht sehr stark auf die ermittelten Verdichtungswiderstände aus. Die an den Bindern festgestellten Werte sind in Abbildung 24 dargestellt.

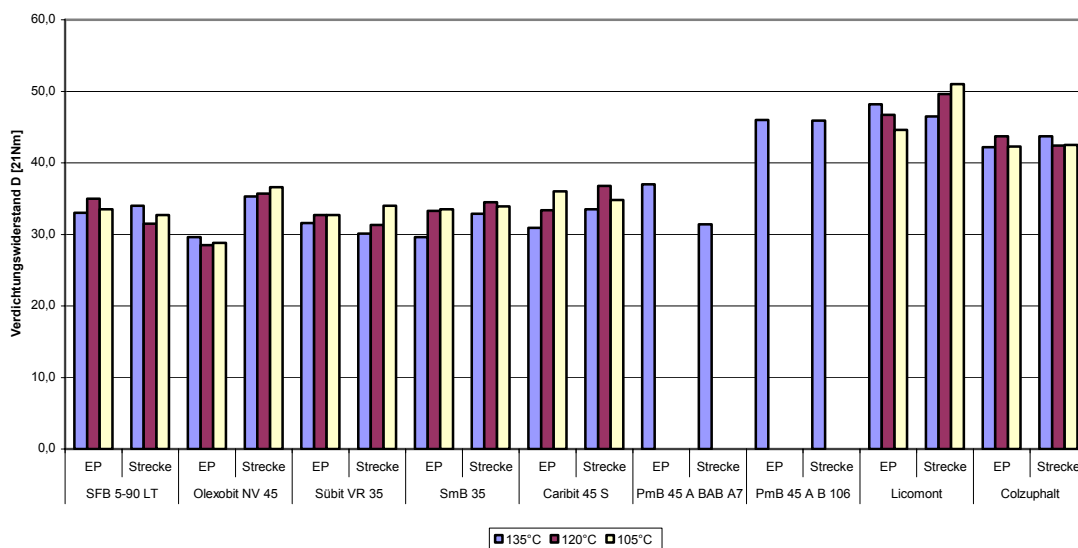


Abbildung 23: SMA 0/11 S und SMA 0/8 S, Verdichtungswiderstand D, Eignungsprüfung und an Mischgutproben

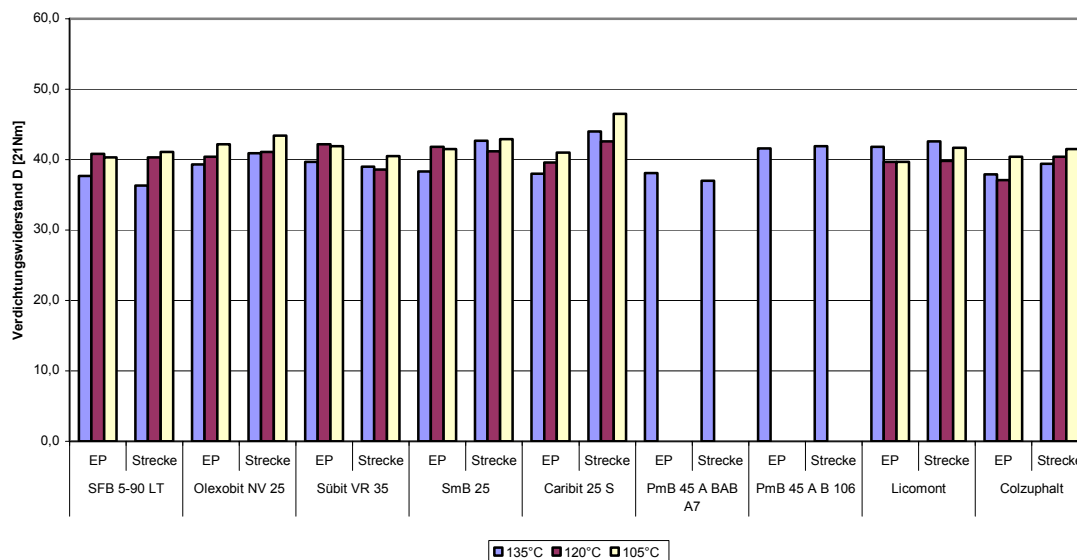


Abbildung 24: ABi 0/16 S, Verdichtungswiderstand D, Eignungsprüfung und an Mischgutproben

## 8.4 Wärmestandfestigkeit

Für alle Erprobungsabschnitte wurden Spurbildungsversuche gemäß TP A-StB Teil: „Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinntiefe im Wasserbad, 1997“ durchgeführt. Vom Forschungsnehmer wurden die Versuche im Wasserbad bei 50 °C und 20.000 Überrollungen mit dem Stahlrad an Bohrkernen Ø 300 mm durchgeführt. Durch die BAST wurden Versuche gemäß DIN EN 12697:22 „Asphalt – Prüfverfahren für Heiasphalt – Teil 22: Spurbildungstest“ bei Temperierung mit Luft bei 60 °C und 20000 Überrollungen mit dem Gummirad durchgeführt. Die im Labor hergestellten Probekörper wurden bei der BAST auf die an jedem Untersuchungsprofil an Bohrkernen ermittelte Raumdichte verdichtet, um die Spurtiefen an Asphalten mit gleichem Dichtezustand durchführen zu können. In Tabelle 38 und Tabelle 39 sind die ermittelten Spurtiefen für jedes Untersuchungsprofil der ermittelten Spurtiefe im Eignungsprüfungszeugnis sowie den Anforderungswerten gegenübergestellt. Die an der eingebauten Schicht ermittelten Spurtiefen liegen dabei in allen Abschnitten und für beide Schichten deutlich über den in der Eignungsprüfung gefundenen Werten. Dabei erfüllen die Spurtiefen der Asphaltbinder bis auf eine Ausnahme im Erprobungsabschnitt mit Licomont die vertragliche Anforderung von 4,5 mm maximaler Spurtiefe. Die Splittmastixasphalte überschreiten in allen Abschnitten den Anforderungswert. Erwartungsgemäß führen die Versuche im Wasserbad mit dem Stahlrad zu höheren Spurtiefen und einer stärkeren Spreizung der Ergebnisse. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse im Wasserbad an Bohrkernen und die im Luftbad an Laborplatten ermittelt wurden.

**Tabelle 38:** BAB A7, Spurtiefen im Eignungsprüfungszeugnis, an Bohrkernen (Wasserbad 50 °C, Stahlrad) und an Laborprobekörpern (Luftbad 60 °C, Gummirad)

Erprobungsabschnitt			Asphaltbinderschicht			Asphaltdeckschicht		
Nr	Bindemittel Anforderungswert		EPZ [mm] < 3,5	Stahlrad [mm] < 4,5	Luftbad [mm] -	EPZ [mm] < 3,5	Stahlrad [mm] < 4,5	Luftbad [mm] -
<b>BAB A7</b>								
2	SFB 5-90 LT	34+550 re	1,1	2,5	1,5	3,1	7,1	1,7
		34+950 li		4,5	1,5		7,0	1,7
		i.M.		3,5	1,5		7,1	1,7
3	Olexobit NV 25 und NV 45	35+360 re	1,1	2,7	1,6	2,1	6,2	2,1
		35+760 li		2,4	1,6		4,2	2,6
		i.M.		2,6	1,6		5,2	2,4
4	Sübit VR 35	36+200 re	1,3	4,6	2,2	2,3	6,1	2,3
		36+600 li		3,2	2,2		6,2	2,2
		i.M.		3,9	2,2		6,1	2,2
5	SmB 25 und 35	37+050 re	1,4	5,0	1,6	2,9	15,4	3,6
		37+450 li		3,7	1,8		16,3	2,9
		i.M.		4,3	1,7		15,8	3,3
6	Caribit 25 S und 45 S	37+908 re	1,2	2,7	1,4	1,9	8,4	2,8
		38+308 li		3,0	1,3		5,0	2,6
		i.M.		2,9	1,4		6,7	2,7
1	PmB 45 A	38+723 re	2,0	4,3	1,9	2,2	7,2	3,1
		39+123 li		2,9	2,2		4,8	2,5
		i.M.		3,6	2,1		6,0	2,8

**Tabelle 39:** B 106, Spurtiefen im Eignungsprüfungszeugnis, an Bohrkernen (Wasserbad 50 °C, Stahlrad) und an Laborprobekörpern (Luftbad 60 °C, Gummirad)

Erprobungsabschnitt			Asphaltbinderschicht			Asphaltdeckschicht		
Nr	Bindemittel Anforderungswert		EPZ [mm] < 3,5	Stahlrad [mm] < 4,5	Luftbad [mm] -	EPZ [mm] < 3,5	Stahlrad [mm] < 4,5	Luftbad [mm] -
<b>B 106</b>								
0	PmB 45 A	1+900 li	1,2	2,5	2,3	2,6	8,3	4,5
		1+700 re		2,0	2,8		7,0	3,8
		i.M.		2,3	2,6		7,6	4,1
1	50/70 mit Licomont	1+230 li	2,0	7,2	2,5	4,5	15,0	5,2
		0+980 re		4,6	2,2		18,3	5,3
		i.M.		5,9	2,3		16,7	5,3
2	PmB 45 A mit Colzuphalt	0+550 li	1,4	4,2	3,2	2,8	6,3	2,3
		0+350 re		4,4	2,8		5,6	2,7
		i.M.		4,3	3,0		5,9	2,5

In Abbildung 26 sind die Spurtiefen im Wasserbad für die Splittmastixasphalte beider Versuchsstrecken dargestellt. Die vertraglichen Anforderungen an die maximale Spurtiefe werden in allen Abschnitten überschritten. Die hohen Spurtiefen im Erprobungsabschnitt 5 der BAB A7 und im Erprobungsabschnitt 1 der

B 106 werden durch die in Abbildung 26 dargestellten Ergebnisse der Spurbildungsversuche bei Temperierung im Luftbad bei 60 °C und Gummirad nicht bestätigt. Im Rahmen der Kontrollprüfung wurden für beide Abschnitte in den Deckschichten erhöhte Bindemittelgehalte (0,1 M.-% im EA 5, BAB A7 und 0,2 bzw. 0,3 M.-% im EA 1, B 106) festgestellt. Die im Rahmen der Eignungsprüfung durchgeführten einaxialen Druckschwellversuche (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 8) lassen bei in dieser Größenordnung variiertem Bindemittelgehalt keine deutliche Verminderung der Wärmestandfestigkeit erwarten. Die Kornzusammensetzung wurde gerade auch im Hinblick auf geringe Empfindlichkeit gegen Bindemittelschwankungen ausgewählt. Die übrige Mischgutzusammensetzung wurde eingehalten. Die erhöhten Hohlraumgehalte an den Bohrkernen in Verbindung mit den am Marshallkörper aus Mischgut gegenüber der Eignungsprüfung deutlich niedrigeren Hohlraumgehalten (BAB A7, EA 5) verdeutlichen, dass der Asphalt nicht den optimalen Dichtezustand und damit die größtmögliche Wärmestandfestigkeit erreicht hat. Das Kornhaufwerk hat somit nicht die größtmögliche innere Reibung, was unter der gegenüber dem Luftbad „härteren“ Beanspruchung im Wasserbad zu den sehr großen Spurtiefen geführt haben könnte. Für den Abschnitt mit Licomont bleibt lediglich der erhöhte Bindemittelgehalt als mögliches Versagenskriterium, da der Hohlraumgehalt der Schicht deutlich dichter am Endhohlraumgehalt des Mischguts liegt. Weiterhin könnte eine mögliche Ursache in den Bindemittleigenschaften zu finden sein (vgl. Abschnitt 9). Eine abschließende Beurteilung, welche der beiden Prüfmethode- und -bedingungen besser geeignet ist, um die Bildung von Spurrinnen in situ zu simulieren, kann erst nach Abschluss des Forschungsvorhabens erfolgen.

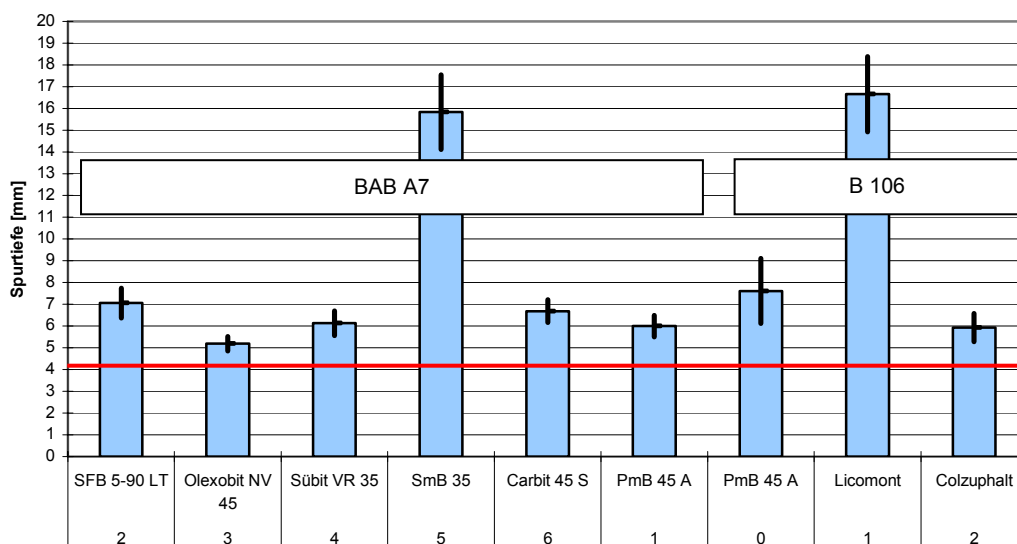


Abbildung 25: SMA 0/11 S und SMA 0/8 S, Spurtiefen an Bohrkernen Ø 300mm, Wasserbad 50 °C, Stahlrad

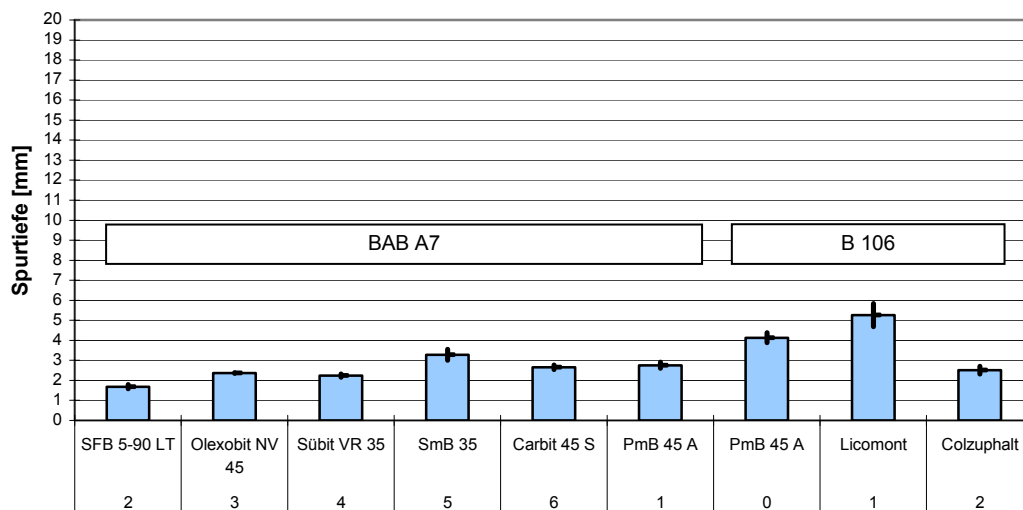


Abbildung 26: SMA 0/11 S und SMA 0/8 S, Spurtiefen an Laborplatten, Luftbad 60 °C, Gummirad

Die Asphaltbinder beider Versuchsstrecken weisen bis auf den Binder des Erprobungsabschnitt 1 der B 106 nach dem Spurbildungstest im Wasserbad einen hohen Widerstand gegen dynamische Beanspruchung auf. Der vertragliche Anforderungswert bei Kontrollprüfungen von maximal 4,5 mm Spurtiefe wird im Abschnitt mit Licomont überschritten. Nach ca. 15000 Überrollungen weist die Spurbildungskurve einen Wendepunkt auf, was auf ein Versagen des Asphaltes schließen lässt.

Beim Spurbildungsversuch bei 60 °C mit Gummirad und Luftbad werden wiederum deutlich geringere Spurtiefen mit geringerer Spreizung der Messergebnisse ermittelt. Der Abschnitt mit Licomont liefert hier nicht den absolut höchsten Wert, das heißt es wird auch hier die Entwicklung der Spurtiefe der Strecke einen endgültigen Aufschluss über die Wärmestandfestigkeit des so hergestellten Asphaltes geben. In Anlage 11 sind für alle Versuchsabschnitte die Spurbildungskurven dargestellt.

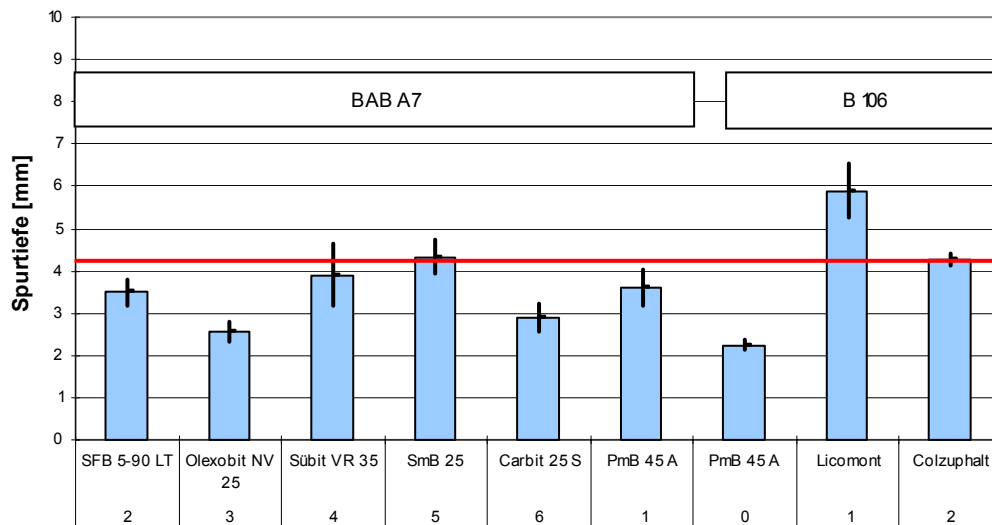


Abbildung 27: ABi 0/16 S, Spurtiefen an Bohrkernen Ø 300mm, Wasserbad 50 °C, Stahlrad

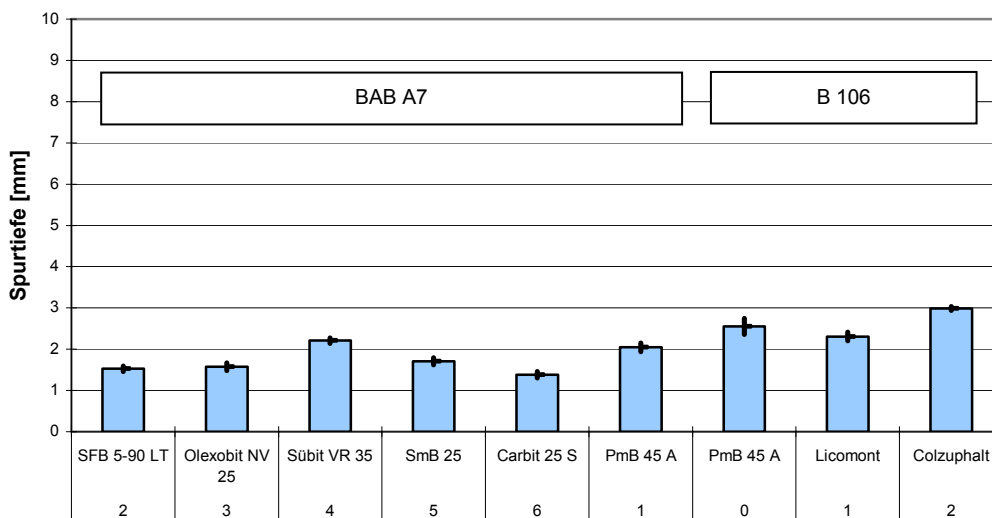


Abbildung 28: ABi 0/16 S, Spurtiefen an Laborplatten, Luftbad 60 °C, Gummirad

## 8.5 Schichtenverbund

An Bohrkernen Ø 150 mm wurde für beide Versuchsstrecken der Schichtenverbund nach Leutner sowohl zwischen Binder- und Tragschicht als auch zwischen Deck- und Binderschicht geprüft. Vertraglich vereinbart wurden mindestens 18,5 kN für die Scherkraft zwischen Deck- und Binderschicht und mindestens 14 kN für die Scherkraft zwischen Binder- und Tragschicht. Auf der BAB A7 wurde zum Erreichen des



Schichtenverbundes sowohl die Tragschicht als auch die Bindschicht mit einer Bitumenemulsion PmOB, C2 U 60 K angespritzt. Gleiches gilt für die B 106.

Die Anforderungswerte an den Schichtenverbund wurden mit zwei Ausnahmen in allen Abschnitten und für beide Lagen eingehalten. Der Einbau des Asphaltbinders auf der B 106 fand teilweise bei kräftigem Regen statt, sodass der Schichtenverbund zwischen Binder- und Tragschicht am Ende des Erprobungsabschnittes 1 (Profil 1/2) und am Beginn des Erprobungsabschnittes 2 (Profil 2/1) nicht mehr bzw. nicht den Anforderungen entsprechend zustande kam. Die Referenzstrecken weisen auf beiden Versuchstrecken den jeweils höchsten Schichtenverbund auf.

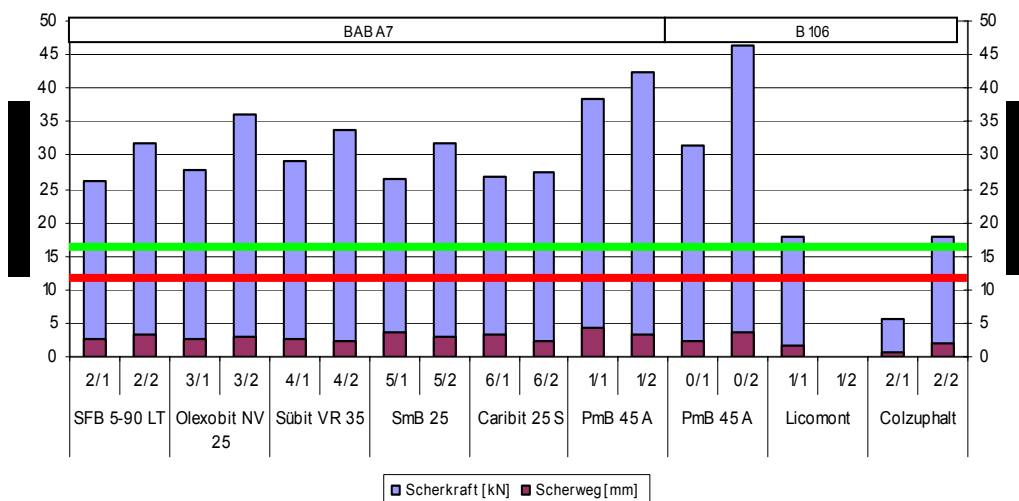


Abbildung 29: Schichtenverbund nach Leutner, Schichtgrenze ABi - ATS

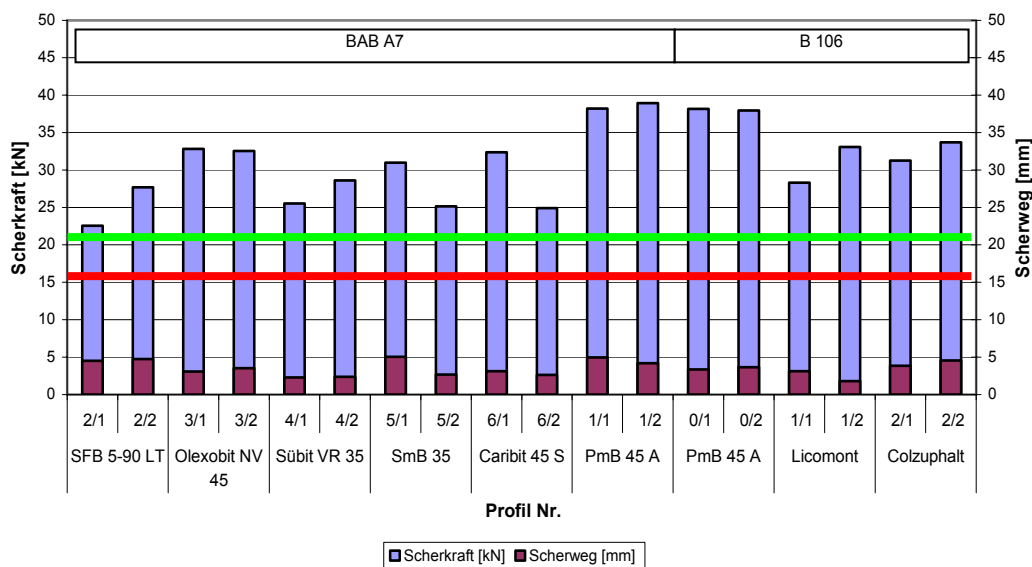


Abbildung 30: Schichtenverbund nach Leutner, Schichtgrenze SMA - ABi

## 8.6 Spaltzugversuche

Das Haftverhalten zwischen Bitumen und Gestein wirkt sich stark auf die Dauerhaftigkeit eines Asphaltes aus. Es muss daher überprüft werden, ob sich die Additivierung mit viskositätsabsenkenden Zusätzen nachteilig auf das Haftverhalten auswirkt. Zur Beurteilung des Haftverhaltens / der Affinität der Bindemittel wurden zum einen Spaltzugversuche (indirekter Zugversuch) an Marshallprobekörpern vor und nach Wasserlagerung und zum anderen Versuche mit dem Flaschen-Rollverfahren gemäß DIN EN 12697 Teil 11 (vgl. 9.1.3) durchgeführt. Für die Prüfung der Spaltzugfestigkeit wurden jeweils 6 Marshallprobekörper hergestellt. Die Herstellung erfolgte für die TA-Asphalte bei 135 °C und für die Referenzabschnitte bei 145 °C. Für das Mischgut mit Colzuphalt wurden die Marshallkörper ebenfalls bei 145 °C hergestellt, weil wie bereits erwähnt, die Wirkung des Additivs nach Wiedererwärmung nicht mehr gegeben ist. Die Prüfung der Spaltzugfestigkeit erfolgte nach 24-stündiger Lagerung bei +5 °C. Jeweils 3 Probekörper wurden vorab für 96 Stunden bei 40 °C im Wasser gelagert. Wie Abbildung 31 zeigt, besteht zwischen den Hohlraumgehalten am Marshallprobekörper und dem Abfall der Spaltzugfestigkeit nach Wasserlagerung kein Zusammenhang. Für das Haftverhalten ist der Abfall der Spaltzugfestigkeit vor und nach Wasserlagerung maßgebend. Ein Abfall der Spaltzugfestigkeit bis zu 30 % gilt erfahrungsgemäß als tolerabel. Für alle Bindemittel beider Versuchsstrecken wird dieser Wert unterschritten, das heißt alle Bindemittel sind als unkritisch im Hinblick auf das Haftverhalten einzustufen. Im Vergleich schneiden bei den Asphaltbindern die auf den Referenzstrecken eingesetzten PmB 45 A sowie das mit dem Haftverbesserer Colzuphalt additivierte PmB 45 A besser ab als die übrigen Bindemittel. Für die Splittmastixasphalte wird die höchste Spaltzugfestigkeit im Referenzabschnitt der BAB A7 gefunden. Der Abfall der Spaltzugfestigkeit liegt für sämtliche Bindemittel unterhalb von 10 %. Die verwendeten Bindemittel weisen im Spaltzugversuch alle ein sehr gutes Haftverhalten auf.

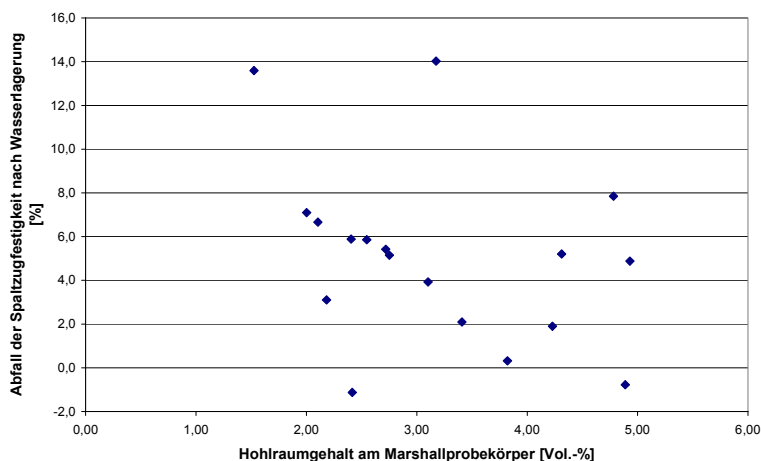


Abbildung 31: Korrelation Hohlraumgehalt am MPK und Abfall der Spaltzugfestigkeit, Splittmastixasphalte

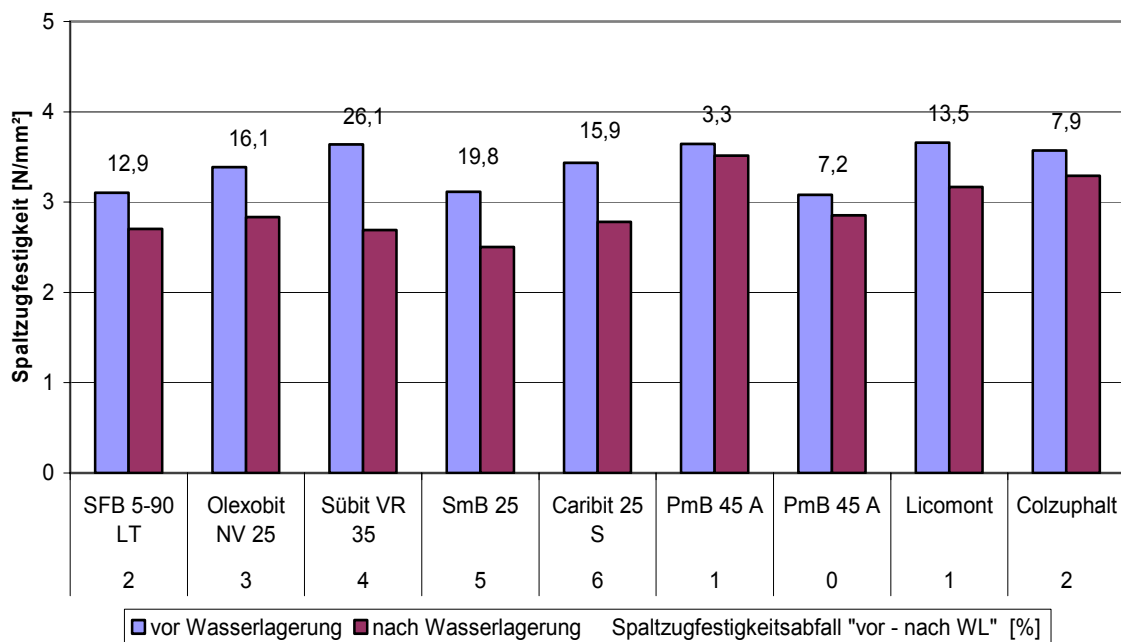


Abbildung 32: Ergebnisse Spaltzugversuch, Asphaltbinder 0/16 S

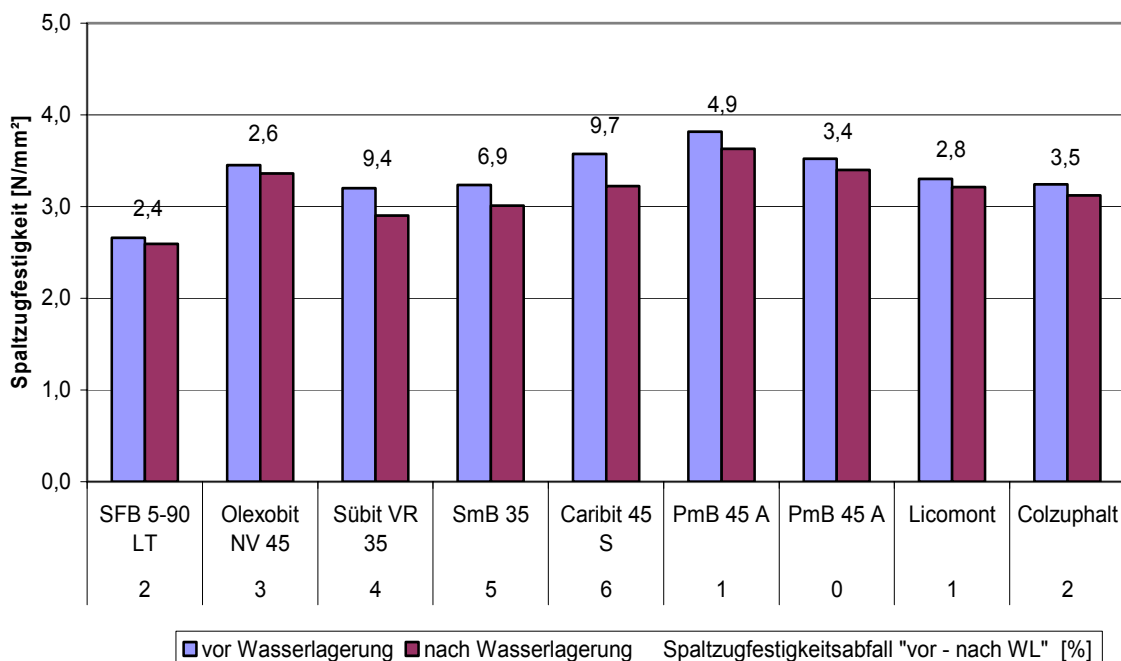


Abbildung 33: Ergebnisse Spaltzugversuch, SMA 0/11 S und SMA 0/8 S

## 8.7 Verhalten bei tiefen Temperaturen

Das Verhalten bei tiefen Temperaturen wurde mit dem Abkühlversuch gemäß TP A-StB Teil: „Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen, 1994“ untersucht. Die prismatischen Probekörper aus im Labor hergestellten Platten mit den Abmessungen 40x40x160 mm werden dabei in die Prüfapparatur kraftschlüssig eingebaut und bei konstant gehaltener Länge mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 10 K/h abgekühlt. Diese Abkühlgeschwindigkeit stellt eine sehr harte Beanspruchung dar, die nur bei extremer Witterungslage (Temperatursturz im Gebirge) auftritt. Infolge des verhinderten thermischen Schrumpfes entstehen in dem Probekörper bei Abkühlung kryogene Zugspannungen, wobei anfangs eine Überlagerung mit der Relaxation des Bindemittels (Entspannung) stattfindet. Dieser Bereich ist gekennzeichnet durch einen nicht linearen Verlauf der Abkühlungskurve. Beispielhaft ist eine Abkühlungskurve in Abbildung 34 für den SMA 0/11 S mit PmB 45 A der BAB A7 dargestellt. Die Ergebnisse des Abkühlversuches sind die Bruchtemperatur  $T_{\text{Bruch}}$  und die zugehörige Bruchspannung  $\sigma_{\text{Bruch}}$ . In Anlage 12 sind für sämtliche Abschnitte die Spannungs-Temperaturdiagramme zusammengestellt.

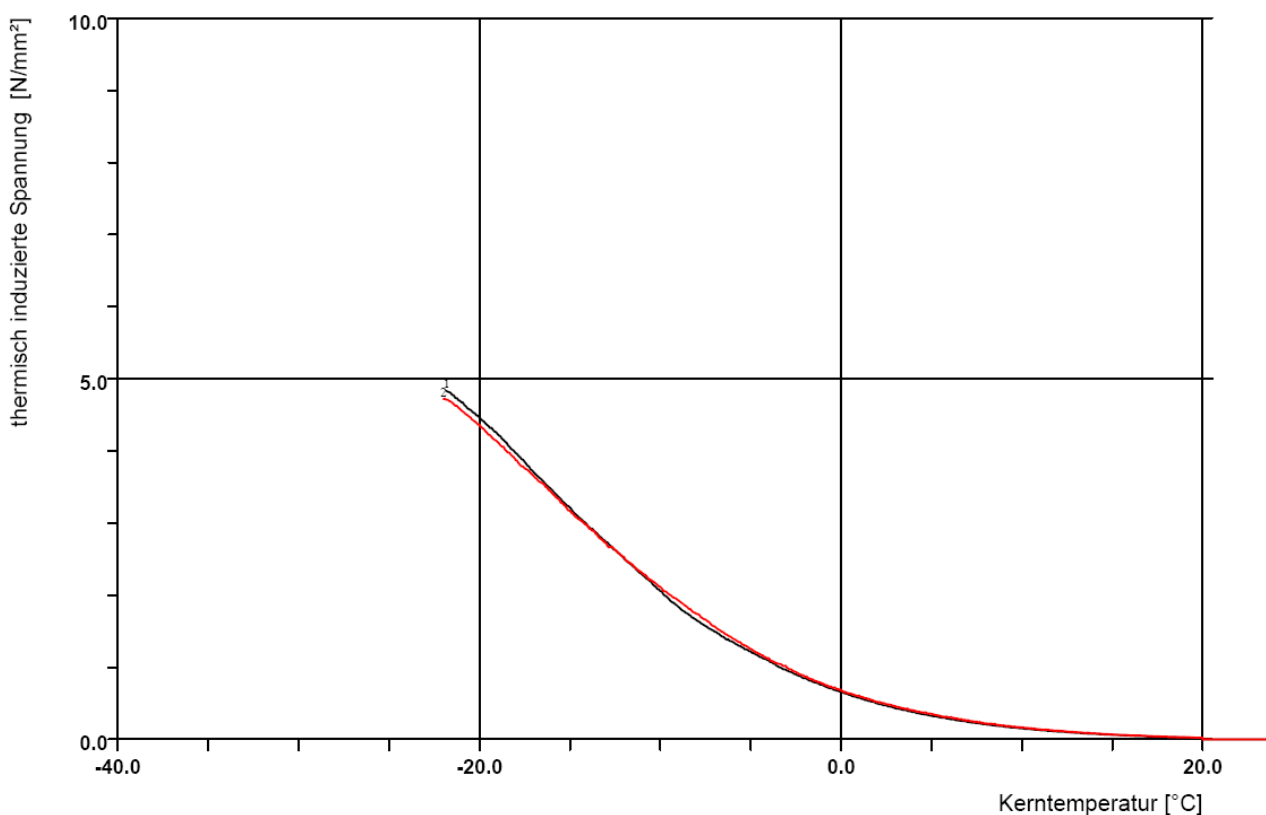


Abbildung 34: BAB A7, SMA 0/11 S mit PmB 45 A, Zugspannungs-Temperatur-Diagramm aus Abkühlversuch gemäß TP A-StB

Die Bruchtemperatur ist die beim Erreichen der Bruchspannung registrierte Kerntemperatur. Je niedriger die Bruchtemperatur und je höher die zugehörige Bruchspannung sind, umso geringer ist die Gefahr einer thermisch induzierten Rissbildung in der Asphaltdeckschicht. In Tabelle 40 sind die für die BAB A7 ermittelten Bruchtemperaturen  $T_{\text{Bruch}}$ , sowie die zugehörige Zugspannung  $\sigma_{\text{Bruch}}$  angegeben. Die angegebenen Werte für  $T_{\text{Bruch}}$  und  $\sigma_{\text{Bruch}}$  sind jeweils Mittelwerte aus zwei Prüfungen. In Tabelle 41 sind die entsprechenden Ergebnisse für die B 106 zusammengestellt.

Nach Guericke und Höppel [11] sind erfahrungsgemäß in unseren Breitengraden Bruchtemperaturen kleiner  $-16\text{ °C}$  für Asphaltdeckschichten unkritisch. Für Asphaltbinderschichten liegt noch kein entsprechender Erfahrungswert vor. Vor diesem Hintergrund weisen die Asphalte und die darin verwendeten Bindemittel ein günstiges Verhalten bei tiefen Temperaturen auf.

Das günstigste Verhalten zeigt das Bindemittel SFB 5-90 LT, gefolgt von den übrigen additivierten Polymerbitumen einschließlich dem Referenzbindemittel und den additivierten Normenbitumen.

**Tabelle 40:** BAB A7, Ergebnisse Abkühlversuch gemäß TP A-StB, Teil: Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen, 1994

Erprobungsabschnitt		Asphaltbinderschicht		Asphaltdeckschicht	
Nr	Bindemittel	$T_{\text{Bruch}}$ [°C]	$\sigma_{\text{Bruch}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{Bruch}}$ [°C]	$\sigma_{\text{Bruch}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
2	SFB 5-90 LT	-28,2	4,558	-31,3	5,038
3	Olexobit NV 25 und NV 45	-19,0	4,042	-24,2	4,841
4	Sübit VR 35	-14,4	3,836	-17,6	3,494
5	SmB 25 und 35	-14,5	2,917	-21,7	4,128
6	Caribit 25 S und 45 S	-20,0	3,816	-16,6	4,027
1	PmB 45 A	-20,2	4,331	-21,9	4,783

**Tabelle 41:** B 106, Ergebnisse Abkühlversuch gemäß TP A-StB, Teil Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen, 1994

Erprobungsabschnitt		Asphaltbinderschicht		Asphaltdeckschicht	
Nr	Bindemittel	$T_{\text{Bruch}}$ [°C]	$\sigma_{\text{Bruch}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{\text{Bruch}}$ [°C]	$\sigma_{\text{Bruch}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
0	PmB 45 A	-19,5	3,590	-21,2	4,152
1	50/70 mit Licomont	-21,8	4,577	-17,8	3,302
2	PmB 45 A mit Colzuphalt	-24,5	3,924	-24,8	3,918

Üblicherweise wird die nach der ZTV Asphalt-StB 01 geforderte Beurteilung des Tieftemperaturverhaltens bei erweiterten Eignungsprüfungen anhand der Bindemittleigenschaften vorgenommen. In den nachfolgenden Abbildungen ist daher die Bruchtemperatur mit dem Brechpunkt nach Fraass und der Biegebalkensteifigkeit bei  $-16\text{ °C}$  korreliert.

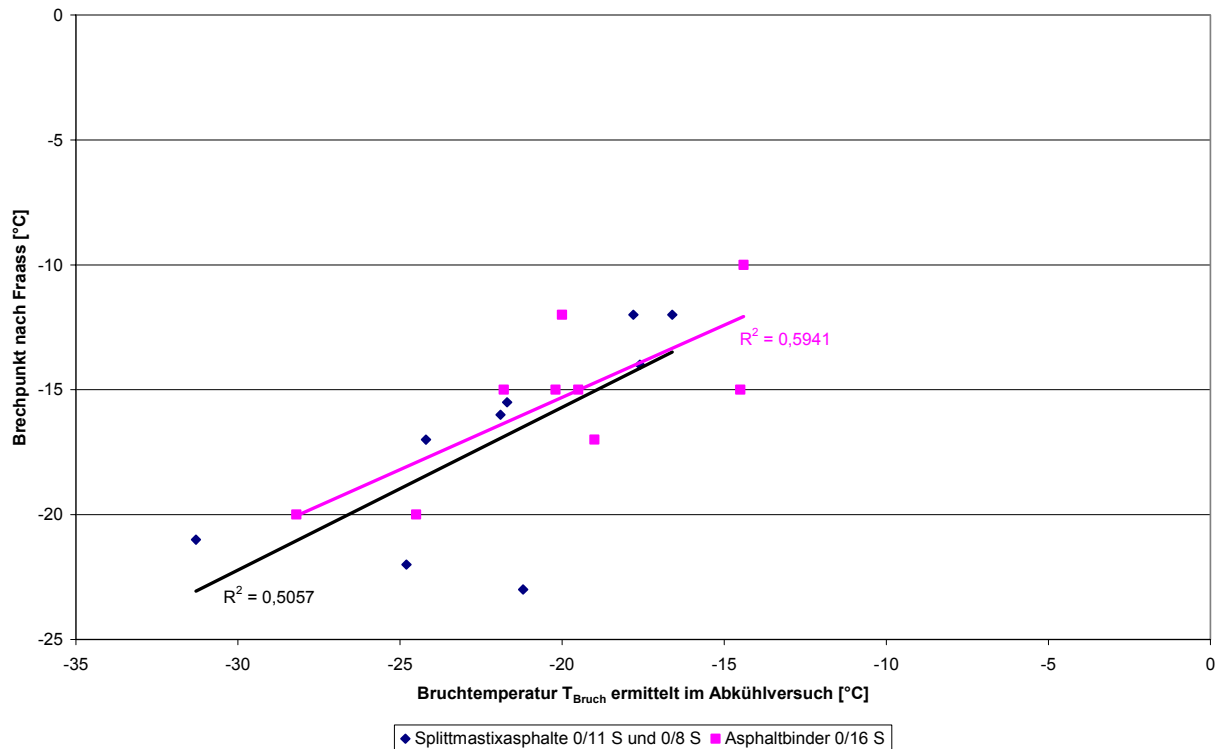


Abbildung 35: Zusammenhang zwischen Bruchtemperatur  $T_{\text{Bruch}}$  und Brechpunkt nach Fraass

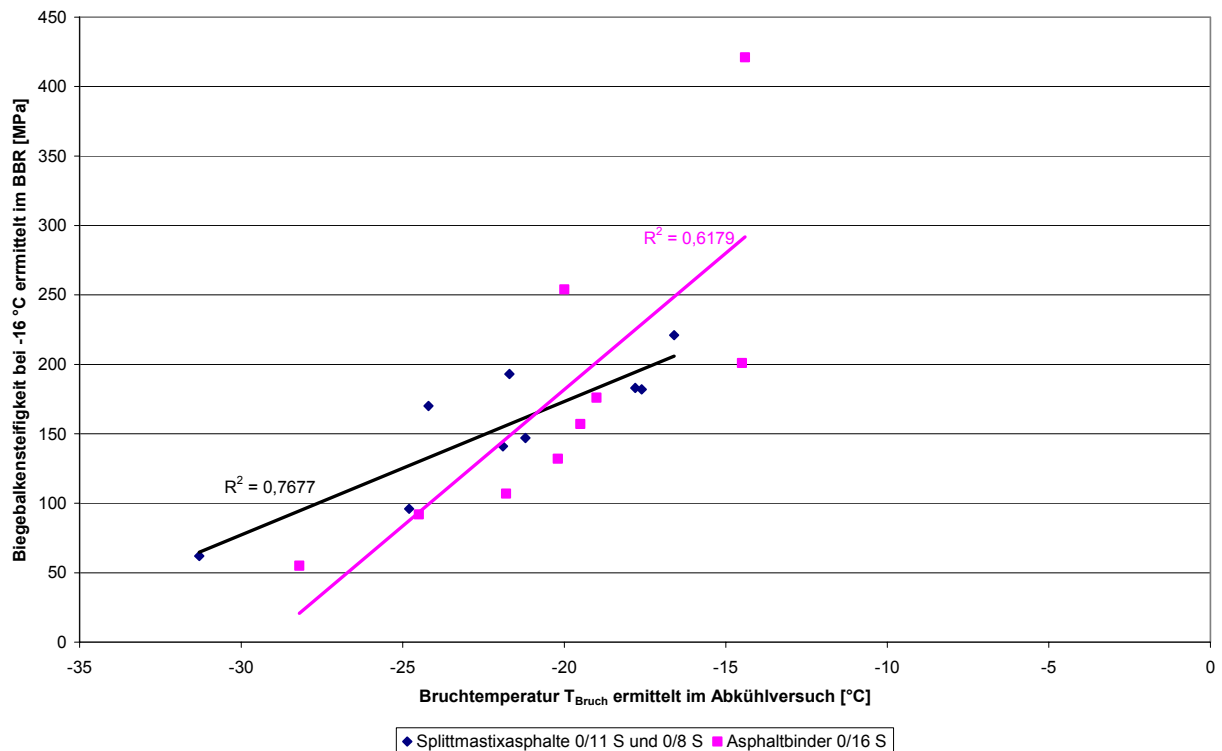


Abbildung 36: Zusammenhang zwischen Bruchtemperatur  $T_{\text{Bruch}}$  und Biegebalkensteifigkeit S

Die Korrelationsgeraden verdeutlichen, dass für Splittmastixasphalte die Werte der Biegebalkensteifigkeit bei  $-16\text{ °C}$  deutlich besser mit der Bruchtemperatur korrelieren als die Werte im Brechpunktversuch. Damit wird bestätigt, dass die Ermittlung der Biegebalkensteifigkeit im BBR eine realistischere Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften der Bindemittel und der daraus hergestellten Asphalte ermöglicht als der Brechpunkt nach Fraass. Auch für die Asphaltbinder ist eine Korrelation sowohl zwischen Biegebalkensteifigkeit und Bruchtemperatur als auch zwischen Brechpunkt nach Fraass und Bruchtemperatur erkennbar, wenngleich die Bestimmtheitsmaße sehr schlecht ausfallen.



## 9 Bindemittleigenschaften nach Extraktion, am frischen und im Labor gealterten Bindemittel

An allen Bindemitteln (immer mit Additiv außer Referenzbindemittel) wurden umfangreiche Untersuchungen sowohl mit den Standardprüfmethoden Erweichungspunkt RuK, Penetration, Brechpunkt nach Fraass sowie den performance-orientierten Prüfverfahren Biegebalkenrheometer (BBR), Dynamisches Scherrheometer (DSR), Kraftduktilität (KM), durchgeführt. Mit dem DSR wurde neben dem komplexen Modul  $G^*$  und dem Phasenwinkel  $\delta$  auch noch die Nullscherviskosität (ZVO) und die dynamische Viskosität bestimmt. Die viskositätsabsenkende Wirkung der eingesetzten Bindemittelsysteme basieren bis auf das auf der B 106 eingesetzte Haftmittel Colzuphalt auf einer Additivierung mit unterschiedlichen Wachsen, die je nach Kettenlänge der Kohlwasserstoffketten einen Tropfpunkt von ca. 90 °C bis 145 °C haben. Bei der Extraktion ist darauf zu achten, dass diese Wachse möglichst vollständig mit zurück gewonnen werden, um die tatsächlichen Bindemittleigenschaften erfassen zu können. In Abstimmung mit den Bindemittel- bzw. Additivlieferanten wurde daher die übliche Extraktionszeit von 30 Minuten auf eine Stunde verlängert. Dennoch kann der Erweichungspunkt RuK, wie im Merkblatt M TA erwähnt, am extrahierten Bindemittel nicht als Vertragsanforderung herangezogen werden. Zur Prognose des Langzeitverhaltens wurden die Bindemittel im frischen Zustand, nach RFT-Alterung gemäß DIN EN 12607-3 (Kurzzeitalterung) sowie nach PAV-Alterung gemäß AASHTO PP1 (Langzeitalterung) untersucht. Die RFT-Alterung simuliert die Alterung des Bindemittels während der Asphaltherstellung, die PAV-Alterung entspricht einer Nutzungszeit von ca. 8 – 12 Jahren, Schlame [15]. Da die Asphaltherstellung mit abgesenkter Temperatur erfolgt ist, könnten die am extrahierten Bindemittel gefundenen Eigenschaften tendenziell günstiger ausfallen als nach RFT-Alterung.

### 9.1 Physikalisch-technische Untersuchung der Bindemittel

Ein Vergleich mit den vertraglichen Anforderungen einerseits und mit den für die Referenzbindemittel gefundenen Werten andererseits dient als Grundlage für die Bewertung. Werte, die die vertraglichen Anforderungen nicht erfüllen, sind farblich unterlegt gekennzeichnet. Die Beurteilung der jeweils mit angegebenen Werte für die Kraftduktilität erfolgt im Abschnitt 9.1.4.

**Tabelle 42:** BAB A7, ABi 0/16 S, SFB 5-90 LT, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		SFB 5-90 LT				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	85 – 95	95,3	94,7	94,5	90,1
Nadelpenetration	[1/10 mm]	70 – 100	81	57	37	54
Brechpunkt Fraaß	[°C]	< -18	-20	-20	-20	-17
Kraftduktilität, E´max	[J]	>0,4	3,6	4,2	3,4	3,4
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	>4000	7450	12600	28300	10900
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	< 60	50,2	50,8	52,5	55,0
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	>9000	10138	12794	30525	12079
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	< 200	55	82	106	71
m-Wert	[-]	>0,3	0,456	0,420	0,339	0,402

**Tabelle 43:** BAB A7, ABi 0/16 S, Olexobit NV 25, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		Olexobit NV 25				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	68 – 78	93,7	96,1	102,0	93,0
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 35	27	22	16	21
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-17	-17	-9	-9
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 1	3,8	3,1	2,8	2,8
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 15000	26800	43300	140000	42900
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 65	60,0	56,1	49,4	57,8
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 13000	22024	54365	273523	39214
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 250	176	192	222	177
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,308	0,268	0,242	0,288

In Tabelle 42 sind die am Bindemittel der Binderschicht des Erprobungsabschnittes 2 der BAB A7 ermittelten Bindemittelkenndaten aufgeführt. Eine geringfügige Abweichung von den vertraglichen Anforderungen ergibt

sich für das Bindemittel SFB-5-90 LT lediglich beim Erweichungspunkt RuK. Alle übrigen am frischen Bindemittel ermittelten Werte erfüllen die vertraglichen Anforderungen. Selbst nach PAV-Alterung erfüllen die Bindemittleigenschaften annähernd die Anforderungswerte an ein PmB-H gemäß TL PmB-01. Das Bindemittel weist somit ein sehr günstiges Alterungsverhalten auf. Die Werte nach Extraktion sowie nach RFT-Alterung zeigen dabei eine sehr gute Übereinstimmung, d.h. dass die RFT-Alterung bei diesem Bindemittel die Alterung beim Herstellungsprozess trotz der Absenkung der Herstellungstemperatur gut simuliert.

Für das Bindemittel Olexobit NV 25 (Tabelle 43) wurde im frischen Zustand ein um 15,7 K über dem vertraglichen Anforderungswert liegender Erweichungspunkt RuK festgestellt. In Verbindung mit dem hohen komplexen Modul  $G^*$  und dem Phasenwinkel von 60 °C wird der hohe Beitrag zur Wärmestandfestigkeit deutlich. Die Anforderung an die Biegebalkensteifigkeit wird dabei sehr gut eingehalten. Die Werte nach RFT-Alterung sowie nach Extraktion stimmen bis auf den Brechpunkt wiederum gut überein. Auffällig ist für dieses Bindemittel die starke Veränderung nach der PAV-Alterung. Die Werte für den Erweichungspunkt RuK,  $G^*$ , Phasenwinkel und ZVO zeigen eine starke Versteifung des Bindemittels an, was eine geringe Alterungsbeständigkeit erwarten lässt. Die Biegebalkensteifigkeit verändert sich dabei nur geringfügig, so dass trotz der starken Versteifung des Bindemittels nicht mit einer Rissbildung infolge temperaturbedingter Spannungen zu rechnen ist (vgl. Abschnitt 8.7).

**Tabelle 44:** BAB A7, ABI 0/16 S, Sübit VR 35, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABI 0/16 S				
Bindemittel		Sübit VR 35				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	80 – 95	112	111	105,7	100,1
Nadelpenetration	[1/10 mm]	30 – 40	33	26	21	29
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -8	-10	-5	-4	-3
Kraftduktilität, $E'_{max}$	[J]	≥ 0,4	1,2	1,8	2,6	1,6
DSR, komplexer Schubmodul $G^*$ , 60 °C	[Pa]	≥ 15000	22300	32000	63300	24100
Phasenwinkel $\delta$ , 60 °C	[°]	≤ 70	72,8	73,1	72,1	76,0
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 13000	17116	14275	20029	11085
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 250	421	378	445	283
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,252	0,264	0,218	0,299

Die für Sübit VR 35 (Tabelle 44) der Binderschicht gefundenen Bindemittleigenschaften erfüllen nicht alle vertraglichen Anforderungen. Das Bindemittel ist deutlich steifer. Der sehr hohe Erweichungspunkt RuK ist auf ein Wachsadditiv mit sehr hohem Tropfpunkt zurückzuführen. Ob der mit zunehmender Alterung abnehmende Erweichungspunkt RuK auf eine Veränderung des Additives hindeutet, ist hier nicht abschließend zu beurteilen: die anderen Kenngrößen bestätigen dies nicht. Die am extrahierten Bindemittel gefundenen Werte liegen gegenüber den Werten nach RFT-Alterung auf der „weichen“ Seite und dabei deutlich niedriger als am frischen und RFT-gealterten Bindemittel. Erfahrungsgemäß ist dies darauf zurück zu führen, dass dieses Wachs bei der Extraktion nicht vollständig zurück gewonnen wird.

**Tabelle 45:** BAB A7, ABi 0/16 S, SmB 25, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		SmB 25				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	75 – 90	89,8	88,6	95,6	86,4
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 35	30	23	14	26
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-15	-12	-9	-8
Kraftduktilität, E <sub>max</sub>	[J]	≥ 0,5	0,9	1,3	1,9	1,2
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 13000	17700	40600	118000	29100
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	73,0	66,3	56,2	66,9
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 4000	5626	11211	82284	10256
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 250	201	223	236	182
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,305	0,260	0,231	0,310

Das Sasobit modifizierte Bindemittel SmB 25 erfüllt mit den ermittelten Eigenschaften vollständig die vertraglichen Anforderungen. Der Erweichungspunkt RuK, der komplexe Modul G\* und die Nullscherviskosität führen zu einer hohen Wärmestandfestigkeit. Die niedrige Biegebalkensteifigkeit ist auf die Verwendung eines relativ weichen Grundbindemittels 50/70 zurückzuführen und lässt selbst nach PAV-Alterung keine Rissbildung infolge kryogener Zugspannungen bis – 26 °C erwarten. Auffällig ist allerdings auch für dieses Bindemittel der überdurchschnittliche Anstieg des komplexen Moduls G\*, der Nullscherviskosität ZVO nach PAV-Alterung. Die nach RFT-Alterung und am extrahierten Bindemittel ermittelten Bindemittelkenngrößen zeigen eine gute Übereinstimmung, wobei die am extrahierten Bindemittel gefundenen Werte auf der „weicheren“ Seite liegen. Die temperaturabgesenkte Herstelltemperatur dürfte hierfür ursächlich sein.

**Tabelle 46:** BAB A7, ABi 0/16 S, Caribit 25 S, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		Caribit 25 S				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	72 – 92	88,5	84,1	90,4	77,3
Nadelpenetration	[1/10 mm]	10 – 40	27	22	16	16
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -5	-12	-12	-5	-5
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 3,0	5,6	7,5	4,4	7,4
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 20000	28500	50100	111000	67000
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 70	67,2	63,0	57,5	63,0
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 7500	11073	33960	109877	40060
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 350	254	263	298	277
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,303	0,261	0,261	0,260

Die am Caribit 25 S festgestellten Werte (Tabelle 46) erfüllen sämtliche vertraglichen Anforderungen. Im Langzeitverhalten sind keine Tendenzen zu einer kritischen Veränderung des Bindemittels zu erkennen. Die starke Versteifung im oberen Gebrauchstemperaturbereich führt nicht zu einer negativen Veränderung des Verhaltens bei tiefen Temperaturen. Das Bindemittel reagiert empfindlich auf Wärmebeanspruchung. Der starke Anstieg des komplexen Moduls bei 60 °C ist sowohl am extrahierten als auch am RFT-gealterten Bindemittel festzustellen. Insgesamt liegen die gefundenen Bindemittleigenschaften nach Extraktion und Kurzzeitalterung auf einem vergleichbaren Niveau. Die geringere Herstelltemperatur des Asphalttes hat sich offensichtlich nicht nachweisbar schonend auf das Bindemittel ausgewirkt. Der am extrahierten Bindemittel um 11,2 °C niedrigere Erweichungspunkt RuK deutet darauf hin, dass das Fischer-Tropsch Wachs durch Extraktion nicht vollständig zurück gewinnen lässt.

**Tabelle 47:** BAB A7, ABi 0/16 S, PmB 45 A, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

BAB A7		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		PmB 45 A				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 63	58,2	63,0	72,5	62,8
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	43	33	22	32
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-15	-15	-12	-14
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 1,0	2,1	2,6	3,2	2,2
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7000	8640	15800	37900	17800
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	71,0	67,5	62,6	67,3
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	-	2657	6614	24972	7245
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	132	149	183	115
m-Wert	[-]	(≥ 0,3)	0,407	0,356	0,327	0,360

Das Referenzbindemittel für die Binderschicht (Tabelle 47) erfüllt ebenfalls die Anforderungen des der TL PmB-01. Auch nach PAV-Alterung zeigen sich bis auf den Anstieg des Erweichungspunktes keine Veränderungen der Eigenschaften, die außerhalb der Anforderungen an das frische Bindemittel liegen. Der Anstieg der Steifigkeit im oberen Temperaturbereich hat keine Verschlechterung der Tieftemperatureigenschaften zur Folge. Die Anforderungswerte für die Biegebalkensteifigkeit sowie den m-Wert werden selbst nach der simulierten Langzeitalterung gut eingehalten. Die nach Extraktion sowie nach RFT-Alterung gefundenen Werte stimmen recht gut überein.

**Tabelle 48:** B 106, ABi 0/16 S, PmB 45 A, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

B 106		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		PmB 45 A				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 63	56,2	60,4	69,0	65,0
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	45	37	20	28
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-15	-12	-15	-7
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 1,0	2,66	2,94	3,57	3,25
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7000	7990	12800	39800	24300
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	73,9	70,6	65,3	67,4
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	-	2181	4230	18701	9232
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	157	156	235	160
m-Wert	[-]	(≥ 0,3)	0,396	0,391	0,311	0,363

Das Referenzbindemittel der B 106 (Tabelle 49) entspricht in seinen Eigenschaften dem zuvor beschriebenen PmB 45 A der BAB A7. Bis auf den Erweichungspunkt RuK werden sämtliche Anforderungen der TL PmB-01 auch noch nach PAV-Alterung eingehalten. Die nach Extraktion ermittelten Werte deuten auf eine stärkere Versteifung des Bindemittels während des Herstellungsprozesses hin, als durch die simulierte Kurzzeitalterung mit dem RFT-Verfahren erreicht wurde.



**Tabelle 49:** B 106, ABi 0/16 S, 50/70 und Licomont, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		50/70 und Licomont				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	80 – 90	95,9	98,0	98,2	90,8
Nadelpenetration	[1/10 mm]	30 – 50	56	36	22	35
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -8	-15	-17	-8	-6
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 0,4	0,45	0,90	1,48	0,92
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 15000	10300	18400	44000	17200
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 80	69,5	68,6	68,3	70,9
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 10000	6478	10729	16869	6398
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	107	155	249	171
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,439	0,367	0,286	0,363

In Tabelle 49 sind die Kennwerte für das Bindemittel 50/70 mit Licomont aufgeführt. Für die Bindemitteluntersuchungen wurde eine Mischung aus einer Bindemittelprobe des verwendeten Bitumens 50/70 mit dem ebenfalls an der Mischanlage beprobten Wachs Licomont im Labor hergestellt. Die Labormischung liefert im frischen Zustand einen zu hohen Erweichungspunkt. Die Nadelpenetration überschreitet dabei die vertraglichen Anforderungen und ist in der Größenordnung charakteristisch für ein als Grundbindemittel verwendetes 50/70. Die Vertragsanforderungen für den komplexen Modul G\* sowie die Nullschwerviskosität ZVO werden im frischen Zustand nicht erreicht. Die gefundenen Werte liegen allerdings auf einem Niveau, dass keine erhöhte Neigung zu Verformungen im oberen Gebrauchstemperaturbereich erwarten lässt. Die Veränderungen des Bindemittels nach PAV-Alterung sind gering und deuten auf ein gutes Langzeitverhalten hin. Nach Extraktion sind die ermittelten Bindemittleigenschaften tendenziell auf der weicheren Seite gegenüber dem kurzzeitgealterten Bindemittel. Die Unterschiede sind allerdings geringfügig und nicht in allen Eigenschaften einheitlich. Ob diese Unterschiede auf die Absenkung der Produktionstemperatur zurückzuführen sind, kann nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

**Tabelle 50:** B 106, ABi 0/16 S, PmB 45 A und Colzuphalt, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		PmB 45 A und Colzuphalt				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 63	52,0	54,9	63,1	54,3
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	67	51	30	55
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-20	-21	-15	-16
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 0,3	1,15	1,45	2,06	1,35
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7000	4630	8240	21000	7060
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	75,7	73,4	68,3	72,8
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 1500	1272	1856	6589	1837
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	92	96	163	76
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,465	0,456	0,360	0,451

Auch mit dem Additiv Colzuphalt (Tabelle 51) wurde eine Labormischung hergestellt, wobei die Reaktionszeit des Additivs berücksichtigt wurde. Dennoch soll sich die Wirkung des Additivs nach Herstellerangaben lediglich in Verbindung mit den Mineralstoffen zeigen. Das verwendete PmB 45 A entspricht dem im Referenzabschnitt verwendeten Bindemittel. Die Eigenschaften sollten daher eine große Übereinstimmung liefern. Es muss allerdings festgestellt werden, dass sich die Eigenschaften des Bindemittels entgegen den Herstellerangaben zur weichen Seite verschieben und die vertraglichen Anforderungen im oberen Gebrauchstemperaturbereich nicht eingehalten werden. Nach PAV-Alterung entsprechen die gefundenen Werte den Anforderungen der TL PmB-01 an ein frisches PmB 45 A.

**Tabelle 51:** BAB A7, SMA 0/11 S, SFB 5-90 LT, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltdeckschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/11 S				
Bindemittel		SFB 5-90 LT				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	85 – 95	93,8	94,5	91,3	85,4
Nadelpenetration	[1/10 mm]	70 – 100	87	55	36	62
Brechpunkt Fraaß	[°C]	< -18	-21	-20,5	-20,5	-20
Kraftduktilität, E´max	[J]	>0,4	2,8	2,5	2,5	2,0
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	>4000	11300	10100	25700	9440
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	< 60	42,7	50,5	51,9	52,4
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	>9000	15042	12195	35033	10309
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	< 200	62	63	86	49
m-Wert	[-]	>0,3	0,459	0,465	0,386	0,490

Das in der Deckschicht verwendete Bitumen SFB 5-90 LT (Tabelle 51) erfüllt im frischen Zustand sämtliche Anforderungen des Bauvertrages und der TL PmB-01. Auch nach Alterung verändern sich die Bindemittleigenschaften nicht so, dass frühzeitige Schädigungen der Deckschicht zu erwarten sind. Insbesondere das Verhalten bei tiefen Temperaturen und die moderate Erhöhung des komplexen Moduls lassen nicht auf eine Versprödung des Bindemittels schließen. Die nach Extraktion gefundenen Eigenschaften entsprechen wiederum den nach Kurzzeitalterung ermittelten Werten. Lediglich der Erweichungspunkt ist nach Extraktion um 10 K niedriger. Die Werte für den komplexen Modul entsprechen sich wie auch die Ergebnisse für den Phasenwinkel. Da für PmB-H die Bestimmung des Erweichungspunktes sehr problematisch ist, wird dem festgestellten Unterschied keine größere Bedeutung beigemessen.

**Tabelle 52:** BAB A7, SMA 0/11 S, Olexobit NV 45, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltdeckschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/11 S				
Bindemittel		Olexobit NV 45				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	65 – 75	80,4	86,7	97,9	72,0
Nadelpenetration	[1/10 mm]	30 – 45	41	29	19	34
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-17	-16	-12	-18
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 1	3,7	2,7	2,5	2,0
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 8000	18600	29100	77700	19600
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 70	61,9	59,6	53,3	61,8
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 5000	8637	20260	108599	14143
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 250	170	189	223	144
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,342	0,315	0,261	0,341

Aus bauvertraglicher Sicht werden durch das Bindemittel Olexobit NV 45 (Tabelle 52) bis auf den um 5 K überhöhten Erweichungspunkt RuK sämtliche Anforderungen erfüllt. Die Veränderung des Erweichungspunktes wirkt sich bei den übrigen Eigenschaften nicht negativ aus, insbesondere das Tieftemperaturverhalten ist ausgesprochen positiv zu bewerten. Die nach RFT-Alterung gefundenen Werte liegen gegenüber den am extrahierten Bindemittel gefundenen Werten einheitlich auf der steiferen Seite. Dies kann ein Hinweis dafür sein, dass bei der Extraktion das verwendete Additiv nicht vollständig zurück gewonnen wurde. Gleichzeitig kann auch hier wiederum die Veränderung der verwendeten Polymere einen Einfluss haben. Außerdem ist es möglich, dass das Bindemittel sehr temperaturempfindlich reagiert und sich so die Absenkung der Herstellungstemperatur deutlich ausgewirkt hat. Die nach PAV-Alterung ermittelten Eigenschaften zeigen eine deutliche Versteifung des Bindemittels an. Die Biegebalkensteifigkeit erfüllt dabei noch immer den Anforderungswert an das frische Bindemittel, sodass insgesamt von einem positiven Langzeitverhalten ausgegangen werden kann.

**Tabelle 53:** BAB A7, SMA 0/11 S, Sübit VR 35, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltdeckschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/11 S				
Bindemittel		Sübit VR 35				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	80 – 95	104,3	105	99,7	97,1
Nadelpenetration	[1/10 mm]	30 – 40	33	25	19	24
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -8	-14	-12	-9	-10
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 0,4	0,8	1,2	1,7	1,3
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 15000	25400	46300	105000	47600
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 70	68,5	64,9	59,5	65,0
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 13000	16458	22146	12194	23594
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 250	182	184	229	175
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,316	0,329	0,285	0,304

Im Erprobungsabschnitt 4 der BAB A7 wurde in der Binderschicht sowie im Splittmastixasphalt das Bindemittel Sübit VR 35 eingesetzt. Das in der Deckschicht verwendete Bindemittel (Tabelle 53) erfüllt bis auf den Erweichungspunkt RuK sämtliche bauvertraglichen Anforderungen. Der Erweichungspunkt liegt ca. 9 K oberhalb des Anforderungswertes, allerdings im Vergleich zum Bindemittel der Binderschicht um ca. 8 K niedriger. Ob diese Werte tatsächlich auf eine nicht immer gleiche Qualität des Additivs oder eine Inhomogenität des Bindemittels zurückzuführen sind, kann hier nur vermutet werden. Wie beim Asphaltbinder nimmt auch hier der Erweichungspunkt RuK nach PAV-Alterung ab. Die mit dem DSR ermittelten Werte für den komplexen Modul sind für beide Bindemittel gleich, der Phasenwinkel zeigt für das in der Deckschicht verwendete Bindemittel elastischeres Verhalten an. Gemessen an den Werten der „Performance-Prüfungen“ ist das Bindemittel als wärmestandfest und unkritisch im Tieftemperaturverhalten einzustufen. Die Eigenschaften nach Kurzzeitalterung sowie nach Extraktion entsprechen sich.

**Tabelle 54:** BAB A7, SMA0/11 S, SmB 35, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltdeckschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/11 S				
Bindemittel		SmB 35				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	75 – 85	84,2	86,8	89,2	84,4
Nadelpenetration	[1/10 mm]	30 – 45	40	29	20	30
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -15	-15,5	-10	-11	-12
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 0,5	<b>0,4</b>	1,0	1,7	0,8
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7500	13300	19500	71500	18300
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	72,6	73,4	63,7	73,8
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 1500	2939	12794	21070	10056
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 250	193	213	257	212
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,33	0,295	0,247	0,380

Die am frischen Bindemittel SmB 35 (Tabelle 54) ermittelten Werte entsprechen bis auf die maximale Energie im Kraftduktilometer den Anforderungen des Bauvertrages. Sowohl der Erweichungspunkt RuK als auch der komplexe Modul G\* zeigen den Beitrag des Bindemittels zu einer hohen Wärmestandfestigkeit an. Insofern sind die im Spurbildungsversuch im Wasserbad (vgl. 8.4) mit dem Stahlrad festgestellten hohen Spurtiefen nicht auf die fehlende Wärmestandfestigkeit des Bindemittels zurückzuführen.

Die Veränderung der Bindemittleigenschaften in den verschiedenen Alterungsstufen fallen gering aus, sodass von einem guten Langzeitverhalten des Bindemittels ausgegangen werden kann. Die Versteifung des Bindemittels, ausgedrückt durch den komplexen Modul G\* wirkt sich nicht nachteilig auf das Tieftemperaturverhalten aus. Die Bindemittleigenschaften des rückgewonnenen und RFT-gealterten Bindemittels entsprechen sich.

**Tabelle 55:** BAB A7, SMA 0/11 S, Caribit 45 S, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltdeckschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/11 S				
Bindemittel		Caribit 45 S				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 75	74,7	70,5	77,2	76,2
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	35	25	21	25
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -5	-12	-11	-3	-7
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 2,0	0,9	1,8	3,0	2,0
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 10000	17200	37900	107000	34800
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	74,6	69,1	63,2	69,4
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 5000	4409	11736	50135	9839
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 350	221	279	330	212
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,322	0,280	0,229	0,292

Das Bindemittel Caribit 45 S (Tabelle 55) erfüllt bis auf den Prüfwert für die Nullscherviskosität am frischen Bindemittel die vertraglichen Anforderungen. Die nach der PAV-Alterung ermittelten Bindemittleigenschaften führen zu einer erhöhten Biegebalkensteifigkeit und einem Anstieg des Brechpunktes Fraass. Die Versteifung des Bindemittels führt demnach zu einer geringfügigen Verschlechterung des Tieftemperaturverhaltens, das gemessen am Prüfwert im BBR als unkritisch für die Versuchsstrecke anzusehen ist. Bis auf den Erweichungspunkt RuK entsprechen sich die nach RFT-Alterung und am Rückgewonnenen Bindemittel ermittelten Bindemittelkenndaten. Die geringere thermische Beanspruchung im Herstellungsprozess hat keinen nachweisbaren Einfluss auf die Bindemittleigenschaften.

**Tabelle 56:** BAB A7, SMA 0/11 S, PmB 45 A, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltdeckschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/11 S				
Bindemittel		PmB 45 A				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 63	53,9	58,6	66,9	62,2
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	53	39	24	35
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-16	-17	-12	-15
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 1,0	1,9	2,3	2,8	1,8
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7000	7170	11100	26400	15800
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	74,3	71,3	67,1	67,1
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	-	1536	3345	12028	6355
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	141	150	220	133
m-Wert	[-]	(≥ 0,3)	0,413	0,359	0,285	0,394

Das für den Splittmastixasphalt der BAB A7 eingesetzte PmB 45 A (Tabelle 56) fällt im Vergleich zu dem in der Binderschicht eingesetzten Bindemittel geringfügig „weicher“ aus. Mit Ausnahme des Erweichungspunktes RuK werden die Anforderungen der TL PmB-01 eingehalten. Dies gilt ebenfalls mit Ausnahme des Erweichungspunktes RuK noch für das mittels PAV-Alterung gealterte Bindemittel. Der Erweichungspunkt liegt erwartungsgemäß leicht oberhalb der erlaubten Spanne und die Steifigkeit, ausgedrückt mit dem komplexen Modul G\*, ist deutlich angestiegen. Das Tieftemperaturverhalten ändert sich nur geringfügig, sodass auch im gealterten Zustand bis -26 °C nicht mit Kälterissen zu rechnen ist. Die am extrahierten Bindemittel ermittelten Eigenschaften liegen gegenüber den nach RFT-Alterung ermittelten Werten auf der „steiferen“ Seite.



**Tabelle 57:** B 106, SMA 0/8 S, PmB 45 A, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

B 106		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/8 S				
Bindemittel		PmB 45 A				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 63	57,2	62,1	71,9	60,4
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	41	31	18	38
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-23	-22	-12	-16
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 1,0	2,71	4,25	3,53	2,68
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7000	9890	19000	58000	13300
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	73,8	69,9	63,3	71,1
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	-	2695	5719	27715	3742
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	147	160	263	134
m-Wert	[-]	(≥ 0,3)	0,378	0,370	0,298	0,395

Die Bindemittleigenschaften des auf der B 106 in der Deckschicht des Referenzabschnitts verwendeten Bindemittels PmB 45 A (Tabelle 57) entsprechen den Eigenschaften des in der Binderschicht verwendeten Bindemittels. Die Anforderungen der TL PmB-01 werden eingehalten. Das extrahierte Bindemittel fällt weicher aus als das kurzzeitgealterte Bindemittel.

**Tabelle 58:** B 106, SMA 0/8 S, 50/70 und Licomont, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		SMA 0/8 S				
Bindemittel		50/70 und Licomont				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	80 – 90	99,0	99,3	100,2	88,6
Nadelpenetration	[1/10 mm]	30 – 50	46	36	23	36
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -8	-12	-15	-9	-6
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 0,4	0,7	0,97	1,61	0,89
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 15000	10900	18300	47300	12800
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 80	71,4	73,8	69,2	80,2
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 10000	5704	8467	16654	1683
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	183	201	307	215
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,349	0,325	0,253	0,326

Zur Untersuchung des Bindemittels 50/70 mit Licomont (Tabelle 58) wurden die an der Mischanlage entnommenen Bindemittelproben mit 3 % Licomont im Labor additiviert und gemischt. Die Bindemittleigenschaften am frischen Bindemittel entsprechen den schon am Bindemittel der Binderschicht ermittelten Werten. Das Bindemittel der Deckschicht ist geringfügig steifer, sodass die Anforderung an die Penetration in diesem Fall eingehalten wird. Die Werte für den komplexen Modul sind mit 10300 Pa und 10900 Pa nahezu identisch. In beiden Fällen wird der Anforderungswert nicht eingehalten. Inwieweit dieser Umstand ursächlich für die hohen Spurtiefen im Spurbildungsversuch im Wasserbad gewesen ist, kann nicht eindeutig bestimmt werden. Die Unterschiede in den Bindemittleigenschaften zwischen extrahiertem und kurzzeitgealtertem Bindemittel sind eher auf die unvollständige Rückgewinnung des Additivs zurückzuführen als auf die Absenkung der Produktionstemperatur. Der Erweichungspunkt RuK sowie die Nullscherviskosität liegen nach der Extraktion deutlich unterhalb der am frischen Bindemittel gefundenen Werte. Der Anstieg des Wertes für den komplexen Modul G\* ist auf eine Alterung des Grundbindemittels zurückzuführen.

**Tabelle 59:** B 106, SMA 0/8 S, PmB 45 A und Colzuphalt, Eigenschaften am frischen und gealterten Bindemittel

		Asphaltbinderschicht				
Mischgutsorte		ABi 0/16 S				
Bindemittel		PmB 45 A und Colzuphalt				
Prüfung	Einheit	Vertragsanforderung	frisch	RFT-gealtert	PAV-gealtert	extrahiert
Erweichungspunkt RuK	[°C]	55 – 63	<b>51,8</b>	55,6	64,9	57,1
Nadelpenetration	[1/10 mm]	20 – 60	<b>63</b>	46	28	47
Brechpunkt Fraaß	[°C]	≤ -10	-22	-20	-15	-17
Kraftduktilität, E´max	[J]	≥ 0,3	1,17	1,90	2,15	1,53
DSR, komplexer Schubmodul G*, 60 °C	[Pa]	≥ 7000	<b>5540</b>	8700	24600	9520
Phasenwinkel δ, 60 °C	[°]	≤ 75	<b>75,9</b>	72,7	67,4	71,9
Nullscherviskosität ZVO, 60 °C	[Pa·s]	≥ 1500	<b>1185</b>	2127	8167	2894
BBR, Steifigkeit bei -16 °C	[MPa]	≤ 300	96	98	155	99
m-Wert	[-]	≥ 0,3	0,449	0,459	0,346	0,448

Auch für das in der Deckschicht eingesetzte und mit dem Haftmittel Colzuphalt versetzte Bindemittel PmB 45 A (Tabelle 59) bestätigt sich die Veränderung des Ausgangsbindemittels zur „weichen“ Seite. Man muss allerdings feststellen, dass nach RFT-Alterung bzw. Extraktion sehr ähnliche Werte ermittelt werden, die den Anforderungswerten der TL PmB-01 an ein PmB 45 A entsprechen. Insofern dürfen die am frischen Bindemittel ermittelten Abweichungen nicht überbewertet werden, zumal die Wirkung des Additivs nach Angaben des Herstellers nur bei Vorhandensein von Mineralstoffen vollständig zur Geltung kommt. Die Umwandlung des Additivs nach der Aktivierung ist eine chemische Reaktion, die erst durch thermische Beanspruchung vollständig abläuft.

### 9.1.1 Langzeitverhalten dargestellt am Beispiel Erweichungspunkt RuK, Penetration und Brechpunkt Fraass

Zur Beurteilung des Langzeitverhaltens der verwendeten viskositätsabsenkenden Bindemittel wurden - wie bereits erwähnt - das Verhalten nach drei Alterungsstufen untersucht. Ein Vergleich der charakteristischen

Bindemittelkennwerte der additivierten Bindemittel mit den auf der Referenzstrecke verwendeten PmB dient der Prognose des Langzeitverhaltens.

Die Erweichungspunkte in den drei Alterungszuständen sowie nach der Extraktion sind in Abbildung 37 (Splittmastixasphalte) und Abbildung 38 (Asphaltbinderschicht) dargestellt. Im frischen Zustand erreichen alle additivierten Bindemittel Erweichungspunkte RuK deutlich oberhalb 70 °C. Die hohe Steifigkeit im oberen Gebrauchstemperaturbereich liefert die Begründung für die hohe Wärmestandfestigkeit, die bei Asphalten mit TA-Bindemitteln festgestellt werden kann. Die nach der Extraktion der Bindemittel gefundenen Werte sind teilweise niedriger als am frischen Bindemittel. Offensichtlich werden die Additive trotz verlängerter Extraktionszeit nicht immer vollständig zurück gewonnen. Für die PmB - basierten Bindemittel, insbesondere auch das höher polymerisierte SFB 5-90 LT, kommen dazu noch mögliche Veränderungen/Verkürzungen der Polymer-Ketten für die Verringerung der Erweichungspunkte RuK in Betracht. Das Erweichungspunktverfahren führt erfahrungsgemäß aufgrund des hohen Anteils an SBS-Polymeren bei PmB-H zu Erweichungspunkten RuK, die realistisch sind: Die Polymere verlangsamen durch ihre hohe Zähigkeit nach dem Weichwerden des Bitumens ein Absinken der Kugel und führen dadurch bei dem vorgegebenen Temperaturgradienten von 5 K/min zu sehr hohen Erweichungspunkttemperaturen. Zu Recht ist die Frage zu stellen, ob der Erweichungspunkt RuK überhaupt geeignet ist, PmB-H zu charakterisieren.

Die nach Alterung gefundenen Erweichungspunkte RuK lassen zunächst den Schluss zu, dass sich die viskositätsabgesenkten Bindemittel in ihrem Alterungsverhalten positiv von den Bindemitteln der Referenzstrecken unterscheiden. Es muss allerdings festgestellt werden, dass das Merkmal Erweichungspunkt RuK nach Ansicht der Verfasser nicht hinreichend für eine solche Beurteilung geeignet ist, da - wie schon erwähnt - die hohen Erweichungspunkte vor allen Dingen auf die eingesetzten Wachse zurückzuführen sind. Der übliche Erweichungspunkt eines 50/70 liegt beispielsweise bei 53 °C. Am frischen SmB 35 (50/70 + 3 % Sasobit, vgl. Abbildung 37) wurde ein Erweichungspunkt von 84 °C festgestellt. Dieser Wert veränderte sich nach PAV-Alterung lediglich um 4 K auf 89 °C. Damit nähert sich der Erweichungspunkt RuK bereits dem Tropfpunkt des Fischer-Tropsch-Waxes. Für das PmB 45 A der BAB A7 stieg der Erweichungspunkt hingegen von 54 °C um 13 K auf 67 °C nach PAV-Alterung an. Aufgrund des sich beim Erweichungspunkt RuK dominant auswirkenden Tropfpunktes/Schmelzbereiches des Waxes werden die Veränderungen am Grundbindemittel beim SmB 35 evtl. nicht „sichtbar“. Das Alterungsverhalten muss daher eher über einen Vergleich des Merkmals Nadelpenetration bzw. der Tieftemperatureigenschaften mittels Brechpunkt Fraass oder Steifigkeit im Biegebalkenrheometer untersucht werden.

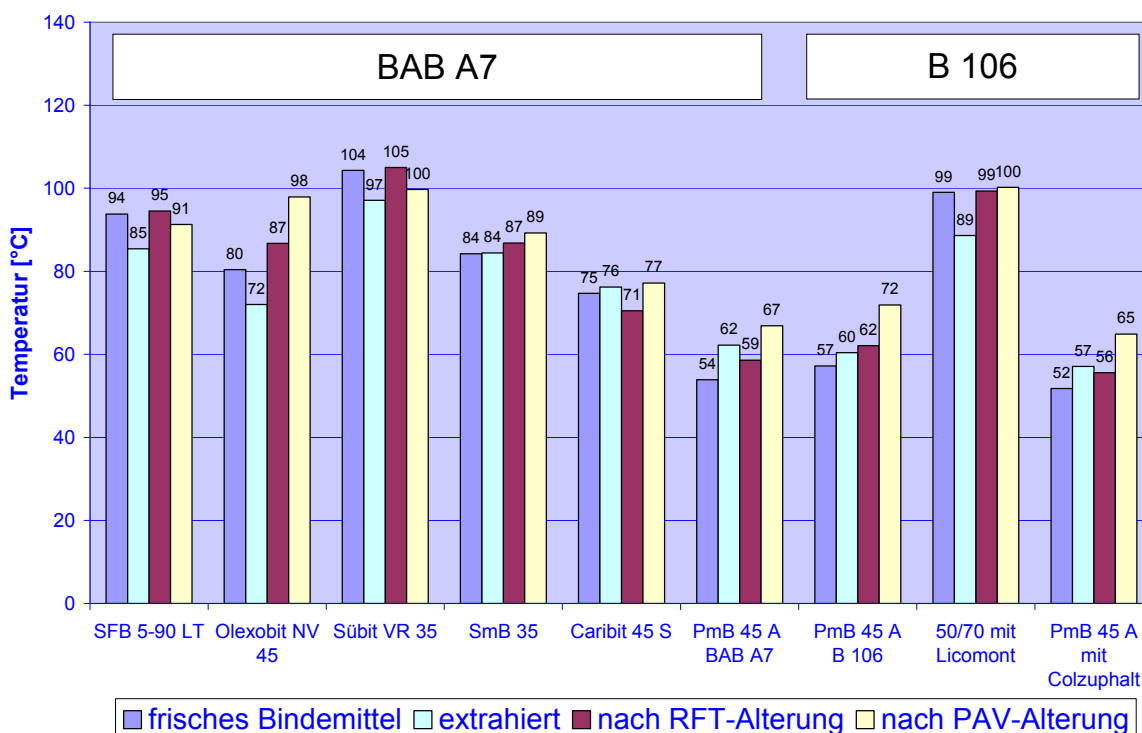


Abbildung 37: Bindemittel SMA, Erweichungspunkt RuK bei verschiedenen Alterungsstufen

Die am Beispiel der Bindemittel der Splittmastixasphalte getroffenen Aussagen treffen auf die Bindemittel der Asphaltbinder beider Versuchsstrecken in gleicher Weise zu. Bemerkenswert ist dabei der Abfall des Erweichungspunktes RuK für das Bindemittel Sübit VR 35 nach PAV-Alterung. Dieser Umstand könnte wie schon erwähnt ein Hinweis auf eine Abnahme der mittleren Kettenlänge der Wachsmoleküle mit einer damit einhergehenden Absenkung des Tropfpunktes sein. Um diese Aussage zu bestätigen, wären weitere Untersuchungen notwendig, wenngleich sich für das gleiche Bindemittel am Splittmastixasphalt dieser Effekt ebenfalls einstellt.

Abbildung 39 zeigt die Penetrationswerte für die Bindemittel der Asphaltdeckschichten bei verschiedenen Alterungsstufen. Am frischen Bindemittel erreichen die additivierten Bindemittel trotz der sehr hohen Erweichungspunkte noch Penetrationswerte, die in etwa eine Härteklasse unter den Grundbindemitteln liegen und somit noch als ausreichend „weich“ anzusehen sind. Im oberen Gebrauchstemperaturbereich wirkt die Additivierung demnach stark versteifend, während bei normalen Temperaturen nur eine geringe Versteifung festzustellen ist. Das Alterungsverhalten der TA-Bindemittel, ausgedrückt durch die Veränderung der Penetration bei 25 °C, kann als ähnlich bzw. leicht günstiger als das der verwendeten PmB der Referenzstrecken angesehen werden. Die Abnahme zwischen den am frischen und nach PAV-Alterung festgestellten Werten beträgt für die Bindemittel der Referenzstrecken ca. 55 %. Das bedeutet, dass die

Bindemittel der nächst härteren Bitumenklasse zugeordnet werden müssen. Dieser Wert wird durch die „weicheren“ TA-Bindemittel (SFB 5-90 LT, PmB 45 A mit Colzuphalt) ebenfalls erreicht.

Für die im frischen Zustand steiferen Bindemittel (Olexobit NV 25 und 45, Sübit VR 35, SmB 25 und 35, sowie Caribit 25 und 45 S) liegt die Abnahme der Penetration zwischen 40 % und 50 %. Gemessen an diesem Merkmal ist für die TA-Bindemittel nicht mit einem ungünstigeren Langzeitverhalten zu rechnen.

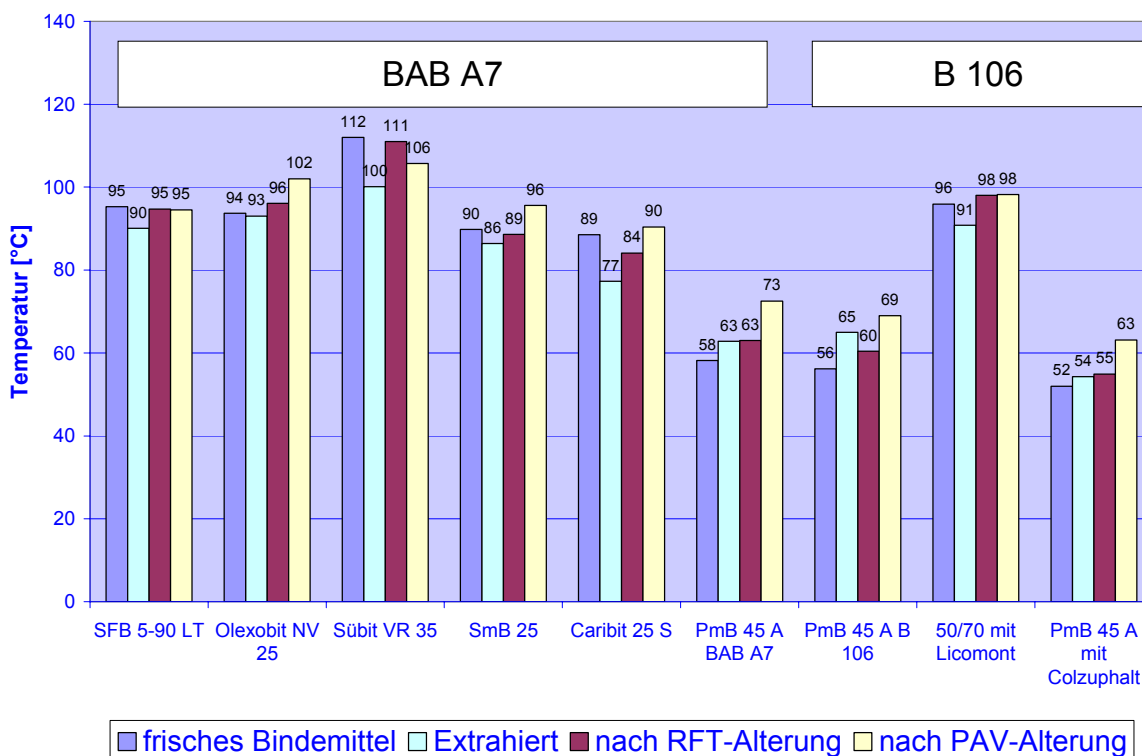


Abbildung 38: Bindemittel Asphaltbinder, Erweichungspunkt RuK bei verschiedenen Alterungsstufen

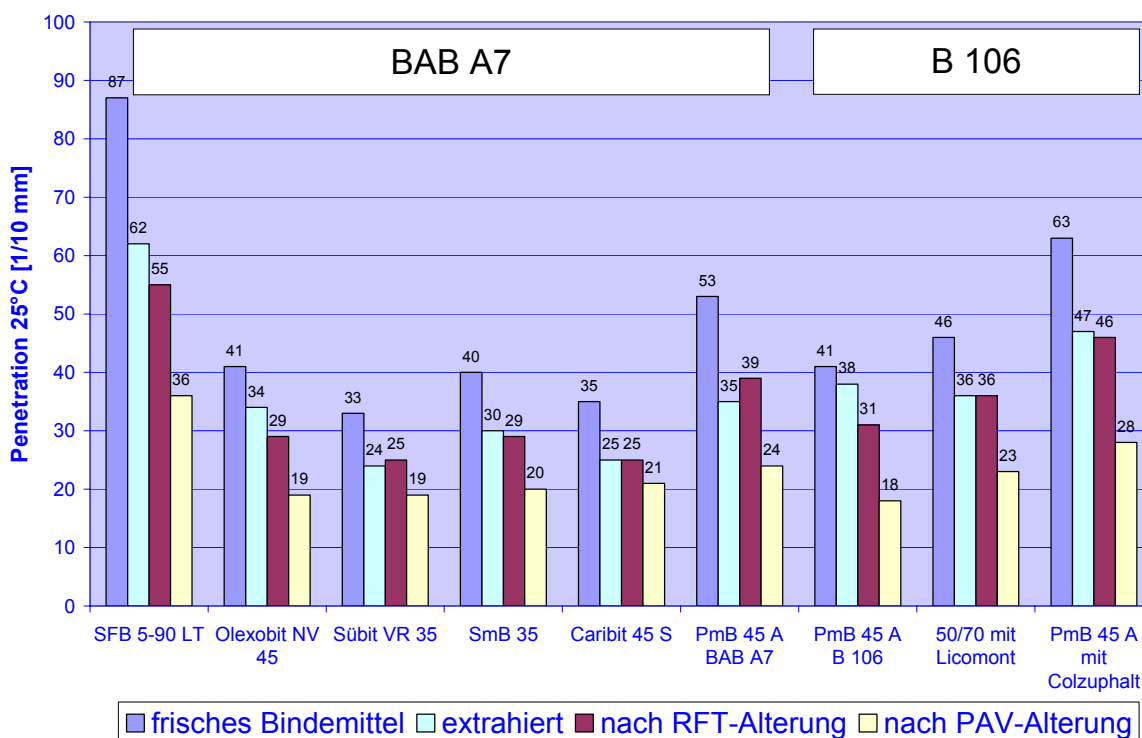


Abbildung 39: Bindemittel Splittmastixasphalte, Penetrationswerte bei verschiedenen Alterungsstufen

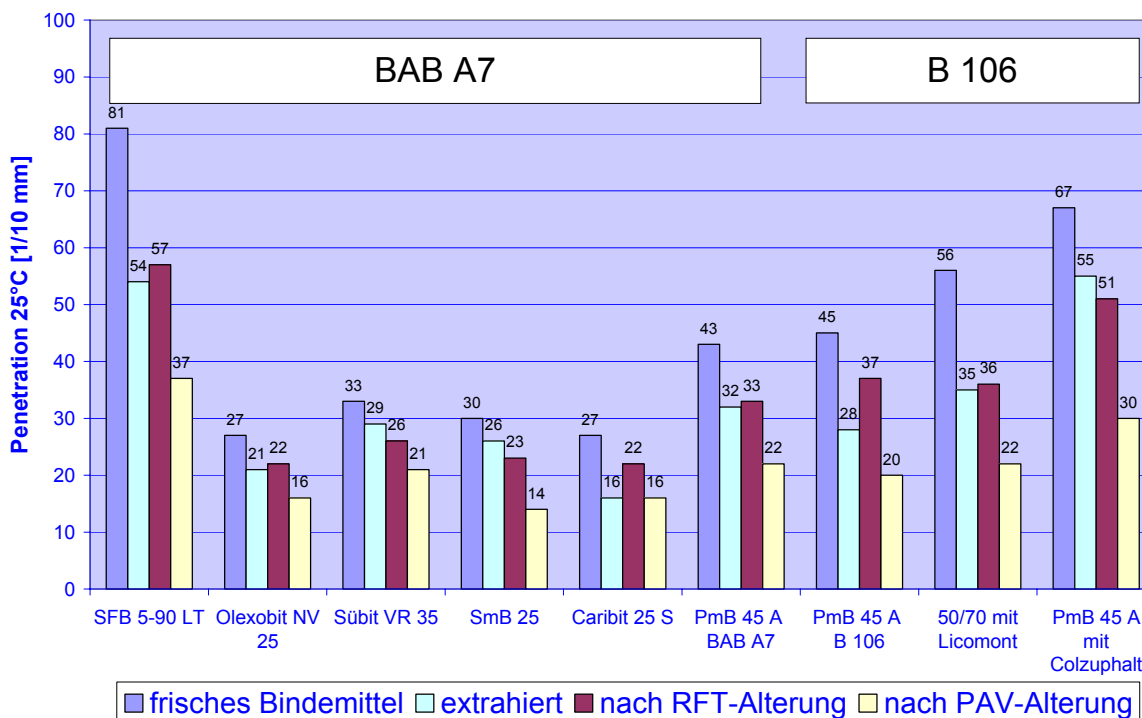
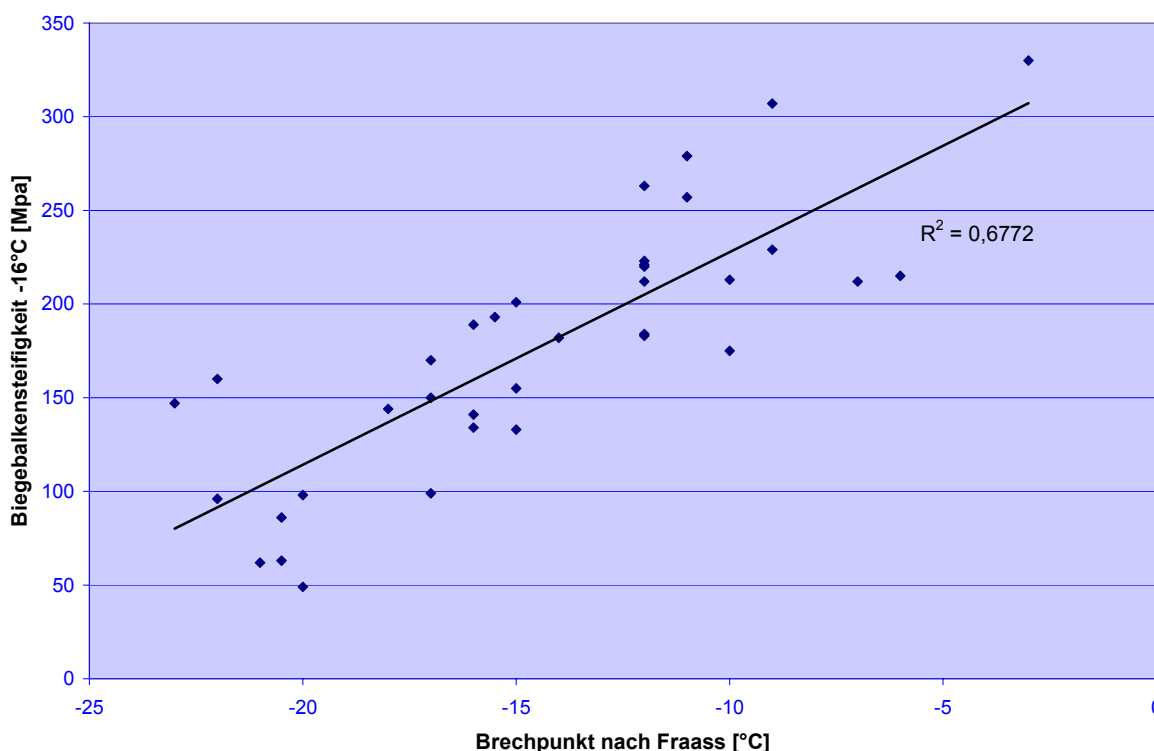


Abbildung 40: Bindemittel Asphaltbinder, Penetrationswerte bei verschiedenen Alterungsstufen

Für die Dauerhaftigkeit gegen Ermüdungs- und Kälterissbildung ist das Verhalten bei tiefen Temperaturen von entscheidender Bedeutung. Bei einer Versteifung im oberen Gebrauchstemperaturbereich dürfen TA-Bindemittel nicht zu einer Verschlechterung des Tieftemperaturverhaltens führen. Die Plastizitätsspanne muss dementsprechend größer sein. Anhand der beiden Prüfmethode für den Brechpunkt nach Fraass und die Biegebalkensteifigkeit bei verschiedenen Alterungsstufen kann daher sehr deutlich eine Voraussage über das Langzeitverhalten der TA-Asphalte getroffen werden. Die Bestimmung des Brechpunktes Fraass unterliegt dabei bekanntlich einer großen Prüfstreuung, Guericke, Höppel [11], Ammadi et.al. [24], sodass die Beurteilung anhand der über die „Performance“-Prüfung im Biegebalkenrheometer ermittelten Biegebalkensteifigkeit die verlässlicheren Ergebnisse liefert.



**Abbildung 41:** Korrelation Brechpunkt nach Fraass und Biegebalkensteifigkeit der in den Splittmastixasphalten verwendeten Bindemittel

Die Korrelation der beiden Messverfahren ist deutlich zu erkennen, wenngleich das Bestimmtheitsmaß mit lediglich 68 % noch vergleichsweise gering ist. Dieser Wert ist mit hoher Wahrscheinlichkeit der größeren Prüfstreuung des Prüfverfahrens nach Fraass zuzuschreiben. Für die in der Binderschicht verwendeten Bindemittel ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von ca. 55 %, wenngleich auch hier eine Korrelation deutlich erkennbar ist [Anlage 13]. Beide Prüfverfahren liefern demnach übereinstimmende Aussagen zum Alterungsverhalten und ermöglichen somit einen Rückschluss auf das Langzeitverhalten der



viskositätsabgesenkten Bindemittel. Die Zunahme der Biegebalkensteifigkeit nach PAV-Alterung stellt sich für die TA-Bindemittel der Deckschicht im Vergleich zur Referenzstrecke als geringer und somit günstiger dar. Abbildung 42 zeigt die absoluten Werte der Biegebalkensteifigkeit der in den Splittmastixasphalten verwendeten Bindemittel. In Abbildung 43 ist die prozentuale Veränderung der Ergebnisse bei den verschiedenen Alterungsstufen aufgetragen. Den höchsten Steifigkeitszuwachs erfährt danach das PmB 45 A der Referenzstrecke B 106. Die viskositätsabgesenkten Bindemittel verhalten sich demnach langfristig zumindest gleichwertig. Wichtig ist dabei festzustellen, dass mit zwei geringen Ausnahmen die im BBR ermittelten Steifigkeiten auch nach PAV-Alterung noch unterhalb des Grenzwertes von 300 MPa liegen und somit bis -26 °C nicht mit Kälterissen zu rechnen ist. In Anlage 14 sind die an den Bindemitteln der Asphaltbinder ermittelten Zuwächse der Steifigkeit enthalten.

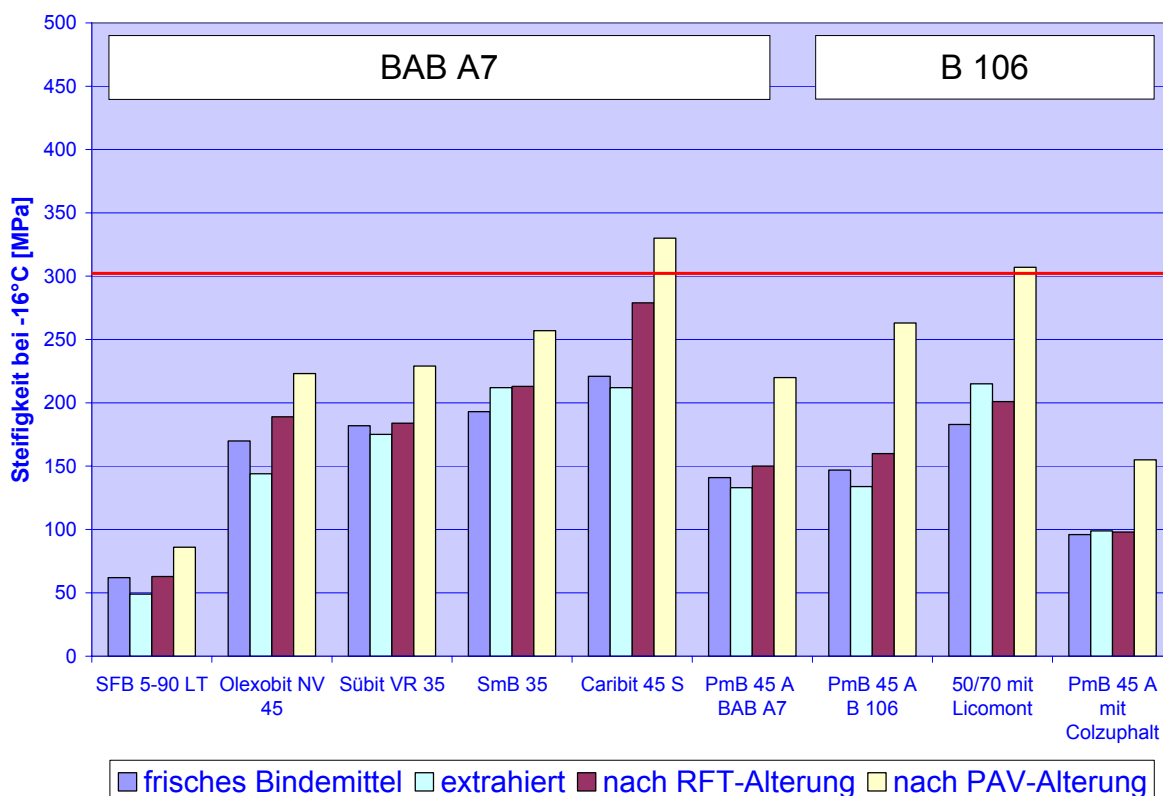


Abbildung 42: Bindemittel Splittmastixasphalte, Biegebalkensteifigkeit bei verschiedenen Alterungsstufen

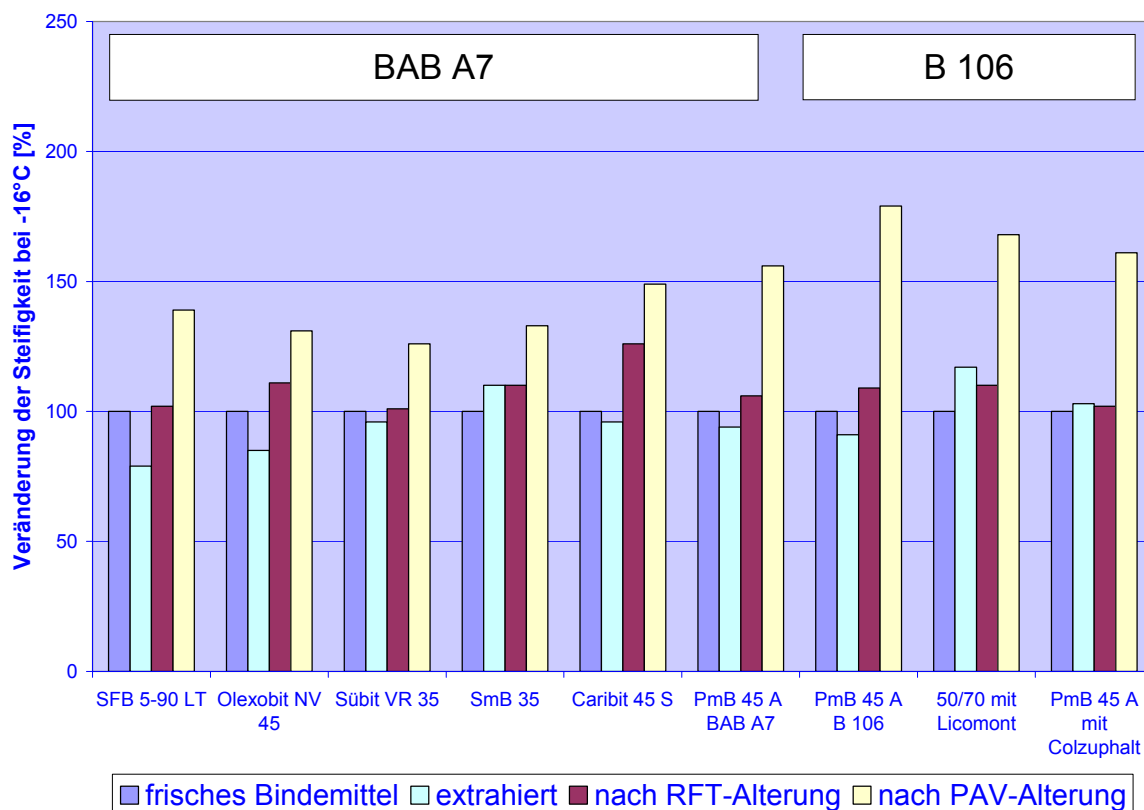


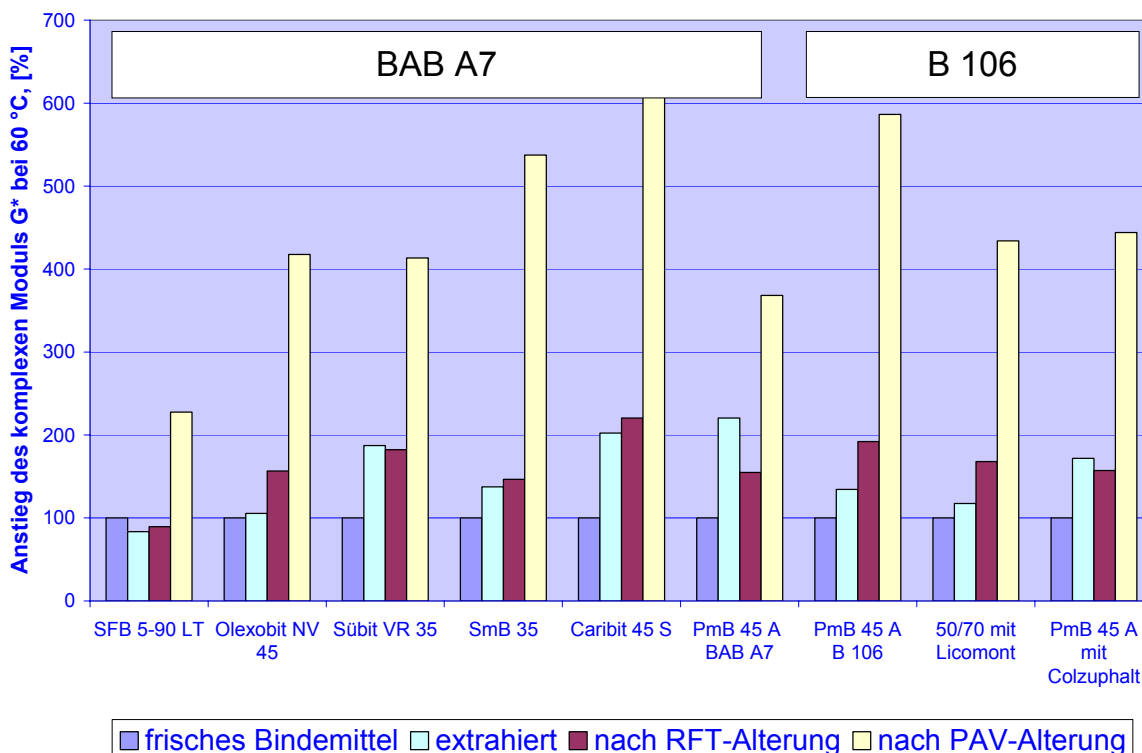
Abbildung 43: Bindemittel Splittmastixasphalte, prozentuale Veränderung der Biegebalkensteifigkeit bei verschiedenen Alterungsstufen

## 9.1.2 Langzeitverhalten dargestellt am Beispiel des komplexen Moduls $G^*$ und des Phasenwinkels $\delta$

Wie in 9.1.1 dargestellt kann das Langzeitverhalten anhand der Tieftemperatureigenschaften gut beurteilt werden. Im oberen Gebrauchstemperaturbereich ist eine Beurteilung mit dem Erweichungspunkt RuK nur bedingt möglich. Üblicherweise nehmen bei der oxidativen Alterung eines Bindemittels die Erweichungspunkte RuK zu. Die Bestimmung des Erweichungspunktes ist gerade bei modifizierten Bindemitteln teilweise problematisch und führt zu Fehlinterpretationen. Mit dem im DSR gemessenen komplexen Modul  $G^*$  bei 60 °C liegt eine „Performance“-Eigenschaft der Bindemittel vor, die in Verbindung mit dem Phasenwinkel  $\delta$  auch für den oberen Temperaturbereich eine Beurteilung des Langzeitverhaltens ermöglicht.

Betrachtet man die in Abbildung 44 dargestellte prozentuale Zunahme der Steifigkeit bei den verschiedenen Alterungsstufen, so erfahren zwei Bindemittel der BAB A7 im Vergleich zum Referenzbindemittel einen größeren Zuwachs. Das PmB 45 A der Versuchsstrecke B 106 zeigt allerdings eine ähnlich hohe prozentuale Zunahme wie die additivierten Bindemittel. Es wird wiederum deutlich, dass die Alterung der

Bindemittel durch die Additivierung nicht negativ beeinflusst wird und somit nicht mit einem schlechteren Langzeitverhalten der viskositätsabgesenkten Bindemittel zu rechnen ist.

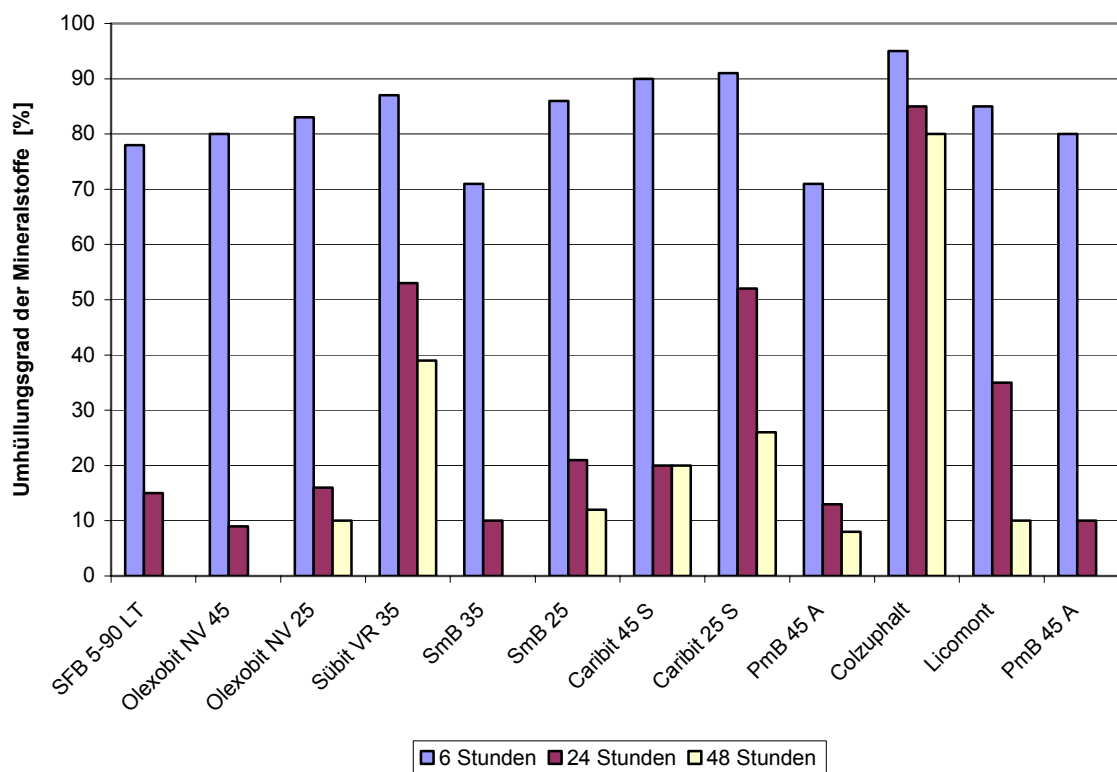


**Abbildung 44:** Bindemittel Splittmastixasphalte, prozentualer Anstieg des komplexen Moduls  $G^*$  bei 60 °C bei verschiedenen Alterungsstufen

### 9.1.3 Affinität, Flaschen-Rollverfahren

Neben dem Nachweis des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Mineralstoff über den in Abschnitt 8.6 beschriebenen Spaltzugversuch vor und nach Wasserlagerung kann die Affinität auch mit dem Flaschen-Rollverfahren gemäß DIN EN 12697-11 angesprochen werden. Dabei wird eine definierte Menge (510 g) eines Mineralstoffs der Körnung 8/11 mit 16,0 g Bitumen gemischt und anschließend in einer Glasflasche mit Wasser auf einem Rollgerät mit 60 Umdrehungen je Minute gerollt. Die Bitumenmenge wird dabei in Abhängigkeit der Rohdichte des Gesteins variiert. Damit soll sichergestellt werden, dass immer gleich dicke Bindemittelfilme erreicht werden. Nach jeweils 6 und 24 Stunden werden die Mineralstoffe in Glasschalen mit klarem Wasser umgefüllt und der verbliebene Umhüllungsgrad geschätzt. Dieser Vorgang kann nach 48 und 72 Stunden wiederholt werden. Das Verfahren ist ein Schätzverfahren, das in hohem Maße von der

Erfahrung des Prüfpersonals abhängig ist. Die hier durchgeführten Versuche wurden an der Prüfkörnung 8/11 mit einem hellen haftkritischen Gestein (Labradorit) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 45 aufgeführt. Wenn sich eine Restumhüllung von lediglich 10 % ergab, wurden die Versuche schon nach 24 Stunden abgebrochen. Die mit Abstand besten Werte werden bei dem mit dem Haftverbesserer Colzuphalt additvierten PmB 45 A gefunden. Eine absolute Beurteilung erfolgt aufgrund des fehlenden Bewertungshintergrundes nicht. Die verwendeten TA-Bindemittel liefern im Vergleich zu den in den Referenzabschnitten verwendeten PmB 45 A gleiche oder bessere Werte, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Hafteigenschaften des Bindemittels durch die Additivierung nicht negativ beeinflusst wird. Diese Aussage wird durch die an Spaltzugversuchen gewonnenen Ergebnisse bestätigt. Eine Korrelation zwischen den Ergebnissen beider Prüfverfahren besteht nicht.



**Abbildung 45:** Umhüllungsgrad der Mineralstoffe in Abhängigkeit von der Bindemittelart und Beanspruchungsdauer im Flaschen-Rollversuch gemäß DIN EN 12697:11

## 9.1.4 Kraftduktilität

Mit der Kraftduktilitätsprüfung wird die Bruchenergie einer Bindemittelprobe erfasst. Sie gibt Auskunft über die Kohäsion und damit über die zwischenmolekularen Wechselwirkungen der im Bitumen enthaltenen Stoffgruppen. Bei der Prüfung werden der Ausziehweg und die Zugkraft über die gesamte Dauer des Ausziehvorgangs kontinuierlich erfasst und ausgewertet. Ergebnis des Versuchs ist die Kraft-Verformungskurve. Die Fläche unter der Kurve stellt die Formänderungsarbeit dar. Das Prüfverfahren ist sehr gut geeignet, nicht modifizierte und polymermodifizierte Bindemittel voneinander zu unterscheiden. Insbesondere kann mit dieser Prüfmethode am Verlauf der Kraftverformungskurve beurteilt werden, ob und in welchem Umfang sich die verwendeten Polymere durch die Alterung verändern.

Üblicherweise steigen die unter der Kraft-Verformungskurve ermittelten Energiewerte mit zunehmender Alterung an. Dies gilt sowohl für Normenbitumen als auch für herkömmliche PmB. An höher polymermodifizierte Bindemitteln wird bei zunehmender Alterung eine Abnahme der Energiewerte festgestellt, der auf eine Veränderung der Polymere zurückzuführen ist. Während die Kurvenverläufe von Normenbitumen jeweils ein Maximum aufweisen, ist für die Kraft-Verformungskurve von PmB ein weiteres Maximum, hervorgerufen durch die Polymerketten, charakteristisch. Der Anstieg der Energiewerte ist in der Regel auf die Alterung des Bitumens zurückzuführen. Daher wird auch für PmB lediglich ein Anstieg des ersten Maximums zu erhöhten Energiewerten führen. Die an den Bindemitteln festgestellten Energiewerte können also nicht absolut verglichen werden sondern müssen getrennt nach „Sorten“ betrachtet werden. Abbildung 46 zeigt am Beispiel der in der Deckschicht der BAB A7 verwendeten Bindemittel die Kraft-Verformungskurven im frischen Zustand. Der beschriebene Unterschied zwischen Normenbitumen und PmB bzw. PmB-H wird deutlich. Weiterhin kann man anhand der ersten Maxima der Kurven von Caribit 45 S und Olexobit NV 45 im Vergleich zum nicht additvierten PmB 45 A deutlich die versteifende Wirkung der Wachsadditive erkennen. Sübit VR 35 hat die höchste maximal Kraft aller in der Deckschicht verwendeten Bindemittel.

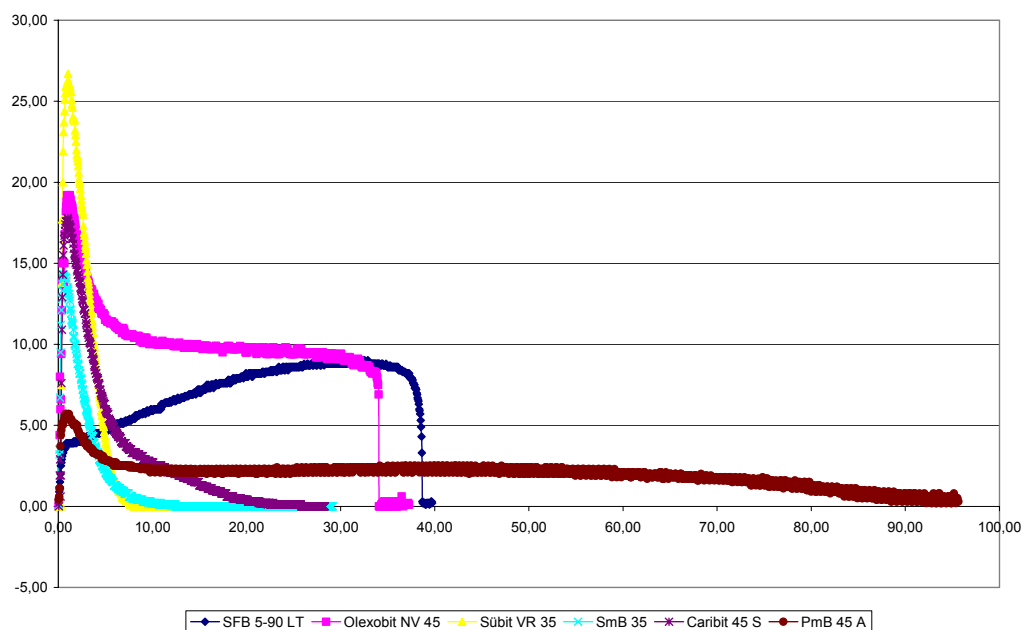


Abbildung 46: BAB A7, SMA 0/11 S, Kraft-Verformungskurven der frischen Bindemittel

Abbildung 47 und Abbildung 48 zeigen die Veränderung der gefundenen Energiewerte in den verschiedenen Alterungsstufen für sämtliche Bindemittel. Für die additvierten Normenbitumen ist durchgängig ein Anstieg der Energiewerte nach Alterung festzustellen. Für die Bindemittel SFB 5-90 LT und Olexobit NV 45 nimmt die Energie nach PAV-Alterung ab. Das Caribit 45 S verhält sich ähnlich wie die auf der Referenzstrecke verwendeten PmB. Grundsätzlich scheint sich die Additivierung nicht negativ auf die Verformungsarbeit auszuwirken.

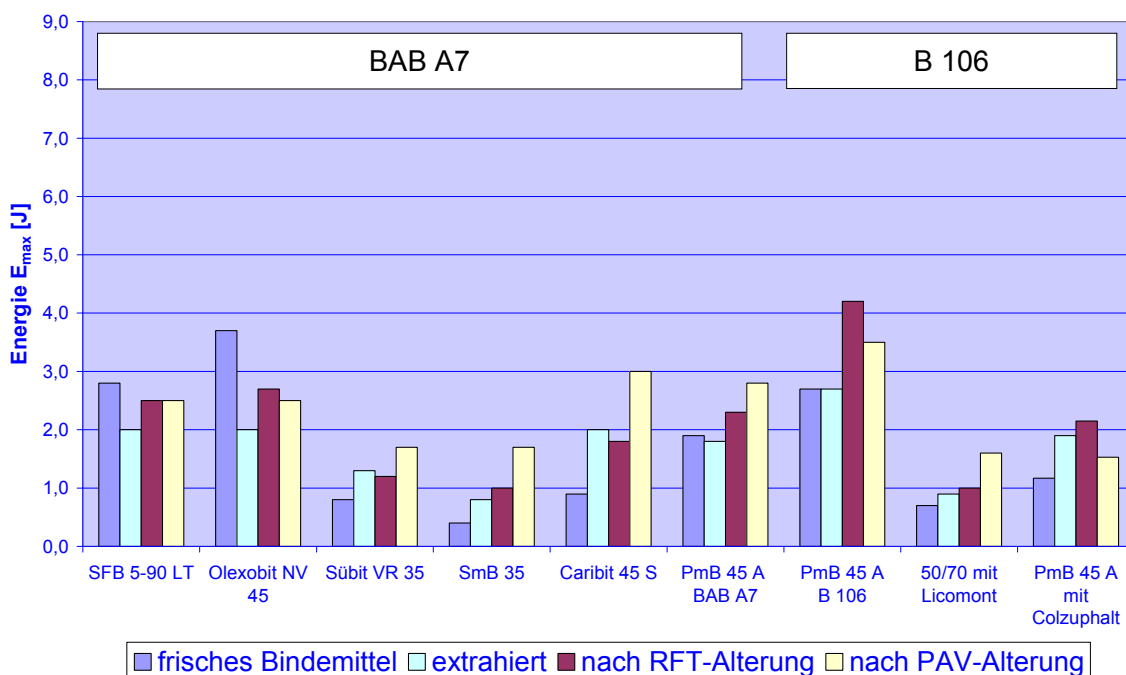


Abbildung 47: Bindemittel Splittmastixasphalte, Energiewerte bei verschiedenen Alterungsstufen

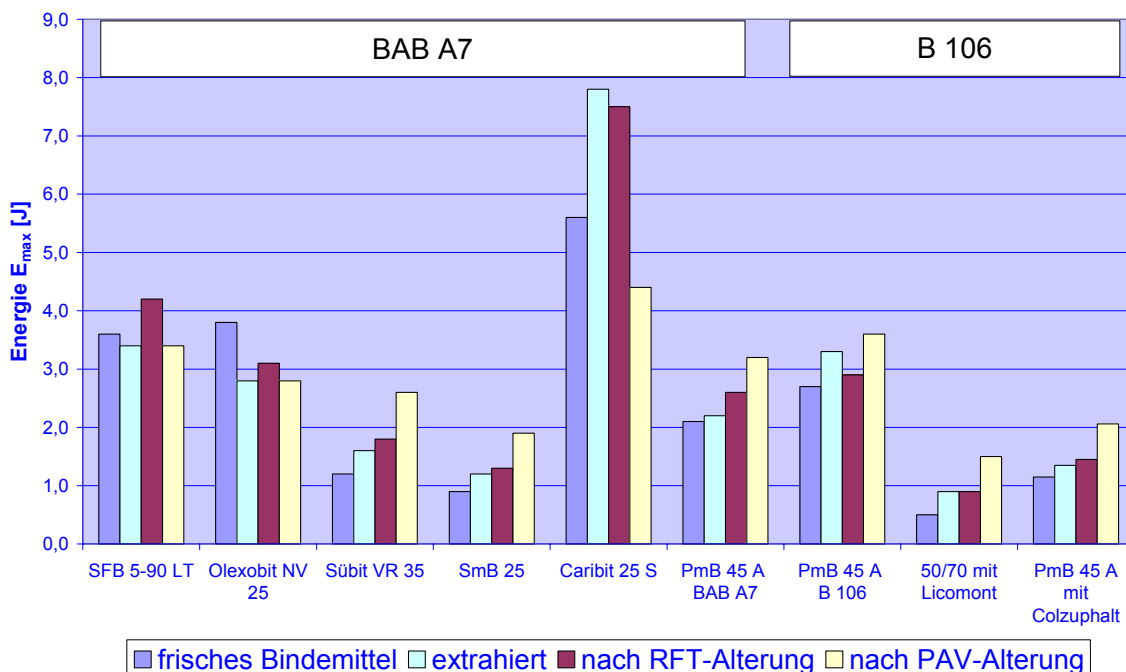
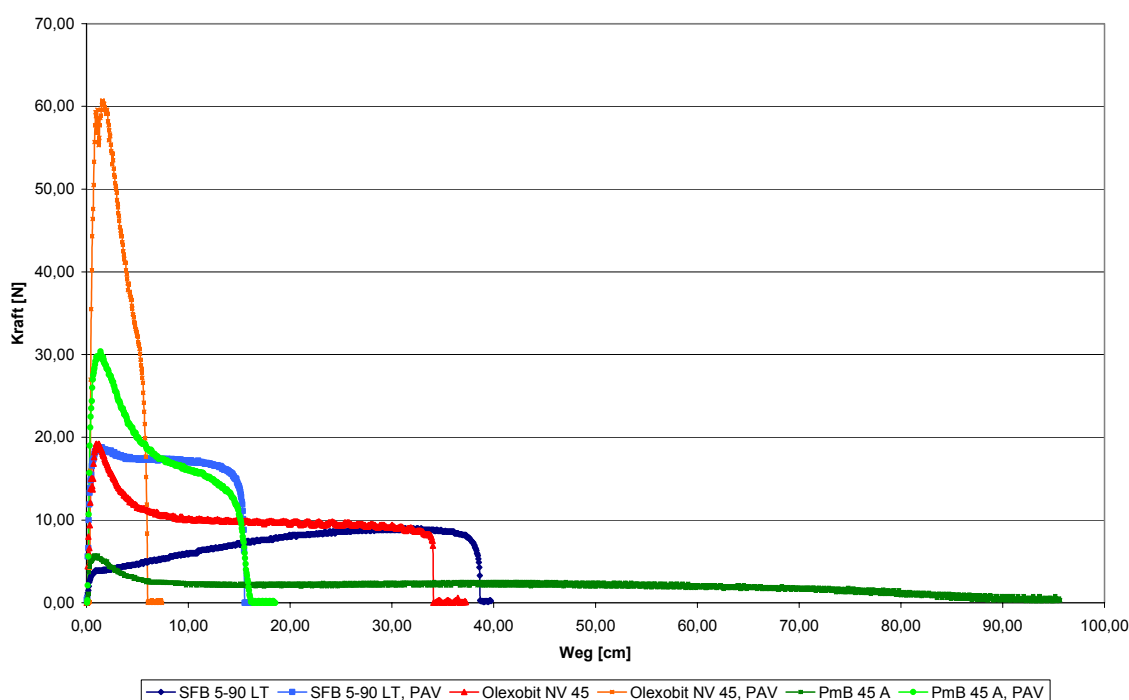


Abbildung 48: Bindemittel Asphaltbinder, Energiewerte bei verschiedenen Alterungsstufen

Am Beispiel der drei Bindemittel SFB 5-90 LT (PmB-H), Olexobit NV 45 und PmB 45 A der Referenzstrecke werden in Abbildung 49 die Kraftverformungskurven im frischen und PAV-gealterten Zustand nebeneinander

dargestellt. Durch die Alterung nimmt für alle Bindemittel die Duktilität ab und die registrierte Kraft zu. Die Kurvenverläufe nähern sich denen von nicht modifizierten Bindemitteln an. Besonders ausgeprägt wird dies für das Olexobit NV 45 deutlich. Ob die starke Versteifung auf das eingesetzte Wachsadditiv zurückzuführen ist kann nicht endgültig geklärt werden. Die Veränderungen beim SFB 5-90 LT entsprechen denen des PmB 45 A, sodass auch anhand der Kraftverformungskurven nicht auf negative Auswirkungen im Langzeitverhalten durch die Wachsadditivierung geschlossen werden kann.



**Abbildung 49:** Veränderung der Kraft-Verformungskurven nach PAV-Alterung, Beispielhaft für die Bindemittel SFB 5-90 LT, Olexobit NV 45 und PmB 45 A

## 9.1.5 Viskositätsmessung mit dem DSR

Die Temperaturabsenkung am Asphalt wird durch eine Absenkung der Bindemittelviskosität im Herstellungs- und Verarbeitungstemperaturbereich möglich. Daher stellt die Viskosität das entscheidende Kriterium der Eignung eines Bindemittels zur Temperaturabsenkung dar. Üblicherweise beträgt die Verarbeitungsspanne zwischen Herstellung im Mischwerk und mittlerer Verdichtungstemperatur ca. 30 K. Daraus ergibt sich die logische Forderung, dass diese Spanne auch bei TA-Bindemitteln zur Verfügung stehen muss, um nicht das Risiko einseitig auf die Einbauseite zu verlagern. Bei der auf den Versuchsstrecken vorgeschriebenen



Herstelltemperatur von maximal 145 °C müssen demnach die TA-Asphalte noch bei Temperaturen um 115 °C ausreichend verdichtbar sein. Die Viskositätskurve der „viskositätsabgesenkten“ Bindemittel muss also bis zu dieser Temperatur als Mindestanforderung unterhalb der Kurve der Referenzbindemittel verlaufen, damit eine Temperaturabsenkung theoretisch möglich wird.

Im Rahmen der Bindemitteluntersuchungen wurden die Viskositäten mit einem Kegel-Platte-Meßsystem CP 4/40 durchgeführt. Der Kegel hat einen Durchmesser von 40 mm und einen Winkel von 4°. Das Kegel-Platte System besteht aus einem rotierenden Kegel und einer unteren feststehenden Platte. Die Messungen werden schubspannungsgesteuert bei Temperaturen von 100 °C bis 180 °C in Intervallen von 10 K durchgeführt. Um den Einfluss der Längenausdehnung des Messkegels während der Messung zu minimieren, wurde der Nullabgleich bei einer Temperatur von 140 °C durchgeführt. Die Proben wurden ebenfalls bei 140 °C aufgebracht. Danach wurde die Probe abgekühlt bzw. erwärmt und eine Temperierzeit bis zum Start der Messung von mindestens 15 Minuten eingehalten. Die Prüfanweisung ist in Anlage 15 enthalten.

An die dynamische Bindemittelviskosität werden im Regelwerk keine Anforderungswerte gestellt. Die Mischviskosität von Bindemitteln soll zwischen 0,1 und 0,2 Pa s liegen [Shell, Tabellen 2006, S. 28]. Von reinen Destillationsbitumen 30/45, 50/70 oder 70/100 wird diese Spanne bei Mischtemperaturen von 160 °C bis 170 °C eingehalten. Ein PmB 45 A erreicht diese dynamische Viskosität erst bei einer Mischtemperatur von 190 °C bis 200 °C. Für die hier eingesetzten TA-Asphalte ist eine Herstelltemperatur von < 145 °C vorgeschrieben. Bei dieser Temperatur liegen die dynamischen Viskositäten zwischen 0,3 Pa s und 2,4 Pa s (BAB A7) bzw. 0,2 Pa s und 0,75 Pa s (B 106), wie Abbildung 50 und Abbildung 51 zeigen.

Von den auf der BAB A7 für den Splittmastixasphalt verwendeten Bindemitteln liegen lediglich zwei Bindemittel (SmB 35 und Sübit VR 35) unterhalb der Viskositätskurve des Referenzbindemittels PmB 45 A. Bei 145 °C haben sie dynamische Viskositäten von 0,3 bis 0,48 PA s. Der weitere Viskositätsverlauf dieser beiden Bindemittel weist bei 120 °C (Sübit VR 35) bzw. 110 °C (SmB 35) einen leichten Knick auf. Das ist die Temperatur, bei der die Kohlenwasserstoffmoleküle beginnen aus zu kristallisieren. Die Kristallisationstemperatur ist abhängig von der Länge der Kohlenwasserstoffketten. Da ein Wachs unterschiedlich lange Molekülketten enthält, erfolgt die Kristallisation nicht bei einer exakt definierten Temperatur sondern in einem mehr oder weniger großen Temperaturbereich.

Der Viskositätsverlauf des Caribit 45 S folgt bis zu einer Temperatur von 130 °C dem des Referenzbindemittels PmB 45 A. Mit weiter abnehmender Temperatur erreicht dieses Bindemittel bei ca. 120 °C die Kristallisationstemperatur. Olexobit NV 45 und SFB 5-90 LT haben eine deutlich höhere Viskosität. Sie erreichen erst bei einer Temperatur von ca. 190 °C bis 200 °C die angestrebte Viskosität von 0,1 bis 0,2 Pa s und sind damit in der vorliegenden Bindemittelformulierung für eine Absenkung der Herstellungstemperatur nicht geeignet.

Abbildung 50 zeigt die ermittelten Viskositätsverläufe. Die an den für die Asphaltbinder der BAB A7 verwendeten Bindemitteln ermittelten Viskositäten sind in Anlage16 aufgeführt.

In Abbildung 51 sind die Viskositätskurven der auf der B 106 verwendeten Bindemittel dargestellt. Für das mit Licomont additivierte Bindemittel ist bei 120 °C ein deutlicher Knick der Kurve zu erkennen, bei der das Wachs beginnt aus zu kristallisieren. Die Viskositätskurve des mit Colzuphalt additivierten Bindemittels ist insofern irreführend, als die viskositätsabsenkende Wirkung dieses Additivs nach Herstellerangaben nur in Verbindung mit den Mineralstoffen eintritt. Insofern sind Untersuchungen am reinen Bindemittelsystem nicht zielführend. Gleichwohl kann auch hier festgestellt werden, dass eine wenn auch geringe Viskositätsabsenkung gegenüber dem Grundbitumen – hier das PmB 45 A – zu beobachten ist.

Für die Festlegung einer Anforderung an die dynamische Viskosität ist folgende Überlegung hilfreich: nach DIN 1996, Teil 4 sind die Marshallkörper von Asphalten mit Straßenbaubitumen bei einer Temperatur von 135 °C  $\pm$  5 °C herzustellen. Bei unbekanntem Bindemittel ist eine Verdichtungstemperatur zu wählen, die einer dynamischen Viskosität von 0,5 bis 0,6 Pa s (= 500 bis 600 mm<sup>2</sup>/s) entspricht. Die Verdichtungstemperatur von 135 °C  $\pm$  5 °C entspricht in etwa der Temperatur, bei der bei herkömmlichen Asphalten am Einbauort die Verdichtung unter ungünstigen Bedingungen beginnt. Bei den TA-Asphalten begann die Verdichtung bei ca. 130 °C. Bei dieser Temperatur sollte die dynamische Viskosität höchstens 0,5 bis 0,6 Pa s betragen. Aus den Viskositätsmessungen ergibt sich, dass nur folgende Bindemittel für eine Temperaturabsenkung geeignet sind: SmB 25 und SmB 35, Sübit VR 35 und 50/70 mit Licomont.

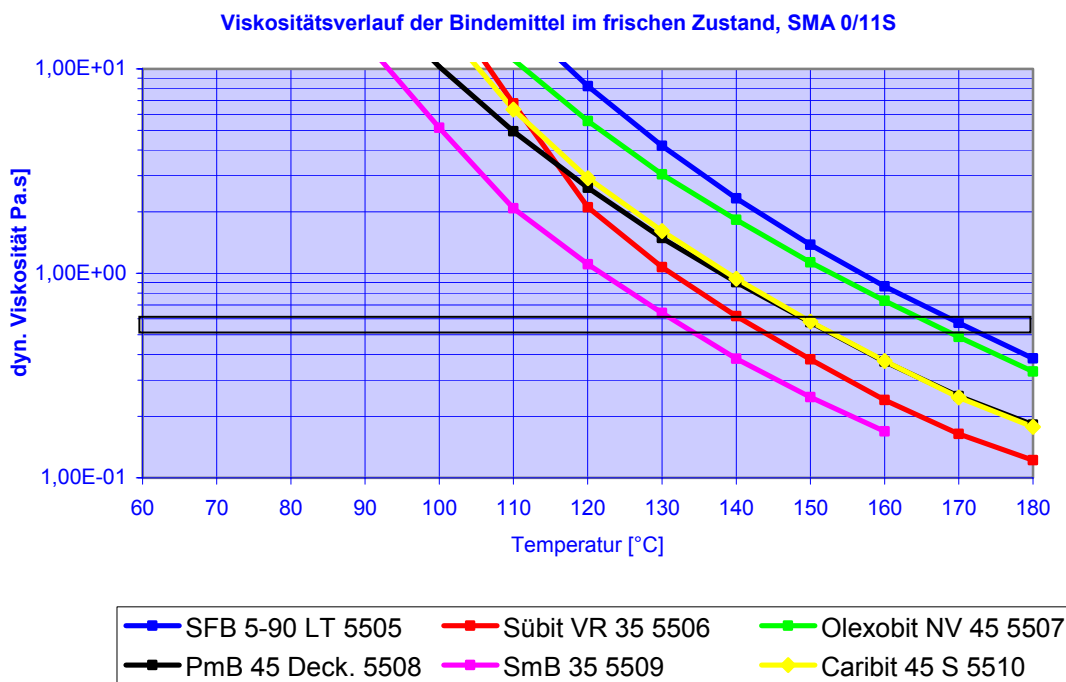


Abbildung 50: BAB A7, SMA 0/11 S, dynamische Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur

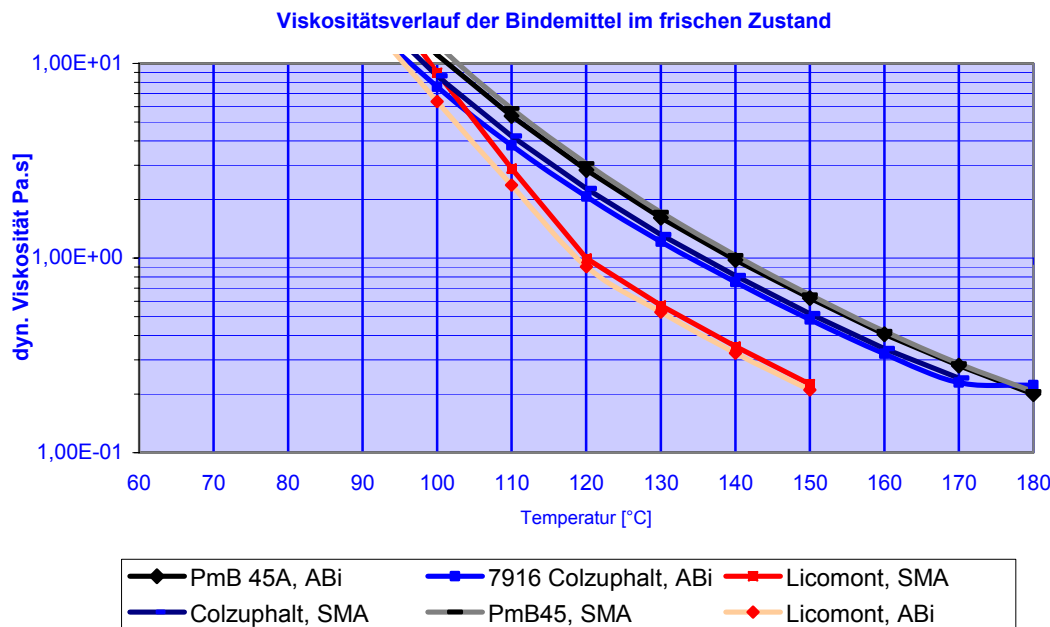


Abbildung 51: B 106, Abi 0/16 S und SMA 0/8 S, dynamische Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur

## 9.2 Nachweis der Additivierung mittels IR-Spektroskopie

Im Labor der IFTA Institut für technische Analytik, Essen wurde untersucht, inwieweit die Additivierung der Bindemittel mit Hilfe der IR-Spektroskopie nachgewiesen werden kann.

Um zunächst einen Überblick über die verwendeten Bindemittel zu erhalten, wurden Siedeanalysen durchgeführt. Dabei wurden die Bindemittel extrakte mittels on-column-Injection direkt über eine unpolare und unbeschichtete Kapillarsäule gegeben, dort nach Siedepunkten getrennt und mittels Gaschromatographie detektiert. Als Ergebnis liegt für jedes Bindemittel eine Siedeanalyse vor, anhand derer die Zusammensetzung der Kohlenwasserstoffe bzw. eine Aufteilung nach Molekülgröße abgeleitet werden kann.

**Tabelle 60:** Siedeanalysen der verwendeten Bindemittel

Probenbezeichnung	Siedebereich	Siedebereich	Siedebereich	Siedebereich
	C <sub>25</sub> – C <sub>30</sub>	C <sub>30</sub> – C <sub>40</sub>	C <sub>40</sub> – C <sub>50</sub>	C <sub>50</sub> – C <sub>60</sub>
	[%]	[%]	[%]	[%]
Caribit 25 S	0,28	15,30	46,49	37,92
Caribit 45 S	1,24	19,37	43,75	35,63
Olexobit NV 25	0,19	17,76	42,39	39,66
Olexobit NV 45	0,36	16,95	42,10	40,59
PmB 45 A	1,62	16,32	38,25	43,81
SFB 5-90 LT	2,45	27,10	38,13	32,31
SmB 35	0,73	27,66	39,98	31,64
SmB 25	0,21	22,50	42,28	35,01
Subit VR 35	0,44	15,70	42,81	41,05

Die in Tabelle 60 aufgeführten Ergebnisse der Siedeanalysen zeigen nach Angabe der IFTA Verteilungen in der Zusammensetzung, wie sie für gängige Straßenbaubitumen typisch sind. Im Siedebereich C<sub>25</sub> – C<sub>35</sub> weisen die Bindemittel Caribit 45 S, PmB 45 A sowie SFB 5-90 LT Gehalte auf, die am oberen Rand der Erfahrungswerte der IFTA liegen.

Des Weiteren wurden IR-Untersuchungen zwecks Detektierung der Bindemittel-Additive wie Wachse und oder Polymere durchgeführt. Die IR Analytik erfolgte mittels FTIR/ATR-Spektroskopie (Fourier-Transformations-IR-Spektroskopie mit abgeschwächter Total-Reflexion). Die Spektren wurden mit einer spektralen Auflösung von 4 cm<sup>-1</sup> im Bereich des mittleren Infrarots (MIR) mit einer Scan-Zahl von 64 aufgenommen.

Die Untersuchungen der FTIR/ATR-Spektroskopie ergeben folgende Aussagen zu den einzelnen Frischbindemittelproben.

## Olexobit NV 25 und Olexobit NV 45

Die Spektren zu den Proben Olexobit NV 25 und Olexobit NV 45 weisen eine sehr große Ähnlichkeit auf. In beiden Proben sind Carbonylabsorptionen geringer Intensität zu erkennen, die vermutlich von geringen Zusätzen eines thermoplastischen Polymers stammen. Die Absorption bei  $965\text{ cm}^{-1}$  in beiden Proben ist auf elastomere Zusätze zurückzuführen. Es handelt sich also in beiden Fällen um ein aliphatisch-aromatisches Bitumen, das Zusätze eines thermoplastischen Copolymers und Polybutadien enthält. Die Verteilung dieses Zusatzes in Olexobit NV25 ist allerdings nicht homogen.

## SFB 5-90 LT

Für die Probe SFB 5-90 LT ergibt sich eine homogene Verteilung der Zusätze. Die bei den Olexobit-Proben beobachteten Carbonylabsorptionen sind hier aber ausgeprägter zu beobachten. Neben Bitumen ist damit als größte Nebenkomponente ein thermoplastisches Copolymer ermittelt worden.

## Sübit VR 35

Bei Subit VR 35 handelt es sich um ein aliphatisch-aromatisches Kohlenwasserstoffgemisch, das ebenfalls zusätzlich ein aliphatisches Amid-Wachs enthält. Der Vergleich mehrerer Spektren weist auch auf geringe Inhomogenitäten des Amidwachses in der Bitumenmatrix hin.

## SMB 25 und SMB 35

Die FTIR/ATR Spektren der Proben SMB 25 und SMB 35 sind bei optischem Vergleich dem Spektrum einer Bitumenprobe ohne Zusatzstoffe sehr ähnlich. Über ein Subtraktionsverfahren der Spektren lässt sich bei der Probe SMB 25 (weniger ausgeprägt bei der Probe SMB 35) feststellen, dass hier sehr wahrscheinlich Zusätze eines Fischer-Tropsch-Wachses vorhanden sind.

## Caribit 25 S

Es wurden insgesamt fünf FTIR/ATR Spektren der Probe Caribit 25 S aufgenommen, die darauf hindeuten, dass die Probe Caribit 25 S nicht homogen ist und geringe Mengen eines aliphatischen Amid-Wachses enthält. Die Intensität der Amid-Wachs charakteristischen Absorptionsbanden zeigt, dass der Gehalt schwankt. Die Absorption bei  $965\text{ cm}^{-1}$  ist auf Polybutadien- Anteile zurückzuführen. Bei Caribit 25 S handelt es sich um ein Gemisch von Bitumen, einem aliphatischen Amid-Wachs, sowie geringen Mengen von Polybutadien und anorganischem Carbonat.

## Caribit 45 S

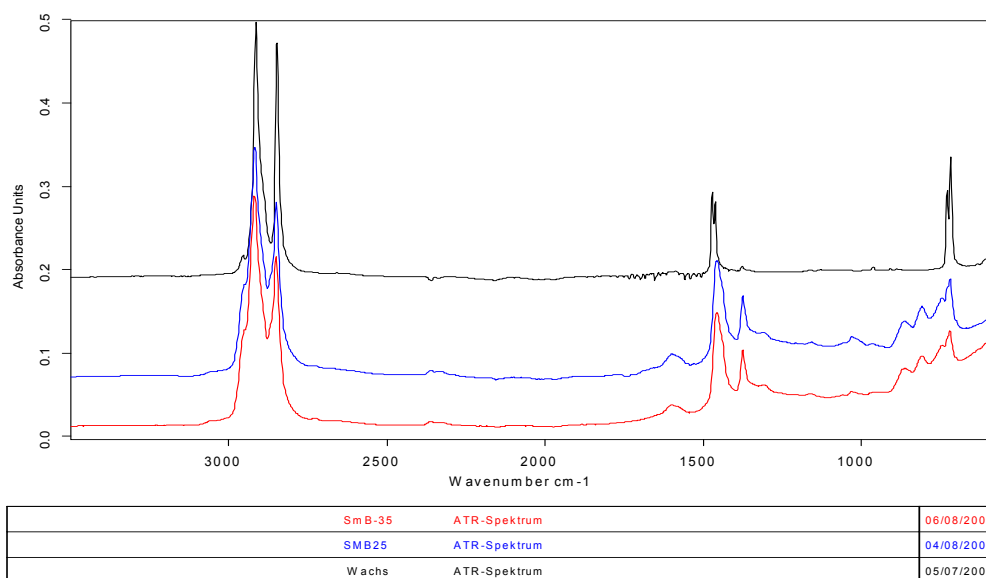
Auch bei dieser Probe ist eine deutliche Inhomogenität des enthaltenen aliphatischen Amid-Wachses festzustellen. Die Absorption bei  $965\text{ cm}^{-1}$  ist auch hier auf geringe Mengen eines beigemischten

Polybutadiens zurückzuführen. Caribit 45 S entspricht also in seiner Zusammensetzung einem Gemisch von MexCompound 45, einem aliphatischen-aromatischen Kohlenwasserstoffgemisch mit einem aliphatischen Amid-Wachs-Zusatz und geringen Mengen Polybutadien.

## PmB 45 A

Die zwei aufgenommenen Spektren der Probe PmB 45 A belegen, dass es sich um ein aliphatisch-aromatisches Bitumen handelt. Die Absorption bei  $965\text{ cm}^{-1}$  ist vermutlich auf geringe Mengen eines beigemischten Polybutadiens zurückzuführen.

Abbildung 52 zeigt beispielhaft FTIR/ATR-Spektren von SmB 25, SmB 35 und Fischer-Tropsch-Wachs. Für die übrigen Bindemittel sind die Spektren in Anlage 17 zusammengestellt.



**Abbildung 52:** FTIR/ATR-Spektren, qualitativ vergleichend, SmB 25, SmB 35 und Fischer-Tropsch-Wachs

Die Untersuchungen belegen, dass der Nachweis von kristallin-aliphatischen Wachsen wie Fischer-Tropsch-Wachs und Amidwachsen qualitativ mittels FTIR/ATR-Spektroskopie gelingt.

## 10 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die an BAB A7 und B 106 durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass es zielsicher möglich ist, Walzasphalte – hier Asphaltbinder 0/16 S und Splittmastixasphalt 0/11 S und 0/8 S - unter Verwendung viskositätsabgesenkter Bindemittel bei einer um 20 - 30 K abgesenkten Temperatur, d.h. bei 140 °C bis 145 °C herzustellen, einzubauen und zu verdichten. Die Viskositätsabsenkung kann dabei durch die Zugabe von Wachsen oder einem speziellen Haftverbesserer erreicht werden. Es können sowohl handelsfertige Bindemittel verwendet werden als auch eine Additivierung direkt an der Mischanlage erfolgen. Bei der Additivierung an der Mischanlage vermindert sich die Stundenleistung der Mischanlage durch eine höhere Nassmischzeit um ca. 30 %, die die homogene Verteilung des Additivs sicherstellen soll bzw. durch die händische Zugabe der Additive erforderlich wird. Zwischen den verwendeten Bindemittelsystemen wurden teilweise erhebliche Unterschiede im Misch- und Einbauverhalten festgestellt. Die Bindemittelviskosität oberhalb ca. 110 °C ist dabei die entscheidende Bindemittelleigenschaft zur Beurteilung der Eignung als TA-Bindemittel.

Die Absenkung der Herstellungs- und Verarbeitungstemperatur führt zu einer stark reduzierten Emission von Bitumendämpfen und Aerosolen. Sie liegt im Bereich der messtechnischen Nachweisgrenze. Bei beiden Versuchsstrecken liegen die gemessenen Werte der Referenzstrecken aufgrund der günstigen Witterungsverhältnisse ebenfalls auf einem sehr niedrigen Niveau von < 10 mg/m<sup>3</sup> Luft. Eine Energieeinsparung konnte nur in einem geringen Umfang realisiert werden. Das Einsparpotential beträgt insgesamt ca. 10 %. Die Mineralstoffe werden zwar auf eine um ca. 20 bis 30 K niedrigere Temperatur erhitzt, wodurch eine deutliche Brennstoffeinsparung möglich ist. Diese wird aber weitestgehend durch eine deutlich längere Nassmischzeit kompensiert, die erforderlich ist, um die Mineralstoffe bei der niedrigeren Temperatur ausreichend und gleichmäßig zu umhüllen. Dies gilt insbesondere für die additivierten PmB - Bindemittel und bei händischer Zugabe der Additive an der Mischanlage.

Für TA-Asphalte sind erweiterte Eignungsprüfungen vorzunehmen, die das unterschiedliche Verdichtungsverhalten dieser Asphalte bei niedrigeren Temperaturen erfassen. Das Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt, M TA enthält eine Anleitung zur Durchführung erweiterter Eignungsprüfungen. Die beschriebene Vorgehensweise ist insbesondere bei Asphalten mit hohen Bindemittelgehalten notwendig, weil sich hier die Effekte der Viskositätsabsenkung in stärkerem Maß auswirken. Weiterhin wird explizit darauf hingewiesen, dass eine gemäß M TA angefertigte Eignungsprüfung immer nur für das verwendete Bindemittel gelten kann. Ein Austausch des Bindemittels ist nicht ohne erneuten Eignungsnachweis möglich, da sich die Bindemittel in ihren Eigenschaften stark unterscheiden können und dadurch zu deutlich unterschiedlichen optimalen Bindemittelgehalten führen können.



Durch die Temperaturabsenkung werden die Griffigkeit und die Ebenflächigkeit nicht negativ beeinflusst. Insbesondere die mit Wachsen additivierten Asphalte weisen in Laborversuchen eine sehr hohe Wärmestandfestigkeit auf, ohne dass die Eigenschaften bei tiefen Temperaturen nachteilig beeinflusst werden.

Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den TA-Bindemitteln und den Referenzbindemitteln PmB 45 bei der Affinität zwischen Bitumen und Gestein festgestellt werden. Bei den Spaltzugversuchen vor und nach Wasserlagerung war der Abfall der Spaltzugfestigkeit der Referenzasphalte tendenziell etwas geringer, im Flaschenrollversuch zeigten die TA-Bindemittel jedoch ein leicht günstigeres Verhalten.

Der Schichtenverbund ist bei ordnungsgemäßigem Einbau sehr hoch und den Referenzvarianten gleichwertig.

Für die Festlegung der Verdichtungstemperatur zur Ermittlung der Referenzraumdicke am Marshallprobekörper zur Berechnung des Verdichtungsgrades müssen die Eigenschaften des verwendeten Bindemittelsystems berücksichtigt werden. Gemäß M TA wird diejenige Temperatur gewählt, bei der mit dem viskositätsabsenkenden Bindemittel die gleiche Raumdicke am Marshallkörper erreicht wird, wie mit einem Referenzbindemittel bei der nach den ZTV Asphalt-StB 01 vorgegebenen Verdichtungstemperatur. Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass immer eine Eignungsprüfung mit einem Referenzbindemittel als Ausgangspunkt der Betrachtung vorliegen muss und sich der Bindemittelgehalt durch die Verwendung eines TA-Bindemittels nicht ändert.

Die für die Versuchsstrecke BAB A7 gewählte Vorgehensweise mit einer Kopplung an einen Sollhohlraumgehalt von 4 Vol.-% für Splittmastixasphalte stellt ebenfalls eine gute Möglichkeit zur Ermittlung der relevanten Verdichtungstemperatur bei der Herstellung der Marshallprobekörper dar.

Der verwendete Haftverbesserer auf der B 106 verändert die Bindemittelleigenschaften entgegen den Herstellerangaben zur weichen Seite, obwohl die viskositätsabsenkende Wirkung erst im Zusammenwirken mit den Mineralstoffen eintreten soll. Die Veränderungen führen zu keiner Verschlechterung der Asphalteigenschaften, insbesondere nicht der Wärmestandfestigkeit.

Die Additivierung mit Wachsen führt zu Erweichungspunkten RuK, die deutlich über 70 °C liegen können. Bei Kontrollprüfungen muss dieser Umstand berücksichtigt werden, da nicht der Rückschluss auf ein gealtertes bzw. stark nachgehärtetes Bindemittel gezogen werden darf. Eine Unterscheidung ist durch die Ermittlung der Eigenschaften des Bindemittels bei tiefen Temperaturen möglich, insbesondere mittels der Biegebalkensteifigkeit bei – 16 °C.



Die Bestimmung des Erweichungspunktes RuK stellt sich am extrahierten Bindemittel ohnehin als problematisch dar, da die verwendeten Additive unter Umständen trotz verlängerter Extraktionszeit nicht vollständig zurück gewonnen werden. Dies ist im M TA berücksichtigt worden: der Erweichungspunkt RuK ist zwar bei der Kontrollprüfung zu bestimmen und anzugeben, kann zur vertragsrechtlichen Beurteilung jedoch nicht herangezogen werden.

Die Additivierung mit Wachsen wirkt sich in geringem Maß negativ auf das elastische Verhalten der Bindemittel aus, wobei jedoch bei additivierten PmB die Anforderungen der TL PmB stets eingehalten werden. Die Messungen mit dem DSR (komplexer Modul  $G^*$  und Nullscherviskosität  $ZV_0$ ) sind für die Ansprache der versteifenden Wirkung der Wachse und zur Beurteilung des elastischen Verhaltens besonders geeignet.

Zur Beurteilung des Verhaltens bei tiefen Temperaturen eignet sich aufgrund der gegenüber dem Brechpunkt nach Fraass deutlich geringeren Prüfstreuung besonders die Messung mit dem Biegebalkenrheometer BBR. Die mit beiden Verfahren ermittelten Ergebnisse zeigen eine brauchbare Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von  $R = 0,6772$  auf. Es ist daher bei beiden Versuchsstrecken nicht mit thermisch bedingter Rissbildung zu rechnen.

Das Alterungsverhalten der untersuchten Bindemittelsysteme ist bis auf eine Ausnahme gegenüber dem Referenzbindemittel PmB 45 A als gleichwertig bzw. günstiger zu beurteilen. Sollten sich während der achtjährigen Beobachtung der Versuchsstrecken Nachteile hinsichtlich des Langzeitverhaltens bei den TA-Asphalten ergeben, so dürften diese mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf die Bindemittelsysteme selbst zurückzuführen sein sondern vielmehr auf den Verdichtungszustand bzw. auf den erreichten Endhohlraumgehalt.

Bei der temperaturabgesenkten Bauweise ist der Verdichtung besonderes Augenmerk zu widmen. Wegen der abgesenkten Temperatur hat die zu verdichtende Schicht ein geringeres Wärmepotential. Dadurch wird die zur Verfügung stehende Verdichtungszeit verkürzt. Aus diesem Grund sollte bei dieser Bauweise in jedem Fall die Anzahl der Verdichtungswalzen erhöht werden, um eine Verdichtung direkt hinter der Fertigerbohle sicherzustellen. Das für die Verdichtung zur Verfügung stehende verkürzte Zeitfenster kann im Labor mit dem Verdichtungsversuch nach Renken nicht nachgewiesen werden: die an Marshallprobekörpern ermittelten Verdichtungswiderstände  $D$  weisen zwar auch bei Temperaturen unter  $120^\circ\text{C}$  auf eine noch günstige und gleich bleibende Verdichtungswilligkeit hin, was jedoch mit den auf den Versuchsstrecken subjektiv gewonnenen Eindrücken nicht übereinstimmt. Die an den Bindemitteln ermittelten Viskositäten und die an der fertigen Schicht nachgewiesenen Hohlraumgehalte zeigen allerdings deutlich, dass bei einer um

30 K abgesenkten Herstellungstemperatur einige Bindemittelsysteme eines deutlich erhöhten Verdichtungsaufwandes bedurft hätten.

Um die asphalttechnologischen und verfahrenstechnischen Vorteile der Additivierung insbesondere mit Wachsen voll ausschöpfen zu können, ohne dabei das Einbaurisiko zu erhöhen, sollte die Herstellungstemperatur in einem geringeren Maß abgesenkt werden als bei den Versuchsstrecken. Das günstigere Verdichtungspotential könnte bei additivierten Normenbitumen bei einer Temperaturabsenkung auf 140 °C bis 150 °C und bei additivierten PmB bei 150 °C bis 160 °C voll ausgenutzt werden.

## 10.1 Anforderungen an TA-Bindemittel

Im Rahmen der Präqualifikation wurden von den Herstellern Bindemittelleigenschaften angegeben, die sich teilweise deutlich von den tatsächlich bei der Ausführung ermittelten Kennwerten unterscheiden. Sie erfüllen zwar die vertraglichen Anforderungen, wirkten sich aber dennoch nachteilig auf die Misch- und Verarbeitbarkeit der Asphalte aus. Die Bindemittelviskosität bei Temperaturen über ca. 110 °C ist hierbei die für eine mögliche Temperaturabsenkung entscheidende Kenngröße.

Aus den ermittelten Bindemittelleigenschaften der Originalbindemittel beider Versuchsstrecken werden daher Empfehlungen für TA-Bindemittel in Form von „TL - technischen Lieferbedingungen“ entwickelt. Grundlage sind die an den Bindemittelsystemen, die zu einer positiven Gesamtbewertung geführt haben, ermittelten Bindemittelleigenschaften. Die Empfehlungen orientieren sich an der Systematik der TL PmB-01, von der die Anforderungswerte soweit als möglich übernommen werden. In Tabelle 61 sind die „TL VAN“ (Technische Lieferbedingen für viskositätsabsenkende Normenbindemittel) für TA-Bindemittel auf Basis von Normenbitumen aufgeführt. Die in den Splittmastixasphalten verwendeten Bindemittel erfüllen die gestellten Anforderungen, die zu einer Bitumensorte VA 30/45 führen.

Für die in Tabelle 62 aufgeführten TL VA-PmB (Technische Lieferbedingungen für viskositätsabsenkende PmB) werden die Anforderungen für zwei Bindemittelsorten aufgeführt. Die verwendeten Bindemittelsysteme erfüllen diese Anforderungen noch nicht, insbesondere werden die Anforderungen an die Viskosität bei hohen Temperaturen nicht erreicht. Das Bindemittel Caribit 45 S kommt den gestellten Anforderungen dabei am nächsten. Für die Bindemittelhersteller ergibt sich daraus die Notwendigkeit, ihre Bindemittelsysteme nochmals zu verbessern.

**Tabelle 61:** Anforderungen an TA-Bindemittel auf Basis eines Normenbitumens, TL VAN

Lfd.Nr.	Eigenschaft	Dimension	Sorte VA -30/45		Prüfung nach
1	Nadelpenetration (100g,5 s,25 °C)	[ 0,1 mm ]	30 - 45		DIN EN 1426
2	Erweichungspunkt Ring & Kugel	[ °C ]	≥80		DIN EN 1427
3	Brechpunkt nach Fraass	[ °C ]	≤-8		DIN EN 12593
4	Stabilität gegen Entmischung nach Heißlagerung, Differenz der Erweichungspunkte R&K, höchstens	[ °C ]	2		DIN EN 1427 Anhang A
5	Änderung des Erweichungspunktes R&K unter Einfluss von Wärme und Luft, Anstieg höchstens Abnahme höchstens	[ °C ]	5 5		DIN EN12607-3 DIN EN 1427
6	Änderung der Nadelpenetration unter Einfluss von Wärme und Luft, verbleibend mindestens	[ % ]	60		DIN EN 12607-3 DIN EN 1426
7	Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer Steifigkeit bei – 16 °C, höchstens m-Wert	[ Mpa ] [-]	300 ≥0,3		AASHTO TP 1
8	Formänderungsarbeit bei 25 °C mindestens	[ Joule ]	≥0,4		DIN 52013 und Anhang B
9	Verformungsverhalten Dynamisches Scherrheometer DSR mindestens 80 °C 70 °C 60 °C 50 °C 40 °C	[ Pa / ° ]	G* 1250 3650 12000 40300 15000 0	δ ≤75	AASHTO TP 5 und Anhang C
10	Viskosität höchstens 160 °C 150 °C 140 °C 130 °C 120 °C 110 °C 100 °C	[ mPas ]	300 500 800 1500 2700 6800 -		gemäß anliegender Verfahrens- anweisung zur Bestimmung der dynamischen Viskosität von Bitumen

**Tabelle 62:** Anforderungen an TA-Bindemittel auf Basis von PmB, TL VA-PmB

Lfd.Nr.	Eigenschaft	Dimension	Sorte		Prüfung nach		
			VA-PmB 45	VA- PmB 25			
1	Nadelpenetration (100g,5 s,25 °C)	[ 0,1 mm ]	20 – 60	10 – 40	DIN EN 1426		
2	Erweichungspunkt Ring & Kugel	[ °C ]	≥ 70	≥ 80	DIN EN 1427		
3	Brechpunkt nach Fraass	[ °C ]	≤ -10	≤ -10	DIN EN 12593		
4	Elastische Rückstellung bei 25 °C Ziehlänge mindestens	[ % ]	≥ 50	≥ 50	DIN V 52021-1		
		[ cm]	20	10			
5	Stabilität gegen Entmischung nach Heißlagerung, Differenz der Erweichungspunkte R&K, höchstens	[ °C ]	2	2	DIN EN 1427 Anhang A		
6	Änderung des Erweichungspunktes R&K unter Einfluss von Wärme und Luft, Anstieg höchstens Abnahme höchstens	[ °C ]	5	5	DIN EN12607-3 DIN EN 1427		
			5	5			
7	Änderung der Nadelpenetration unter Einfluss von Wärme und Luft, verbleibend mindestens Zunahme höchstens	[ % ]	60	60	DIN EN 12607-3 DIN EN 1426		
			10	10			
8	Elastische Rückstellung bei 25 °C nach Beanspruchung durch Wärme und Luft Ziehlänge mindestens	[ % ] [ cm ]	≥50	≥50	DIN EN 12607-3 DIN V 52021-1		
			20	10			
9	Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer Steifigkeit bei – 16 °C, höchstens m-Wert	[ MPa ] [-]	300 ≥0,3	300 ≥0,3	AASHTO TP 1		
10	Formänderungsarbeit bei 25 °C mindestens	[ Joule ]	≥1	≥1	DIN 52013 und Anhang B		
11	Verformungsverhalten Dynamisches Scherrheometer DSR mindestens 80 °C 70 °C 60 °C 50 °C 40 °C	[ Pa / ° ]	G*	δ	G*	δ	AASHTO TP 5 und Anhang C
			1500		3200		
			4600		8400		
			15000	≤75	>2400	≤70	
			52000		0		
19000		70000					
0		22000					
0		0					
12	Viskosität höchstens 160 °C 150 °C 140 °C 130 °C 120 °C 110 °C 100 °C	[ mPa s ]					gemäß anliegender Verfahrensange- weisung zur Bestimmung der dynamischen Viskosität von Bitumen
			300		300		
			600		1000		
			990		1600		
			1650		3000		
			3050		5500		
			6800		11500		
			17700		32000		

## 11 Ausblick

Die Technologie der Temperaturabsenkung ist ein bedeutender Schritt, um bei der Verarbeitung von Walz – und insbesondere Gussasphalten eine etwaige Umweltbelastung so gering wie irgend möglich zu halten. Die Verfasser sehen in der verminderten Emission von Bitumendämpfen und Aerosolen den überragenden Beitrag zum Umweltschutz, weniger die mögliche Energieeinsparung. Es ist davon auszugehen, dass sich die viskositätsabsenkenden Bindemittelsysteme und Verfahrenstechniken durchsetzen werden, die neben der Temperaturabsenkung auch eine Verbesserung der Gebrauchseigenschaften der Asphaltdecken ermöglichen. Dies ist insbesondere bei solchen Bindemittelsystemen der Fall, bei denen geeignete Wachse verwendet werden.

Um der Technologie zum breiten Durchbruch zu verhelfen, ist es erforderlich, dass der öffentliche Auftraggeber temperaturabgesenkte Bauweisen ausschreibt. Da diese Bauweise gegenüber herkömmlichen Bauweisen zwar kostenaufwendiger ist, hinsichtlich der Gesamtwirtschaftlichkeit aber wegen seiner verlängerten Nutzungsdauer positiv zu bewerten ist, liegt es auch im originären fiskalischen Interesse des Auftraggebers, die temperaturabgesenkten Bauweise auszuschreiben und etwaige Nebenangebote nicht zuzulassen.

Die im Merkblatt TA beschriebene Vorgehensweise zur Erstellung von erweiterten Eignungsprüfungen für bindemittelreiche Asphaltdeckschichten wie z.B. Splittmastixasphalte ermöglicht zwar eine gefahrlose Ermittlung der Asphaltzusammensetzung, die insbesondere eine Bindemittelüberbemessung und damit verbundenen eine Überverdichtung des Asphalttes vermeidet; sie liefert aber noch kein Optimum der Zusammensetzung und schöpft nicht die Potentiale der TA-Asphalte aus. Nachteilig wirkt sich weiterhin aus, dass für jedes Bindemittelsystem individuelle Vereinbarungen für die vertragliche Verdichtungstemperatur bei der Ermittlung des Verdichtungsgrades getroffen werden müssen, was in der Baupraxis zu erheblichen Problemen führen wird. Es ist also noch ein Verfahren für erweiterte und optimierte Eignungsprüfungen zu entwickeln, die die Besonderheiten der viskositätsabgesenkten Bindemittel und der damit verbundenen erhöhten Verdichtbarkeit berücksichtigt, und für Bindemittelsorten einheitliche vertragliche Regelungen ermöglicht, die unabhängig vom Bindemittelhersteller sind.

## Literatur

- [1] Vortrag zum Deutschen Straßen- und Verkehrskongress 2004, Radenberg, (FGSV 001/20), FGSV, Köln, 2004
- [2] Rühl R., „Niedrigtemperaturasphalt – Innovation eines Bauproduktes“, Veröffentlichung des Gesprächskreises Bitumen, Frankfurt 2003
- [3] BG Bau, Expositionsmessungen auf Asphaltbaustellen, unveröffentlicht
- [4] Damm K-W, Abraham J., Butz T., Hildebrandt G., Riebesehl G., „Asphaltverflüssiger als intelligenter Füller für den Heißeinbau – ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise, Zeitschrift Bitumen, Ausgabe 1/02 und 2/02, Hamburg, 2002
- [5] Edwards Y., Tasdemir Y., Isacson U., „Rheological effects of commercial waxes and polyphosphoric acid in bitumen 160/220 – low temperature performance“, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2005
- [6] Rahimian I., Sachs J., „Ersatz des Paraffingehaltes als optionales Anforderungskriterium im Rahmen der europäischen Normung“, Schriftenreihe des BMVBW, Heft 767, Bonn, 1999
- [7] Colzuphalt – ein Additiv zur Herstellung von Asphalt, Präsentation NTA Volker Nies, Firma Nies Köln, unveröffentlicht, 2003
- [8] Ralf Roos et.al, „Schaffung eines Bewertungshintergrundes zur Prognostizierung der Standfestigkeit von Asphalten mit dem Druckschwellversuch – Hauptphase“,., Schriftenreihe des BMVBW Heft 868, Bonn, 2003.
- [9] Mechanical fatigue and thermal cracking test to evaluate pavement performance and comparasion with binder properties, Eurobitume, 2004
- [10] Eulitz H-J., Erfahrungswerte, entwickelt aus zahlreich im Rahmen von Kontrollprüfungen durchgeführten einaxialen Druckschwellversuchen und anschließender Beobachtung der zugehörigen Strecken, asphalt-labor, nicht veröffentlicht, Schwerin, 2004

- [11] Guericke R., Höppel, H.: Arbit Untersuchungsprogramm 1998/99 an 36 Bindemitteln, Arbit, Hamburg, 2001
- [12] Edwards Y, "Influence of Waxes on Bitumen and Asphalt Concrete Mixture Performance", Doctoral Thesis in Highway Engineering, KTH, Stockholm, 2005
- [13] Butz T., Rahimian I., Hildebrandt G., „Modifikation von Straßenbaubitumen mit Fischer-Tropsch-Paraffin“, Bitumen, Heft 3, Hamburg, 2000
- [14] Großhans D., Schwäbe F., Abraham J., „Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Splittmastixasphalt durch Zusatz eines Montanwachsproduktes“, Straße + Autobahn, Heft 4, Köln, 2002
- [15] Schlame K., „Entwicklung einer Methode zur Langzeitalterung von Straßenbaubindemittel“, Schriftenreihe des BMVBW Heft 843, Bonn, 2002
- [16] Litzka J., Strobl R., Pass F., Augustin H., "Gebrauchsverhaltensorientierte Bitumenprüfung", Insitut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Heft 9, Wien, 1998
- [17] Renken P., „Verdichtung von Walzasphalt im Laboratorium und im Felde“, Schriftenreihe des Insituts für Straßenwesen der TU-Braunschweig, Heft 18, Braunschweig, 2002
- [18] Pilz P., Fritsche H., „Der Einfluss der Viskosität des Bitumens auf die Raumdichte von Asphalt bei konstanter Verdichtungsarbeit und vorgegebener Verdichtungstemperatur“, AiF-Forschungsbericht Nr. 11145 B, Dresden, 1999
- [19] Leutner R., Renken P., Lüthje U., „Nutzungsdauer von Asphaltbefestigungen in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad“, AiF-Forschungsbericht Nr. 11239, Braunschweig, 2000
- [20] ZTV-Asphalt-StB 01, „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt“, FGSV-Verlag, 2001
- [21] TL PmB-01, „Technische Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bitumen“, FGSV-Verlag, 2001
- [22] M TA-06, „Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt“, FGSV-Verlag, 2006



- [23] AASHTO TP1 (American Association of State Highway and Transport Officials), "Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binders Using the Bending Beam Rheometer(BBR), Washington D.C, 1993
- [24] Ammadi M., Beer F., Damm K-W., Jakubik D., „Einfluss von Kurz- sowie Langzeitalterung im Labor auf die Struktur von Polymeren und praxisrelevanten Eigenschaften modifizierter Bindemittel, Schriftenreihe des BMVBW Heft 910, Bonn, 2005
- [25] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 23.12.2004, BGBl (2004) Teil 1 Nr. 74 vom 29.12.2004, 3758 ff
- [26] Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie e.V., Beratungsstelle für Gussasphaltenwendungen e.V., Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Deutscher Asphaltverband e.V., Dezernat Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik Bad Hersfeld, Hauptverband der deutschen Bauindustrie e.V., IG Bauen - Agrar – Umwelt, Thüringer Ministerium für Soziales, Familie und Gesundheit, Zentralverband des deutschen Baugewerbes; Expositionsbeschreibungen: „Herstellung und Beförderung von Asphalt“, „Verarbeiten von Walzasphalt im Straßenbau“ beide Stand 18.05.2005 und „Maschinelles Verarbeiten von Gussasphalt“ vom 12.12.2005,