

# Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Technische Universität Braunschweig, Institut für Straßenwesen (ISBS)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **15589 N**

***Walzasphalte mit viskositätsabsenkenden Additiven - Entwicklung und Optimierung der  
Eignungs- und Kontrollprüfungsverfahren und Bestimmung der Einflüsse auf die  
performance-orientierten Asphalteigenschaften***

(Bevilligungszeitraum: 01.09.2008 - 29.02.2012)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutsches Asphaltinstitut (DAI) e.V.

Braunschweig, 30. April 2012

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Renken

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

AiF-Forschungsvorhaben-Nr. 15589 N

Schlussbericht

**Walzasphalte mit viskositätsabsenkenden Additiven - Entwicklung und Optimierung der Eignungs- und Kontrollprüfungsverfahren und Bestimmung der Einflüsse auf die performance-orientierten Asphalteeigenschaften**

AiF-Forschungsvereinigung: Deutsches Asphaltinstitut (DAI) e.V.

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig  
Institut für Straßenwesen (ISBS)  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-techn. M. Wistuba

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Renken

---

Das IGF-Vorhaben 15589 N des Deutschen Asphaltinstituts (DAI e.V.) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

---

Braunschweig, den 30. April 2012

## **Inhaltsübersicht**

<b>0</b>	<b>Kurzfassung</b>	
<b>1</b>	<b>Allgemeines/ Problembeschreibung</b>	<b>4</b>
1.1	Begründung des Forschungsprojektes	4
1.2	Projektziel	8
1.3	Angaben zur Projektabwicklung	9
<b>2</b>	<b>Untersuchungsmethodik</b>	<b>9</b>
2.1	Bitumen und Modifikation	9
2.2	Asphaltvariation und Asphaltherstellung	12
2.3	Asphalt-Performance	14
2.4	Untersuchungen in situ	15
<b>3</b>	<b>Prüfverfahren</b>	<b>17</b>
3.1	Prüfungen am Bitumen	17
3.1.1	Mischen von Wachs und Bitumen	17
3.1.2	Konventionelle Bitumenprüfung	18
3.1.3	Rheologische Bitumenprüfungen	18
3.1.4	Alterungsverfahren	20
3.1.5	Haftverhalten	21
3.2	Prüfungen am Asphalt	21
3.2.1	Asphaltmischgutherstellung im Laboratorium	21
3.2.2	Mischwiderstand	22
3.2.3	Verdichtungswiderstand	23
3.2.4	Wasserempfindlichkeit	23
3.2.5	Verformungseigenschaften	24
3.2.6	Rissemempfindlichkeit gegenüber Kältebeanspruchung	26
3.2.7	Rissemempfindlichkeit gegenüber Ermüdungsbeanspruchung	27
<b>4</b>	<b>Untersuchungsergebnisse</b>	<b>29</b>
4.1	Untersuchungen am Bitumen und am wachsmodifizierten Bindemittel	29
4.1.1	Untersuchungen im nicht gealterten (frischem) Zustand	29
4.1.2	Untersuchungen am gealterten Bindemittel	34
4.1.3	Untersuchungen zur Destillier- und Extrahierbarkeit	46
4.1.4	Adhäsion/ Haftverhalten	50
4.2	Asphaltmischgut- und Probekörperherstellung im Laboratorium	53
4.2.1	Mischwiderstand	53
4.2.2	Einfluss der Verdichtungstemperatur auf die Raumdichte	57
4.2.3	Einfluss der Verdichtungstemperatur auf die Raumdichte bei großtechnisch hergestelltem Asphaltmischgut	65
4.2.4	Verdichtungswiderstand	71
4.3	Asphalt-Performance	72
4.3.1	Wasserempfindlichkeit	72
4.3.2	Verformungseigenschaften	74
4.3.3	Kälteeigenschaften	76
4.3.4	Ermüdungseigenschaften	80
4.3.5	Zusammenfassung der Untersuchungen zur Asphalt-Performance	82
4.4	Einbauprojekt Berliner Straße	83
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>92</b>
<b>6</b>	<b>Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für KMU</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>101</b>

## 0 Kurzfassung

Untersucht wurde ob und inwieweit bei der Erstprüfung, beim Eignungsnachweis und bei der Kontrollprüfung von Bitumen und Asphalt in besonderer Weise auf die Verwendung von Wachsen Rücksicht genommen werden muss und ggf. eine Optimierung der Verfahrensgänge erforderlich ist. Desweiteren wurde der Einfluss viskositätsverändernder Zusätze auf Bindemittleigenschaften und auf Asphalteigenschaften überprüft. In die Untersuchungen einbezogen wurden Montanwachs, Fischer-Tropsch-Wachs und ein Fettsäureamid und als Basisbitumen 30/45, 50/70 und PmB 25/55-55 A. Die Basisbitumen wurden jeweils mit 3 % der genannten Wachse vermischt und Asphaltbinder, Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten und Splittmastixasphalt hergestellt.

Zunächst wurde festgestellt, dass sich die genannten Produkte in ihrer Wirkungsweise im Bitumen und im Asphalt deutlich unterscheiden und auch die Verhaltensweise im Erwärmungstrend und im Abkühlungstrend unterschiedlich ist. Folglich ist es sehr hilfreich die Viskositätskurven immer im Erwärmungstrend und auch im Abkühlungstrend zu erheben. Durch die Wachszugabe altert das Bindemittel schneller und die Kälteeigenschaften werden ungünstig beeinflusst. Andererseits wird aber das Haftverhalten ebenso verbessert wie die Verformungseigenschaften. Das Kälteverhalten der Asphalte wird ebenfalls nachteilig beeinflusst. Der Einfluss ist aber nicht so groß, dass ein frühzeitiges Versagen der Asphaltsschichten zu befürchten ist. Das Ermüdungsverhalten wird je nach Asphaltmischgutart indifferent bis nachteilig beeinflusst.

Wider Erwarten konnte im Labormaßstab eine Erleichterung der Mischarbeiten nicht nachgewiesen werden. Offensichtlich deswegen, weil sich die Viskositäten in diesem Temperaturbereich nur marginal voneinander unterscheiden. Die Asphalte lassen sich im Regelfall durch die Wachszugabe zwar etwas leichter verdichten, der Raumdichtegewinn liegt aber meist im Bereich der Verfahrenspräzision. Nach Rückgewinnung und Destillation werden die physikalischen Eigenschaften des Bindemittels wiedergefunden. Toluol ist als Lösemittel ungeeignet, der Erweichungspunkt Ring und Kugel zur Ansprache der Alterungseffekte birgt die Gefahr der Fehlinterpretation. Der Vorteil wachsmodifizierter Asphalte liegt in einem Gewinn der Prozesssicherheit bei widrigem Wetter. Die Probekörper sollten im Rahmen der Erstprüfung bei einer regelkonformen Verdichtungstemperatur hergestellt werden. Eine Reduzierung der Verdichtungstemperatur zur Gewinnung der Referenzraumdichte kann nicht empfohlen werden.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

# **1 Allgemeines/ Problembeschreibung**

## **1.1 Begründung des Forschungsprojektes**

Die Herstellung von Walzasphaltemischgut erfolgt bei Mischguttemperaturen bis zu 190 °C. Aus Gründen des Arbeitsschutzes - Verringerung der Emission von Bitumendämpfen und Aerosolen - sowie aus ökonomischen Gründen - Kosteneinsparung aufgrund des reduzierten Energiebedarfs an Heizwärme - ist bei der Herstellung von Asphaltemischgut eine Absenkung der Asphaltemischguttemperaturen auf 140 °C bis 145 °C anzustreben, ohne die Verarbeitbarkeit des Asphaltes nachteilig zu verschlechtern. Nicht zuletzt wird insbesondere durch die Abminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sowie die Reduzierung der Bitumendämpfe und Aerosole ein erheblicher Beitrag zum Umwelt- und Arbeitsschutz geleistet, da sich bei einer Temperaturabsenkung die Emissionen von Bitumendämpfen und Aerosolen reduzieren. Diese Temperaturabsenkung während der Herstellung und Verarbeitung von Walzasphalt soll unter anderem mit viskositätsverändernden Additiven erreicht werden, die je nach Art des Additivs vor der Verarbeitung in das Bitumen eingemischt oder während des Mischprozesses direkt in den Mischer zugegeben werden.

Aus den oben genannten Gründen kann davon ausgegangen werden, dass die viskositätsverändernde Modifikation der Bitumen zukünftig einen hohen Stellenwert für den Asphaltstraßenbau einnehmen wird sofern nachgewiesen wird, dass negative Veränderungen der Asphalteeigenschaften im Gebrauchstemperaturbereich nicht stattfinden werden.

Grundsätzlich sind vier unterschiedliche Verfahren bekannt, mit denen die Einbautemperatur bei gleichbleibenden Verdichtungseigenschaften abgesenkt werden kann.

- a) Verfahrenstechnik: KGO-Verfahren und ähnliche Verfahren
- b) Mikro-Schäumung: Wasserabgebende Additive wie Zeolithe
- c) Schaumbitumen
- d) Viskositätsverändernde organische Zusätze: z.B. Wachse.

Während die drei erstgenannten Verfahren die Viskosität der eingesetzten Bindemittel nicht verändern, wird mit dem Einsatz von viskositätsverändernden organischen Zusätzen die Bitumenkomponente im Asphalt dauerhaft physikalisch verändert. Die-

se für die Temperaturabsenkung eingesetzten Zusätze - im Regelfall handelt es sich dabei um Wachse unterschiedlichen chemischen Ursprungs - verändern nicht nur das Viskositätsverhalten des Bitumens beim Herstellungsprozess, sondern können auch die Eigenschaften des Asphaltes, wie z.B. das Haftverhalten, die Verformungseigenschaften, das Kälteverhalten und die Ermüdungseigenschaften, im Gebrauchstemperaturbereich verändern.

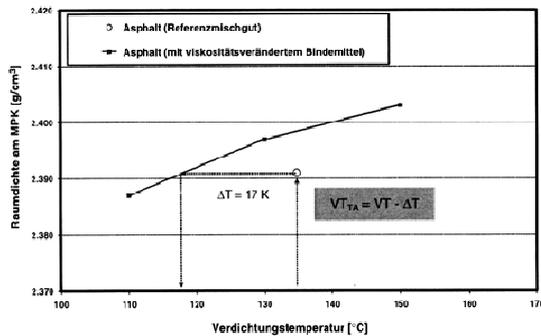
Da die genannten Wachse im höheren Temperaturbereich das Bitumen verflüssigen, die Viskosität also verringern, aber auf der anderen Seite im tiefen Temperaturbereich die Bindemittel steifer machen, also höher viskos, hat man den Begriff „viskositätsabsenkende Additive“ verlassen und spricht nur noch von viskositätsverändernden organischen Zusätzen (Additiven).

Der Zusatz von viskositätsverändernden organischen Additiven ist im Technischen Regelwerk mit der Veröffentlichung des Merkblattes für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA) [22], welches im Jahre 2011 aktualisiert wurde, berücksichtigt.

In diesem Merkblatt sind Hinweise gegeben, wie mit temperaturabgesenkten Walzasphalt hinsichtlich der Erstprüfung und Verarbeitung vorläufig verfahren werden soll.

Eine wissenschaftlich abgesicherte Vorgehensweise ist jedoch noch nicht gegeben. Aus diesem Grunde ist die genaue Kenntnis der Wirkungsweise der bei der Verarbeitung temperaturabsenkender Additive unbedingt notwendig, um bereits im Rahmen der Erstprüfung den veränderten Asphalteigenschaften gegebenenfalls Rechnung tragen zu können. Aktuell sind sowohl die Vorgehensweise als auch die Prüfbedingungen für die Durchführung von Erst- und Kontrollprüfungen nur vorläufig im Anhang 1 des M TA geregelt (s. Bild 1.1). Danach wird empfohlen zunächst aus einer Referenzerstprüfung mit einem nicht viskositätsveränderten Bindemittel eine optimale Asphaltmischgutzusammensetzung und die zugehörige Referenzraumdicke bei einer Verdichtungstemperatur von  $T_v = 135 \text{ °C}$  bzw.  $T_v = 145 \text{ °C}$  zu ermitteln. Sodann sind zur Bestimmung der „maßgebenden“ Temperatur für die Herstellung von Probekörpern für das mit viskositätsverändertem Bindemittel hergestellte Asphaltmischgut Marshall-Probekörper bei drei verschiedenen Verdichtungstemperaturen herzustellen und die Raumdichten zu bestimmen. Die Referenzraumdicke der bei regelkonformer Verdichtungstemperatur hergestellten Marshall-Probekörper wird grafisch mit den im Temperatursweep bestimmten Raumdichten des viskositätsveränderten Produktes

verglichen und die „maßgebende“ Temperatur abgelesen, die auf die gleiche Raumdichte am Marshall-Probekörper führt, wie die Referenzraumdichte.



**Bild 1.1: Beispiel für die Ermittlung der „maßgebenden“ Verdichtungstemperatur nach dem Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA), Ausgabe 2011**

Gemäß Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA) wird die so ermittelte Verdichtungstemperatur als maßgebend für den Eignungsnachweis genannt und soll auch für die Bestimmung der Bezugsraumdichte am Marshall-Probekörper bei Kontrollprüfungen gelten.

Bisherige Erfahrungen mit temperaturabgesenkten Asphalten haben gezeigt, dass durch die Additivierung mit Wachsen die Verformungseigenschaften des Asphalttes offensichtlich nicht negativ beeinflusst werden. Das Verhalten bei tiefen Temperaturen ist beispielhaft an einzelnen Varianten überprüft worden. Das Haftverhalten und die Ermüdungseigenschaften wurden punktuell an Versuchsstrecken, die im Rahmen der Erfahrungssammlung der BASt über die „Verwendung von Fertigprodukten und Zusätzen zur Temperaturabsenkung von Asphalt“ [6] veröffentlicht.

Belastbare systematische Untersuchungen liegen aber bisher nicht vor. Insbesondere fehlen Erkenntnisse über die Dauerhaftigkeit der mit viskositätsverändernden Additiven hergestellten Asphaltstraßen. Im AiF-Forschungsprojekt Nr. 12559 N/1 „Möglichkeiten und Grenzen der Temperaturabsenkung bei Herstellung und Einbau von Walzasphaltmischgut“ [1] konnte die Praxistauglichkeit von Asphaltmischgut mit viskositätsverändernden Additiven nachgewiesen werden. Im Zuge der dabei durchgeführten Laboruntersuchungen wurden aber insbesondere die Auswirkungen der Additive auf die Mischguthomogenität überprüft. Die dazu im Abschlussbericht aufgeführten Hohlraumgehalte wurden an Marshall-Probekörpern ermittelt, die mit gleichen

Verdichtungstemperaturen hergestellt wurden. Gezielte Untersuchungen zur Überprüfung der Praxistauglichkeit des im Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt beschriebenen Verfahrens zur Probekörperherstellung im Rahmen des Eignungsnachweises fehlen.

Mit dem Forschungsprojekt FE 07.0203/2002/CRB wurde der Einbau von Asphaltstrecken mit sogenannten „Bitumenverflüssigern“ zur Absenkung der Produktions- und Verarbeitungstemperatur dokumentiert. Diese Asphaltstrecken, die im Zuge der Bundesautobahn A7 und der Bundesstraße B106 angelegt wurden, werden in regelmäßigen Abständen systematisch visuell und messtechnisch beurteilt. Insbesondere werden dabei Untersuchungen an der Oberfläche zur Griffigkeit und Spurrinnenbildung sowie Prüfungen an aus dem Asphalt rückgewonnenen Bitumen durchgeführt. In diesem Zusammenhang sollen auch systematische Untersuchungen zur Bindemittelverhärtung während der Liegedauer angestellt werden. Mit dem Abschluss dieser Langzeituntersuchung ist im Jahre 2012 zu rechnen.

Im Forschungsprojekt FE 89.016172005/AP [14] wurden die Asphaltbefestigungen mehrerer Erprobungsstrecken, bei denen viskositätsverändernde Additive zur Anwendung kamen, nach längerer Liegedauer untersucht. Für die Beurteilung neuer Produkte, die in der Langzeitstudie nicht untersucht werden konnten, werden folgende Empfehlungen gegeben:

- Durchführung erweiterter Bindemitteluntersuchungen und Anwendung konventioneller und sogenannter rheologischer Prüfverfahren,
- Anlage neuer oder Auswertung bestehender Untersuchungsstrecken mit möglichst hoher Verkehrsbelastung,
- Untersuchungen aller Untersuchungsstrecken nach weiteren fünf Jahren unter Anwendung der visuellen Zustandserfassung, Querprofilmessungen sowie Untersuchungen der Asphaltmischgutzusammensetzung der Bindemittleigenschaften, des Haft- und des Kälteverhaltens anhand von Bohrkernproben.

## 1.2 Projektziel

Gemäß Forschungsantrag war ein erstes Ziel dieses Projektes, die im Anhang 1 des Merkblattes für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA) vorgestellte Verfahrensweise für die Durchführung der Erstprüfung sowie von Kontrollprüfungen für „temperaturabgesenkte“ Asphalte auf ihre Eignung zu überprüfen, ggf. weiterzuentwickeln und dadurch einen Beitrag zur Absicherung der Angaben im Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt oder gegebenenfalls eine Novellierung desselben zu erreichen.

Ein zweites Ziel des Forschungsprojektes war es, das Gebrauchsverhalten von „temperaturabgesenkten“ Asphalt systematisch zu überprüfen.

Zunächst ist also zu überprüfen, inwieweit sich Einflüsse auf das geltende System der Erstprüfung/ des Eignungsnachweises und der Kontrollprüfung ergeben. Insbesondere ist zu klären, ob die Verfahrensweise der Herstellung der Asphalt-Probekörper hinsichtlich der Verdichtungstemperatur verändert werden muss. Das Kontrollprüfungsverfahren am Asphaltmischgut ist mit dem Ziel zu überprüfen, ob die Extraktionsbedingungen zu modifizieren sind und ob die Eigenschaften auch am rückgewonnenen, resultierenden Bindemittel aussagekräftig bestimmt werden können.

Durch die gewählte Forschungssystematik wurden die einzelnen Teilaspekte des Forschungsthemas in drei Arbeitspakete gegliedert, die nacheinander abgearbeitet wurden.

Im ersten Arbeitspaket werden die physikalischen und rheologischen Eigenschaften der drei marktrelevanten viskositätsverändernden organischen Zusätze Montanwachs, Fischer-Tropsch-Wachs und Fettsäureamid in Verbindung mit den unterschiedlichen Bitumenarten angesprochen und das Alterungsverhalten beurteilt.

Im zweiten Arbeitspaket werden die wesentlichen Gebrauchseigenschaften (Haftverhalten, Verformungseigenschaften, Kälteeigenschaften und Ermüdungseigenschaften) von Asphalt beurteilt, die unter Zusatz der oben genannten drei viskositätsverändernden organischen Zusätze (Additiven) hergestellt wurden.

Im einem dritten Arbeitspaket wird der Einbau ausgewählter Asphaltmischgutvarianten in ein Straßenbauprojekt mit dem Ziel vorgesehen, die erarbeiteten Kenntnisse

im großtechnischen Maßstab zu validieren, und dadurch eine weitere Beobachtungsstrecke für spätere Arbeiten zur Verfügung zu stellen.

### **1.3 Angaben zur Projektabwicklung**

Auf Antrag des Deutschen Asphaltinstituts (DAI e.V.) wurde ein Forschungsprojekt zum genannten Thema zur Aufnahme in das gemeinsame Förderprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) vorgeschlagen.

Diesem Antrag wurde am 28.08.2009 stattgegeben, so dass im Zeitraum vom 01.09.2008 bis zum 29.02.2012 das Forschungsprojekt am Institut für Straßenwesen (ISBS) der Technischen Universität Braunschweig bearbeitet werden konnte.

Das IGF-Vorhaben 15589 N des Deutschen Asphaltinstituts (DAI e.V.) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

## **2 Untersuchungsmethodik**

Die Untersuchungsmethodik ergibt sich aus den zuvor formulierten Projektzielen und beinhaltet die Beschreibung der Baustoffe, die Herstellung der Baustoffe und den Variationsumfang.

### **2.1 Bitumen und Modifikation**

Für die Modifikation des Bitumens wurden drei marktrelevante viskositätsverändernde organische Zusätze ausgewählt. Ein Montanwachs, ein Fischer-Tropsch-Wachs (FT-Wachs) und ein Fettsäureamid (Amidwachs). Die Zusätze wurden in ausreichender Menge unmittelbar vom Hersteller beschafft. Als Bitumen (Basisbitumen) wurden die beiden Straßenbaubitumen 50/70 und 30/45 und ein PmB 25-55/55 A beschafft.

Die Modifikation des Basisbitumens mit den organischen Zusätzen zu einem viskositätsverändertem Bindemittel erfolgte im Laboratorium des ISBS mit immer dem gleichen Verarbeitungsverfahren in einer von der Art des Zusatzes unabhängigen Mengenanteils von immer 3 % bezogen auf die Masse des Gesamtgemisches (Bindemittel).

Als Bindemittelprodukte standen somit neben den Basisbitumen ohne Modifikation die in Tabelle 2.1 genannten Kombinationen zur Verfügung.

**Tabelle 2.1 : Bitumenarten/-sorten und Art der Modifikation**

Basisbitumen	Art der Modifikation			
	ohne (Referenz)	Montanwachs	FT-Wachs	Fettsäureamid
50/70	x	x	x	x
30/45	x	x	x	x
25/55-55 A	x	x	x	x

Die Beschreibung der organischen viskositätsverändernden Zusätze kann wie folgt der DAV-Broschüre „Temperaturabgesenkte Asphalte“ entnommen werden.

**Montanwachse** und daraus hergestellte Derivate werden bei der Braunkohleverarbeitung gewonnen und bestehen aus höher molekularen Wasserstoffen mit einem Schmelzbereich zwischen 110 °C und 140 °C. Daraus erklärt sich, dass Montanwachse andere physikalische Eigenschaften haben und nicht mit paraffinischen Anteilen im Bitumen verglichen werden können. Montanwachse sind oberhalb ihres Schmelzbereiches völlig löslich im Bitumen, vermischen sich durch Rühren homogen mit dem Basisbitumen und senken dessen Viskosität im flüssigen Zustand. Während des Abkühlens kristallisieren sich Montanwachse aus und bilden Kristallite im Bitumen, die die Stabilität und Verformungsbeständigkeit des Asphaltes erhöhen. Die Zugabe von Montanwachsen kann direkt in dem Mischer mit entsprechender Nachmischzeit erfolgen. Bei dem hier verwendeten Montanwachs handelt es sich um das Produkt Asphaltan B.

**Fischer-Tropsch-Wachse** sind langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe, die mit der Fischer-Tropsch-Synthese in einem katalytischen Hochdruckverfahren aus dem Synthesegas (CO und H<sub>2</sub>) zugewonnen werden. Die Kettenlänge der FT-Moleküle

unterscheidet sich von der Kettenlänge erdöleigener Paraffine. Daraus erklärt sich, dass, wie auch bei einem Montanwachs, FT-Paraffine andere physikalische Eigenschaften haben und nicht mit den paraffinischen Anteilen im Bitumen verglichen werden können. FT-Wachse sind oberhalb von 115 °C in Bitumen vollständig löslich, vermischen sich durch Rühren homogen mit dem Basisbitumen und senken dessen Viskosität in flüssigem Zustand. Während des Abkühlens kristallisieren FT-Wachse aus und bilden Kristallite im Bitumen, die die Stabilität und Verformungsbeständigkeit des Asphalttes erhöhen. Bei dem in diesem Forschungsprojekt verwendeten FT-Wachs handelt es sich um das Produkt Sasobit.

**Fettsäureamide** sind langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe, die synthetisch hergestellt werden. Die Kettenlänge der Fettsäureamide-Moleküle unterscheidet sich von der Kettenlänge erdöleigener Paraffine. Daraus erklärt sich, dass Fettsäureamide andere physikalische Eigenschaften haben und nicht mit den paraffinischen Anteilen im Bitumen verglichen werden können. Fettsäureamide sind oberhalb von 140 °C in Bitumen vollständig löslich, vermischen sich durch Rühren homogen mit dem Basisbitumen und senken dessen Viskosität im flüssigen Zustand. Während des Abkühlens kristallisieren Fettsäureamide aus und bilden Kristallite mit Bitumen, die die Stabilität und Verformungsbeständigkeit des Asphalttes erhöhen. Bei dem im Rahmen dieses Projektes verwendeten Fettsäureamids handelt es sich um das Produkt Licomont BS 100.

Die vom Hersteller genannten Eigenschaften dieser viskositätsverändernden organischen Zusätze sind in Tabelle 2.2 zusammengefasst.

An allen in Tabelle 2.1 genannten Bitumen und Bindemittelkombinationen (Abmischungen) werden die konventionellen Bitumenkennwerte und die rheologischen Kennwerte im „frischen“ und im RTFOT- und RTFOT&PAV - gealterten Zustand überprüft.

Unter den konventionellen Kennwerten sind der Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK), die Penetration (Pen) und der Brechpunkt nach Fraaß (BP) zu verstehen. Die rheologischen Kennwerte werden aus der Kraftduktilitäts-Analytik (sofern PmB verwendet wurde), der DSR-Analytik und der BBR-Analytik abgeleitet.

**Tabelle 2.2: Eigenschaften der eingesetzten viskositätsverändernden organischen Zusätze (Herstellernangaben)**

<b>Chemischer Typ</b>	<b>Montanwachs + Derivate</b>	<b>Fischer-Tropsch-Wachs (FT-Wachs)</b>	<b>Fettsäureamid (Amidwachs)</b>
Hersteller	Romonta	Sasol Wax GmbH	Clariant
Handelsname	Asphaltan B	Sasobit	Licomont BS 100
Produktbeschreibung	auf Montanwachsinhaltsstoffen und höhermolekularen Kohlenwasserstoffen basierendes Stoffgemisch	synthetische, gesättigte, langkettige Kohlenwasserstoffe (Fischer-Tropsch Wachs)	Gemisch aus Derivaten von Fettsäureamiden
Lieferform	Granulat oder Pastillen	Pastillen	Granulat
Farbe	hellbraun	gräulich-weiß bis gelblich	weiß / weißlich
Temperaturen des Erstarrungsintervalls	95 - 105 °C	100 °C	135 - 142 °C (*)
Schmelzbereich	110 - 120 °C	70 - 115 °C	139 - 144 °C
(*) Werte aus dem Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt entnommen			

Zusätzlich werden Viskositätsmessungen mit einem Rotationsviskosimeter bei Verwendung einer Platte/Kegel-Geometrie durchgeführt. Diese werden sowohl im Erwärmungstrend als auch im Abkühlungstrend vorgenommen, da sich während der Bearbeitung erhebliche Unterschiede in der Hysterese zeigten.

Auf die systematische Ermittlung des Brechpunktes nach Fraaß wurde in Absprache mit dem Projektbegleitenden Ausschuss (PA) im weiteren Verlauf der Projektbearbeitung verzichtet und stattdessen wegen der höheren Aussagefähigkeit die BBR-Analytik bei mehreren Temperaturen durchgeführt.

## **2.2 Asphaltvariation und Asphaltherstellung**

Die 12 Bindemittelkombinationen werden für die Herstellung von Asphaltbinder AC 16 B S und Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten AC 11 D S eingesetzt, wobei der AC 16 B S mit 30/45 und mit 25/55-55 A und der AC 11 D S mit 50/70 und mit 25/55-55 A hergestellt werden.

Der Variationsumfang und die Bezeichnungen der einzelnen Mischgutvarianten ist Tabelle 2.3 zu entnehmen.

**Tabelle 2.3 : Bezeichnungen der Asphaltmischgutvarianten und deren Modifizierungen**

	AC 16 B S		AC 11 D S	
Modifizierung	30/45	25/55-55 A	50/70	25/55-55 A
keine/Referenz	VA 32	VA 44	VA 4	VA 16
Montanwachs	VA 30	VA 42	VA 2	VA 14
FT-Wachs	VA 29	VA 41	VA 1	VA 13
Amidwachs	VA 31	VA 43	VA 3	VA 15

Die dort genannte Nummerierung scheint deswegen nicht zwingend, weil sich erst während der späteren Bearbeitung herausgestellt hat, dass es sinnvoller ist, Asphaltgemische nach der mutmaßlichen Steifigkeit des Bitumens zu reihen.

Für die beiden Asphaltarten werden mit den jeweiligen Basisbitumen Erstprüfungen durchgeführt, nach denen dann die einzelnen Asphaltgemische hergestellt werden. Das bedeutet, dass die mit viskositätsverändernden organischen Zusätzen hergestellten Mischgüter jeweils die gleiche Zusammensetzung aufweisen wie die zugehörige Referenz ohne Zusatz.

Um eine Systematik zu erhalten, werden für die Herstellung der jeweiligen Marshall-Probekörper die Verdichtungstemperaturen nicht nach dem Vorschlag des M TA ermittelt, sondern es wird mit zwei definierten Verdichtungstemperaturen gearbeitet. Zum einen mit der regelkonformen Verdichtungstemperatur  $T_v = 135 \text{ °C}$  bei der Verwendung von Straßenbaubitumen und  $T_v = 145 \text{ °C}$  bei der Verwendung von PmB und zum anderen mit einer Verdichtungstemperatur von  $T_v = 105 \text{ °C}$ .

Die Frage nach der Verdichtungstemperatur zur Erzielung vergleichbarer Raumdichten wird anhand mehrerer Beispiele nachgegangen, für die auch großtechnisch hergestelltes Asphaltmischgut aus Asphaltmischwerken eingesetzt wurde. Punktuell wird auch die Frage nach dem Einfluss einer höheren Verdichtungsenergie - hier Anzahl der Verdichtungsschläge, nämlich 100 Verdichtungsschläge je Probekörperseite - auf die Raumdichte untersucht.

Das Asphaltmischgut wird nach den TP Asphalt-StB, Teil 35 im Laboratorium in einem Mischgerät hergestellt, mit dem in 35 kg - Chargen die aufgewendete Mischarbeit gemessen werden kann.

Eingesetzt wird dazu ein Labormischer der Firma Freundl von Typ GZM-30+, bei dem sich die Mischtrommel und das Mischwerkzeug im Gegenlaufzwangsbetrieb bewegen. Sowohl für Mischtrommel als auch für das Mischwerkzeug kann die Mischarbeit bestimmt werden.

Zur Überwachung der Herstellungsqualität der Asphalte wird aus jeder Mischcharge eine Teilprobe entnommen und die Zusammensetzung überprüft. Bereits hier werden systematische Untersuchungen zur Extrahierbarkeit des wachsmodifizierten Bindemittels durchgeführt.

### **2.3 Asphalt-Performance**

An allen Asphaltvarianten werden die „wesentlichen“ Asphalteigenschaften - auch Asphalt-Performance genannt - überprüft.

Zur Asphalt-Performance gehören in diesem Zusammenhang die Untersuchungen zum Verdichtungswiderstand, zum Haftverhalten/ zur Wasserempfindlichkeit, darüber hinaus die klassischen Untersuchungen zu den Asphalteigenschaften: Verformung, Risswiderstand gegenüber Kälteangriff und Ermüdungsbeständigkeit.

Die Verformungseigenschaften der Asphalte werden mittels Spurbildungsversuchen (SBV) an Asphalt-Probepplatten und Druck-Schwellversuchen (DSV) an Marshall-Probekörpern angesprochen, die Kälteeigenschaften - d.h. der Widerstand gegenüber Rissbildung bei Kälteangriff - mit dem einaxialen Zugversuch und Abkühlversuchen. Hierzu werden prismatische Probekörper benötigt, die entweder aus Asphalt-Probepplatten, die aus dem Asphaltmischgut hergestellt werden, oder unmittelbar aus Bohrkernproben aus der Straße heraus gesägt werden (siehe Einbauprojekt).

Zur Ansprache der Ermüdungseigenschaften werden Zug-Schwellversuche durchgeführt, für welche die gleichen Probekörperarten benötigt werden wie für die Kälteversuche.

Der Variationsumfang ist Tabelle 2.4 zu entnehmen.

**Tabelle 2.4 : Umfang der Untersuchungen zur Asphalt-Performance**

	AC 16 B S		AC 11 D S	
Modifizierung	30/45	25/55-55 A	50/70	25/55-55 A
keine/Referenz	Mischwiderstand Verdichtungswider. Verformung mittels SBV und DSV Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche			
Montanwachs	Mischwiderstand Verdichtungswider. Verformung mittels SBV und DSV Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche			
FT-Wachs	Mischwiderstand Verdichtungswider. Verformung mittels SBV und DSV Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche			
Amidwachs	Mischwiderstand Verdichtungswider. Verformung mittels SBV und DSV Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche			

## 2.4 Untersuchungen in situ

Die Untersuchungen in situ werden in Kompensation zu einer SMA-Variante, die für die Herstellung im Laboratorium vorgesehen war, zusätzlich in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Hierbei handelt es sich um die Untersuchungen eines Abschnittes der Berliner Straße im Stadtgebiet von Braunschweig; eine hochbelastete Ausfallstraße, die in die Bundesstraße B248 übergeht.

Eingebaut wird ein Asphaltbinder AC 16 B S mit PmB mit und ohne viskositätsveränderndem Zusatz und ein Splittmastixasphalt SMA 11 S mit PmB mit und ohne viskositätsveränderndem Zusatz.

Bei dem viskositätsveränderndem Zusatz handelt es sich um ein FT-Wachs.

Unmittelbar nach dem Einbau der vier Asphaltvarianten werden Asphaltmischgutproben entnommen und an Bohrkernproben der Verdichtungsgrad und der Hohlraumgehalt bestimmt.

An den Asphaltmischgutproben werden Kontrolluntersuchungen durchgeführt und Asphalt-Probepplatten und Marshall-Probekörper hergestellt und Untersuchungen zur Verformungsbeständigkeit mittels Druck-Schwellversuch, zum Kälteverhalten und zum Ermüdungsverhalten durchgeführt.

Nach einer Liegedauer von zwei Jahren werden dann aus der Berliner Straße Bohrkernproben mit einem Durchmesser von 300 mm entnommen und Untersuchungen zu den Verformungs-, Kälte- und Ermüdungseigenschaften durchgeführt. Es ist besonders darauf hinzuweisen, dass diese Untersuchungen unmittelbar an den Bohrkernproben vorgenommen werden.

In diesem Zusammenhang werden zur Kontrolle die Zusammensetzung überprüft, das Bindemittel zurückgewonnen und am rückgewonnenen Bindemittel die Erweichungspunkte Ring und Kugel und einige rheologische Kenndaten mittels BBR-Analytik und DSR-Analytik erhoben.

Der Umfang der Untersuchungen am Einbauprojekt ist Tabelle 2.5 zu entnehmen.

**Tabelle 2.5: Umfang der Untersuchungen im Rahmen des Einbauprojektes „Berliner-Straße“**

	AC 16 B S - 25/55-55 A		SMA 11 S - 25/55-55 A	
	ohne Wachs	FT-Wachs	ohne Wachs	FT-Wachs
Proben aus Asphaltmischgut	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche
Bohrkernproben aus der Straße	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche	Verformung (DSV) Zugversuche Abkühlversuche Zug-Schwellversuche

## **3 Prüfverfahren**

### **3.1 Prüfungen am Bitumen**

Im vorliegenden Forschungsprojekt werden Straßenbaubitumen der Sorte 50/70 und 30/45 und ein Polymermodifiziertes Bitumen 25/55-55 A eingesetzt und mit viskositätsverändernden Zusätzen vermischt. Gemäß den TL Bitumen-StB 07 wird der Begriff „Bitumen“ für das Basisbindemittel verwendet. Für die Mischungen von Wachsen mit Bitumen wird in diesem Bericht folgerichtig der Begriff „Bindemittel“ verwendet, bei dem es sich dann um ein viskositätsverändertes „Bitumen“ handelt. Diese Definition der Bitumenvariationen kann nicht immer konsequent in diesem Bericht beibehalten werden, beispielsweise bei der Benennung von Tabellenspalten, wenn hierunter sowohl die Kennwerte an Bitumen als auch an Bindemittel dokumentiert sind. Es ergibt sich aber immer aus dem Textzusammenhang, was gemeint ist, das Bitumen oder das Bindemittel (also das viskositätsveränderte Bitumen, im M TA „viskositätsverändertes Bindemittel“ genannt).

#### **3.1.1 Mischen von Wachs und Bitumen**

Die mit viskositätsverändernden organischen Zusätzen (Wachsen) veränderten Basisbitumen werden im Laboratorium immer nach der gleichen Prozedur hergestellt.

Danach werden zwölf Gramm des Wachses mit 388 g Bitumen in eine Kasserolle eingegeben, auf 160 °C bzw. 180 °C (PmB) für 60 Minuten vorgeheizt und für die Dauer von 30 Minuten bei einer Temperatur von 155 °C bzw. 170 °C (PmB) mittels Magnetrührer der Firma IKA, Staufen, Typ MAG HS7 vermischt.

Die Arbeitsanweisung für die Mitarbeiter des ISBS-Laboratoriums zur Herstellung der viskositätsveränderten Bindemittel ist im Anhang A1 beigefügt.

Die viskositätsveränderten Bindemittel werden immer zeitnah zur weiteren Verarbeitung in Portionen à 400 g laborseitig hergestellt.

Die Menge der Wachsadditivierung beträgt für alle Produkte 3 M.-%, bezogen auf die gesamte Bindemittelmasse.

### 3.1.2 Konventionelle Bitumenprüfung

Den konventionellen Bitumenprüfungen werden die klassischen Bestimmungsverfahren für

- den Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK) nach DIN EN 1426,
- die Penetration (Pen) nach DIN EN 1427 und
- den Brechpunkt nach Fraaß (BP) nach DIN EN 12593 zugeordnet, aber auch
- die Formänderungsarbeit (Kraftduktilität) nach DIN EN 13589/ DIN EN 13703.

Neben der vollständigen grafischen Darstellung der Ergebnisse der Kraftduktilität im Anhang werden tabellarisch die wichtigen Größen Formänderungsarbeit im Bereich 200 bis 400 mm Ausdehnlänge und die zugehörige Maximalkraft angegeben.

### 3.1.3 Rheologische Bitumenprüfungen

Den Prüfverfahren zur Ansprache rheologischer Bitumeneigenschaften wird die BBR-Analytik mittels Biegebalkenrheometer nach DIN EN 14771 und die DSR-Analytik mittels dynamischem Scherrheometer nach DIN EN 14770 zugeordnet.

Für die Prüfung der dynamischen Viskosität wird das gleiche DSR verwendet aber mit einem rotierenden Messkopf und einem Platte/Kegel-System. So gesehen gehört die Überprüfung der dynamischen Viskosität ebenfalls zur DSR-Analytik.

Die BBR-Analytik wird angewendet, um die Bitumen bzw. die viskositätsveränderten Bindemittel hinsichtlich der Kälteeigenschaften anzusprechen.

Für diese Prüfung werden Bitumenbalken hergestellt und in einer Dreipunkt-Biegevorrichtung bei unterschiedlich tiefen Temperaturen (-25 °C, -16 °C und -10 °C) für die Zeitdauer von 240 Sekunden statisch, also kraftgeregelt, belastet.

Die Durchbiegung des Balkens wird kontinuierlich gemessen und die Biegekriechsteifigkeit  $S$  gegenüber der Belastungszeit jeweils im logarithmischen Maßstab auf-

gezeichnet. Die der Belastungszeit von 60 Sekunden zugehörige Tangentenneigung der Kriechkurve wird berechnet und als m-Wert angegeben.

Im Regelfall wird für die betrachtete Temperatur die Biegekriechsteifigkeit S nach 60 Sekunden und der zugehörige m-Wert angegeben.

Anhand der bei den unterschiedlichen Prüftemperaturen bestimmten Biegekriechsteifigkeiten wird die Temperatur ermittelt, die sich bei einer Biegekriechsteifigkeit von 300 MPa ergibt.

Mit der DSR-Analytik wird das viskoelastische Verhalten eines Bitumens überprüft und Anhaltswerte für die mutmaßlichen Verformungseigenschaften ( $G^*/\sin \delta$ ) und Ermüdungseigenschaften ( $G^* \cdot \sin \delta$ ) erhalten.

Bei der DSR-Analytik wird eine Bindemittelprobe einer oszillierenden Scherbeanspruchung ausgesetzt und bei Durchführung eines Temperatursweeps im Bereich von +30 °C bis +90 °C und eines Frequenzsweeps bei jeder Temperaturstufe der komplexe Schermodul  $G^*$  und der Phasenwinkel  $\delta$  ausgewertet.

Grafisch dargestellt werden darüber hinaus die Zusammenhänge  $G^*$ ,  $\delta$ , Frequenz und Temperatur in den unterschiedlichsten Kombinationen untereinander, wie z.B. Schermodul gegen Frequenz (Masterfunktion), Schermodul gegen Phasenwinkel (Black-Diagramm) und Imaginärteil  $G''$  gegen den Realteil  $G'$  (Cole-Cole Diagramm).

Zu den rheologischen Prüfverfahren gehört auch die Bestimmung der Viskosität über den gesamten Gebrauchstemperaturbereich von  $T = +5$  °C bis  $T = +150$  °C mittels Rotationsviskosimeter und Einsatz eines Platte/Kegel-Systems. Die dynamische Viskosität  $\eta$  ergibt sich dann aus dem Quotienten von Schubspannung (Pa) zur Schergeschwindigkeit (1/S) in Pascalsekunden (Pas).

Die dynamischen Viskositäten werden sowohl im Erwärmungstrend von +5 °C bis +150 °C als auch im Abkühlungstrend von 150 °C auf das tiefe Temperaturniveau von +5 °C durchgeführt. Die dynamischen Viskositäten im Bereich des Wechsels des Aggregatzustandes des Wachses unterscheiden sich je nachdem, ob ein Schmelz-

vorgang (Erwärmungstrend) oder ein Kristallisationsvorgang (Abkühltrend) stattfindet, erheblich. In diesem Zusammenhang spricht man auch von Hystereseeffekt.

#### 3.1.4 Alterungsverfahren

Zwei Alterungsverfahren kommen zum Einsatz; das RTFOT-Verfahren und die Alterung mittels PAV.

Die RTFOT-Alterung (Rolling Thin Film Oven Test) ist in der DIN EN 12697-1 beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren zur Bestimmung der Auswirkungen des Einflusses von Hitze und Luft auf einen rollenden dünnen Bitumenfilm. Es simuliert die Verhärtung eines Bitumens während des Mischvorgangs in einem Asphaltmischwerk.

Die Bitumenprobe wird in einen Glaszylinder gegeben, welcher um die eigene Achse in waagerechter Stellung bei einer Temperatur von  $T = +163 \text{ °C}$  für die Dauer von 75 Minuten bei einem Luftdurchfluss von 4 Litern/Minute rotiert.

Das PAV-Verfahren (Pressure Ageing Vessel) ist in den DIN EN 14769 beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren zur beschleunigten Alterung/ Konditionierung für Bitumen. Das Verfahren beinhaltet die Alterung von Bitumen in Schalen (dünne Bitumenschicht von 3,2 mm Dicke) bei erhöhter Temperatur in einem Druck-Alterungsbehälter unter Überdruckbedingungen. Die diesem Alterungsverfahren ausgesetzte Probe wird zuvor in den Zustand gebracht, der sich beim Einbau des Asphaltmischguts in der Straße einstellt. Im vorliegenden Fall geschieht dies durch die Beanspruchung mittels RTFOT-Verfahren. Für diese Art der Langzeitalterung wird der Begriff RTFOT&PAV verwendet.

Die Bindemittelprobe wird in Schalen gegeben und in einem Druckbehälter bei waagerechter Lagerung bei einem Druck von 2,1 MPa für die Dauer von 20 Stunden beansprucht. Je nach Bindemittelart und -sorte werden Beanspruchungstemperaturen von 85 °C, 90 °C, 100 °C und 110 °C angewendet. Bei dem hier beanspruchten

Straßenbaubitumen wurde eine Temperatur von  $T = +85 \text{ °C}$  und bei dem Polymer-modifizierten Bitumen 25/55-55 A eine Temperatur von ebenfalls  $T = +85 \text{ °C}$  für eine Beanspruchungsdauer von jeweils 20 Stunden gewählt.

### 3.1.5 Haftverhalten

Das Haftverhalten zwischen Bindemittel und Gestein wird gemäß den TP Asphalt-StB, Teil 11, Haftverhalten zwischen Gestein und Bitumen, überprüft.

In dieser Technischen Prüfvorschrift ist das Rolling-Bottle-Verfahren beschrieben, bei welchem Gesteine - im Regelfall der Kornklasse 8/11 - mit Bitumen einer definierten Menge umhüllt werden. Die mit Bitumen umhüllten Gesteinskörner werden in eine mit Wasser gefüllte Flasche gegeben und dort bei Raumtemperatur für die Dauer von 48 Stunden gerollt. Nach unterschiedlichen Stufen der Rollzeit werden die Proben aus der Flasche entnommen und visuell die verbleibende Bitumenumhüllung geschätzt.

Die Untersuchungen werden sowohl an der Gesteinsart Gabbro als auch an der Gesteinsart Taunusquarzit überprüft.

## 3.2 Prüfungen am Asphalt

### 3.2.1 Asphaltmischgutherstellung im Laboratorium

Zur Herstellung des Asphaltmischguts kommt ein Gegenlauf-Zwangslabormischer GZM-30+ zum Einsatz, wie er speziell zur Herstellung von Walzasphalt entwickelt wurde. Das Mischprinzip beruht auf einem Gegenlauf-Zwangsmischbetrieb mit geneigter Mischtrommel und angestelltem Mischwerkzeug. Der Gegenlauf-Zwangsmischbetrieb wird durch zwei drehzahlgeregelte Antriebsmotoren für Mischtrommel und exzentrischem Mischwerkzeug realisiert. Es ergibt sich eine vollständige dreidimensionale Vermischung des Asphaltmischguts aufgrund des asynchronen Antriebs, Antriebs-Drehzahlverhältnisses und geneigter Mischtrommel und dem angestellten Mischwerkzeug.

Der Prozess der Asphaltmischgutherstellung umfasst das Bereitstellen und Einwiegen der Gesteinskörnungen und des Bindemittels sowie deren anschließende Lage-

rung und jeweilige Temperierung. Erst dann wird mit dem eigentlichen Mischen der Baustoffkomponenten begonnen.

Um einer Entmischung vorzubeugen, werden die temperierten Gesteinskörnungen - mit der größten Kornklasse beginnend - in folgender Reihenfolge dem Mischprozess zugegeben.

- Gesteinskörnungen 11/16 (nur für die Varianten AC 16 B S)
- Gesteinskörnungen 8/11
- Gesteinskörnungen 5/8
- Brechsand (gebrochene feine Gesteinskörnung)
- Gesteinskörnungen 2/5
- Zugabe des kalten Füllers
- Zugabe des heißen Bitumens bzw. viskositätsveränderten Bindemittels und Starten des Mischvorgangs.

Von jeder Mischcharge werden zur Kontrolle die Mischgutzusammensetzung, die Rohdichte und die Raumdichte sowie die damit berechneten Hohlraumgehalte einzelner Mischungen einer Variante bestimmt. Unmittelbar nach Asphaltmischgutherstellung werden die Marshall-Probekörper bzw. Asphalt-Probepplatten für die performance-orientierten Prüfungen hergestellt.

Ansonsten erfolgt die Herstellung des Asphaltmischgutes bei Beachtung der TP Asphalt-StB, Teil 35, Asphaltmischgutherstellung im Laboratorium.

### 3.2.2 Mischwiderstand

Der für die Herstellung des Asphaltmischguts verwendete Gegenlauf-Zwangsmischer GZM-30+ ist mit Drehmomentenwiderständen ausgerüstet, so dass während der zweiminütigen Mischdauer die geleistete Mischarbeit der Mischtrommel und des Mischwerkzeuges gemessen werden können. Die Messwerte werden digital gespeichert und grafisch ausgewertet.

### 3.2.3 Verdichtungswiderstand

Unmittelbar nach Herstellung des Asphaltmischgutes werden zur Bestimmung des Verdichtungswiderstandes Marshall-Probekörper mit einer Verdichtungsanzahl von 100 Schlägen je Probekörperseite hergestellt. Die Dichtezunahme in der Marshallform aufgrund der Schlagverdichtung durch das Fallgewicht des Marshall-Verdichtungsgerätes kann über die Messung der Probekörperdicke direkt nach jedem Verdichtungsschlag berechnet werden.

Der Faktor Masse/ Grundfläche ist über den gesamten Verdichtungsprozess eines Marshall-Probekörpers konstant und lässt sich aus der Gleichung zur Beschreibung der Raumdichte in Abhängigkeit von der aufgewendeten Verdichtungsarbeit heraus kürzen. Damit wird der Verdichtungsprozess über die Änderung der Probekörperdicke beschrieben. Die gemessenen Probekörperdicken werden einer dreiparametrischen Exponentialfunktion angepasst und der im negativen Exponenten stehende Regressionsparameter als Verdichtungswiderstand  $T$  von einem der drei Regressionsparameter berechnet. Der Verdichtungswiderstand  $T$  wird als Maßzahl zur Beurteilung der Verdichtbarkeit der unterschiedlichen Asphaltvarianten verwendet. Kleine Werte für  $T$  stehen für leichter verdichtbare Asphalte, größere Werte für  $T$  stehen für zunehmend schwerer verdichtbare Asphalte.

Das Verfahren ist in den TP Asphalt-StB, Teil 10 B, Verdichtungswiderstand mit Hilfe des Marshall-Verdichtungsgerätes, Verfahren B: Änderung der Probekörperdicke, detailliert beschrieben.

### 3.2.4 Wasserempfindlichkeit

Die Wasserempfindlichkeit/ das Haftverhalten der Asphalte wird nach den TP Asphalt-StB, Teil 12, Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern bestimmt. Bei diesem Verfahren wird das Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten (Spaltzugfestigkeiten) an mit 35 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite hergestellten, unterschiedlich konditionierten Marshall-Probekörpern beurteilt. Für die Prüfungen wird ein Teil der Marshall-Probekörper trocken gelagert, während die übrigen Marshall-Probekörper einer Wassersättigung mit anschließender Wasserlagerung unterzogen

werden. Die unterschiedlich gelagerten Probekörper werden anschließend bei definierter Prüftemperatur mittels Spaltzugversuch geprüft.

Der auf eine Prüftemperatur von +15 °C temperierte Marshall-Probekörper wird zwischen zwei Laststreifen platziert, mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 50 mm/min. radial belastet und die maximale Last am Bruch des Probekörpers gemessen und hiermit die Spaltzugfestigkeit berechnet.

Mit den Spaltzugfestigkeiten der beanspruchten und der unbeanspruchten Proben wird das Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten berechnet und als ITSR in Prozent angegeben.

Große Werte für den ITSR stehen für ein günstiges Haftverhalten (Wasserempfindlichkeit), kleine Verhältniswerte stehen für ein ungünstiges Verhalten.

### 3.2.5 Verformungseigenschaften

Die Verformungseigenschaften werden in diesem Projekt mit Hilfe des Spurbildungsversuchs und des Druck-Schwellversuchs angesprochen. Für beide Prüfverfahren existieren Technische Prüfvorschriften für Asphalt.

#### 3.2.5.1 Spurbildungsversuch

Die Durchführung des Spurbildungsversuchs erfolgt gemäß den TP Asphalt-StB, Teil 22, Spurbildungsversuch.

Bei dem Spurbildungsversuch werden zwei Probekörper gleichzeitig durch jeweils ein hin- und her rollendes Prüfrad wiederholt belastet. Die Probekörper sind mit einer Fixiermasse unverschieblich in einem Metallrahmen fixiert und werden vor und während des Prüfvorgangs in einem Luftbad temperiert. Das spurbildende Rad ist mit einem Vollgummimantel einer definierten Härte ausgestattet.

Die Spurrinnentiefe wird in Abhängigkeit von der Anzahl der Überrollungen aufgezeichnet.

Als Ergebnis der Prüfung gilt der Mittelwert aus zwei Einzelwerten.

Die Untersuchungen mittels Spurbildungsversuch werden für die im Laboratorium hergestellten Asphalte an Asphalt-Probepplatten und im Rahmen des Einbauprojektes auch an Bohrkernproben durchgeführt, die aus der Straße entnommen wurden.

#### *3.2.5.2 Einaxialer Druck-Schwellversuch*

Die Durchführung des einaxialen Druck-Schwellversuchs erfolgt gemäß den TP Asphalt-StB, Teil 25 B1, Einaxialer Druck-Schwellversuch - Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme. In Einzelfällen, beispielsweise bei der Prüfung an Bohrkernproben aus dem Einbauprojekt, wird die Anzahl der Proben je Variationsstufe wegen Probenmangels auf zwei reduziert.

Bei diesem Versuch wird ein Marshall-Probekörper bzw. eine Bohrkernprobe aus der Straße bei isothermen Versuchsbedingungen einer auf der Fläche des Probekörpers gleichmäßig verteilten haversine-impulsförmigen Druck-Schwellbelastungen unterworfen.

Zuvor wird der Marshall-Probekörper bzw. die Bohrkernprobe aus der Straße orthogonal planparallel geschliffen. Der zeitliche Verlauf der Beanspruchung wird in einer Abfolge von Lastimpulsen (0,2 Sekunden) und Lastpausen (1,5 Sekunden) realisiert. Bei allen Asphaltvarianten beträgt die Unterspannung 0,025 MPa und die Oberspannung 0,35 MPa.

Die Prüftemperatur beträgt in allen Fällen  $T = +50\text{ °C}$ . Die Versuchsergebnisse werden als Impulskriechkurven dargestellt und aus diesen Kurven als Ergebnis die Dehnungsrate im Wendepunkt bzw. bei Versuchsende gemeinsam mit der Dehnung im Wendepunkt und der zugehörigen Anzahlen der Belastungszyklen tabelliert.

### 3.2.6 Rissempfindlichkeit gegenüber Kältebeanspruchung

Die Ansprache der Kälteeigenschaften - die Rissresistenz von Asphalt bei kalten Temperaturen - erfolgt mit zwei unterschiedlichen Versuchstypen, dem einaxialen Zugversuch und dem Abkühlversuch. Beide Versuchstypen sind in der DIN EN 12697-46: „Asphalt-Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 46: Rissbildung und Eigenschaften bei niedrigen Temperaturen“ beschrieben.

Für die Durchführung der Versuche werden aus Asphalt-Probepplatten oder aus Bohrkernproben prismatische Probekörper der Abmessungen 50x50x160 mm<sup>3</sup> (für Asphaltbinder) bzw. 40x40x160 mm<sup>3</sup> (Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten und Splittmastixasphalt) zurecht gesägt.

Der einaxiale Zugversuch wird bei jeweils unterschiedlichen Temperaturen von +20 °C, +5 °C, -10 °C und -25 °C an prismatischen Probekörpern durchgeführt. Dabei wird der Probekörper während der Temperierphase spannungsfrei gehalten und nach einer ausreichenden Temperierdauer mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von  $v = 1 \text{ mm/min}$ . axial auseinandergezogen. Als Ergebnis werden die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung bei der jeweiligen Prüftemperatur angegeben. Der Verlauf der Zugfestigkeit über die Temperatur wird mit Hilfe kubischer Splines aus den Ergebnissen der einzelnen Zugversuche approximiert. Mit dem Abkühlversuch wird die Beanspruchung von Asphalten bei witterungsbedingten negativen Temperaturänderungen simuliert. Der Probekörper wird bei konstant gehaltener Länge systematisch abgekühlt. Um den Versuch in einer laborökonomischen Zeitdauer durchführen zu können, wird als Abkühlgeschwindigkeit eine Temperaturrate von -10 Kelvin pro Stunde festgelegt. Aufgrund der konstant gehaltenen Länge entstehen in dem Probekörper infolge verhindertem thermischen Schrumpfes Zugbeanspruchungen, die als thermisch induzierte Zugspannungen - auch kryogene Zugspannungen genannt - bezeichnet werden.

Wenn die kryogenen Zugspannungen die Zugfestigkeit erreichen, tritt ein Riss auf. Als Ergebnis des Abkühlversuches mit verhindertem thermischen Schrumpf sind sowohl der Verlauf der kryogenen Zugspannungen über die Temperatur als auch die Bruchtemperatur und die zugehörige Bruchspannung zu nennen.

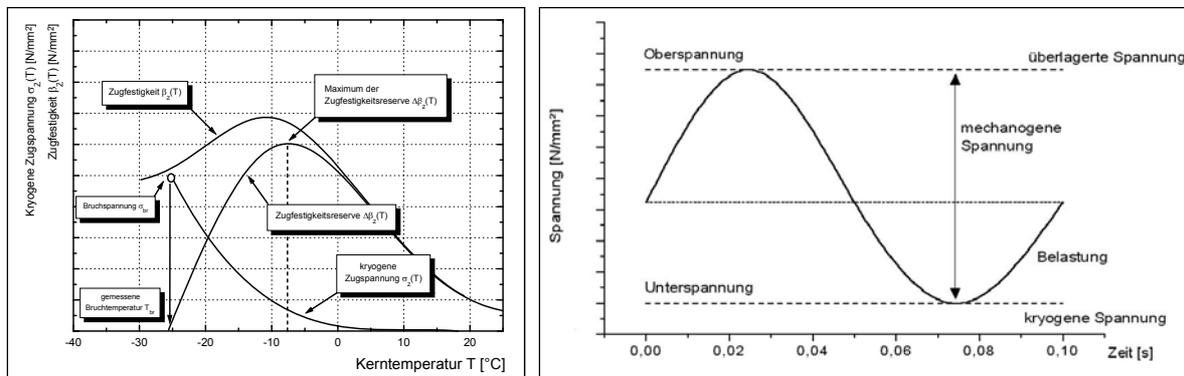
Die Bruchtemperatur ist diejenige Temperatur, bei der die Rissbildung eintritt und die Bruchspannung ist die der Bruchtemperatur zugehörige kryogene Spannung.

Zur Darstellung des Verlaufs der kryogenen Zugspannungen sowie zur Berechnung der jeweils sich ergebenden Zugfestigkeitsreserven werden die Ergebnisse des Abkühlversuchs mittels Polynom dritten Grades approximiert.

Die Differenz zwischen den Merkmalsgrößen Zugfestigkeit und kryogene Zugspannung wird als Zugfestigkeitsreserve bezeichnet. Diese Zugfestigkeitsreserve kennzeichnet die besondere Eigenschaft des Asphaltes neben abkühlungsbedingten Zugspannungen auch verkehrslastbedingte (mechanogene) Zugspannungen zu ertragen. Die Fähigkeit, gleichzeitig kryogene und mechanogene Zugspannungen aufzunehmen, ist dort am größten, wo die Zugfestigkeit ihr Maximum besitzt.

Als Ergebnis der Zugfestigkeitsreserve werden die Merkmalsgrößen maximale Zugfestigkeitsreserve  $\sigma_{\beta z}$  und die der maximalen Zugfestigkeitsreserve zugehörige Temperatur angegeben.

Bild 3.1 enthält ein Beispiel für die grafische Darstellung der Ergebnisse zur Überprüfung der Rissempfindlichkeit gegenüber Kältebeanspruchung.



**Bild 3.1:** Beispiel für die kryogene Zugspannung  $\sigma_z(T)$ , Zugfestigkeit  $\beta_z(T)$  und Zugfestigkeitsreserve  $\Delta\beta_z(T)$  in Abhängigkeit von der Asphalttemperatur (links)

**Bild 3.2:** Belastungsschema des Zug-Schwellversuchs zur Ansprache der Ermüdungseigenschaften (rechts)

### 3.2.7 Rissempfindlichkeit gegenüber Ermüdungsbeanspruchung

Zur Überprüfung der Ermüdungseigenschaften werden lastgeregelte Zug-Schwellversuche an Probekörpern der Abmessungen 50x50x160 mm<sup>3</sup> (Asphaltbinde) bzw. 40x40x160 mm<sup>3</sup> (Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten und Splittmastixasphalt) durchgeführt. Diese prismatischen Probekörper werden aus walzsektorverdichteten Asphalt-Probepplatten bzw. aus Bohrkernproben heraus gesägt.

Der Versuch ist in DIN EN 12697-46: Asphalt-Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 46: Rissbildung und Eigenschaften bei niedrigen Temperaturen detailliert beschrieben.

Danach werden die prismatischen Probekörper stirnseitig an Adapter geklebt und in eine Prüfmaschine eingesetzt. Während der Temperierphase hält die Regelungselektronik der Prüfmaschine die prismatischen Probekörper spannungsfrei. Für die Prüfungen wird eine einheitliche Prüftemperatur von  $T = -10\text{ °C}$  für alle Asphaltvarianten festgelegt. Aussagefähiger wäre es, Ermüdungseigenschaften bei mehreren Temperaturen zu überprüfen. Da diese Untersuchungen aber verhältnismäßig aufwändig sind, reicht das vorgesehene Budget hierfür nicht aus.

Die Zug-Schwellbelastung besteht aus einer Unterspannung, die der kryogenen Zugspannung des Asphalttes bei der festgelegten Prüftemperatur entspricht und dient der Simulation der in der Asphaltbefestigung vorliegenden temperaturbedingten Spannung. Die Unterspannung wird aus den Ergebnissen der zuvor durchgeführten Abkühlversuche für die hier gewählte Versuchstemperatur ermittelt.

Der Unterspannung wird zur Simulation der Verkehrsbelastung eine oszillierende mechanogene Zugspannung mit einer Frequenz von 10 Hz überlagert. Die Größe dieser mechanogenen Zugspannung wird unter Verwendung des BISAR-Programms abgeschätzt und für die hier referierten Untersuchungen auf unterschiedliche Werte festgelegt. Für den Asphaltbinder wird im Regelfall eine mechanogene Spannung von  $1,6\text{ N/mm}^2$  und für den Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten im Regelfall eine mechanogene Spannung von  $2,0\text{ N/mm}^2$  gewählt.

Das Belastungsschema des Zug-Schwellversuches ist in Bild 3.2 dargestellt.

Als Ergebnis des lastgeregelten Zug-Schwellversuches wird die Anzahl der Lastwechsel bis zum Versagen, also bis zum Bruch des prismatischen Probekörpers, ermittelt. Hohe Bruchlastwechselzahlen kennzeichnen Asphalte mit einem höheren Widerstand gegenüber Ermüdungsrissbildung.

## **4 Untersuchungsergebnisse**

### **4.1 Untersuchungen am Bitumen und am wachsmodifizierten Bindemittel**

Gemäß Aufgabenstellung wurden Straßenbaubitumen und Polymermodifizierte Bitumen wachsmodifiziert und hieran systematische Untersuchungen zu den Bindemittelkennwerten am frischen und gealterten Zustand durchgeführt. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur Destillierbarkeit in Trichlorethen und zur Extrahierbarkeit aus einem Asphaltgemisch mit Trichlorethen und mit Toluol als Lösemittel durchgeführt. Letztere Untersuchungen werden im Zusammenhang mit der an späterer Stelle referierten Asphaltmischgutherstellung im Laboratorium für die Untersuchungen zur Asphalt-Performance und der Kontrolle der Zusammensetzung des Asphalt durchgeföhrt. Die Ergebnisse der Bindemittlextraktion und zum Erweichungspunkt Ring und Kugel des rückgewonnenen Bindemittels und gegebenenfalls anderer Kennwerte werden aber bereits hier verarbeitet und diskutiert.

#### **4.1.1 Untersuchungen im nicht gealterten (frischem) Zustand**

Wie bereits ausgeföhrt (siehe Abschnitt 3.1.1), wurden jeweils ein Mengenanteil von 3 % der drei verwendeten Wachse mit dem Straßenbaubitumen 50/70 und 30/45 und mit dem PmB 25/55-55 A laborseitig nach einer zuvor optimierten und festgelegten Prozedur gemischt. An den so hergestellten wachsmodifizierten (viskositätsveränderten) Bindemitteln und den Basisbitumen wurden die wichtigsten Kennwerte bestimmt, nämlich Erweichungspunkt Ring und Kugel, Penetration und Brechpunkt nach Fraaß (siehe Tabelle 4.1.1).

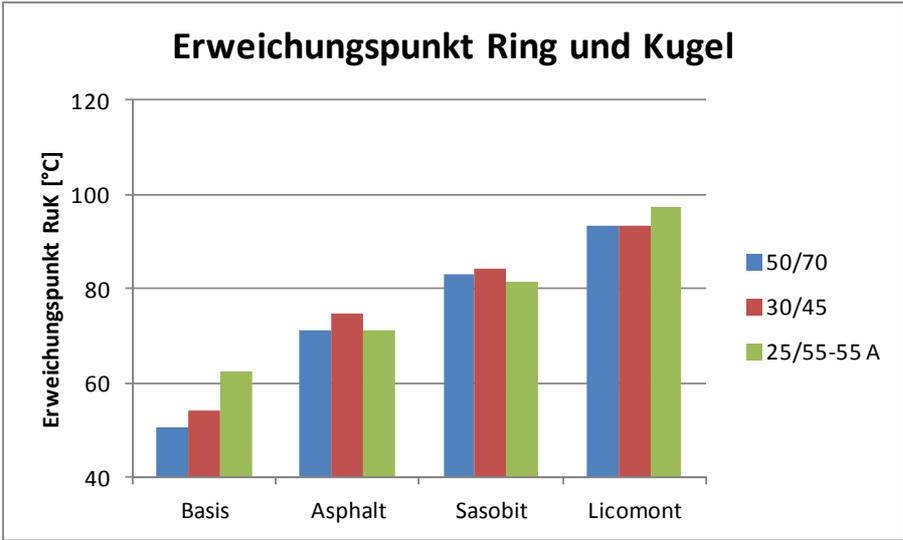
Die ermittelten rheologischen Kennwerte aus der KD-Analytik und der BBR-Analytik sind in den Anhängen A2.1 und A2.2 beigefügt. Ausgewählte Kenndaten hieraus enthalten für die KD-Versuche für Prüftemperaturen von +15 °C und +20 °C Tabelle 4.1.2 und für die BBR-Versuche bei Prüftemperaturen von -25 °C, -16 °C und -10 °C Tabelle 4.1.3.

**Tabelle 4.1.1: Konventionelle Kennwerte der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel**

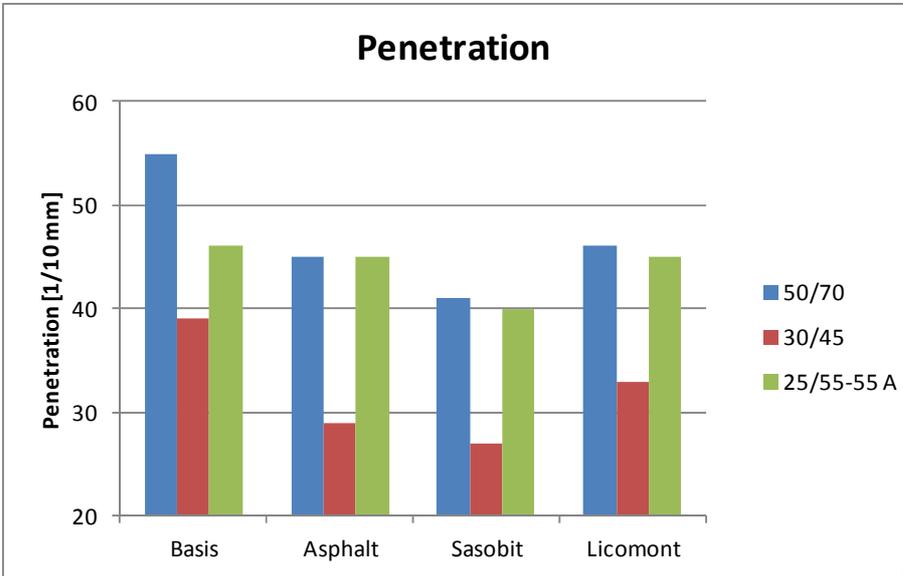
	Art und Sorte des Basisbitumens								
Art des Zusatzes	50/70			30/45			25/55-55 A		
	EP [°C]	Pen [1/10 mm]	BP [°C]	EP [°C]	Pen [1/10 mm]	BP [°C]	EP [°C]	Pen [1/10 mm]	BP [°C]
Basis	50,4	55	-12,6	54,1	39	-11,4	62,3	46	-17,3
Asphaltan	71,2	45	-9,8	74,8	29	-9,1	71,1	45	-18,5
Sasobit	83,1	41	-9,8	84,2	27	-8,9	81,5	40	-16,2
Licomont	93,5	46	-12,2	93,5	33	-10,5	97,4	45	-16,4
Abkürzung	EP: Erweichungspunkt Ring und Kugel			Pen: Penetration			BP: Breachpunkt nach Fraaß		

**Tabelle 4.1.2: Kennwerte aus dem KD-Versuch der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel bei +15 °C und +20 °C**

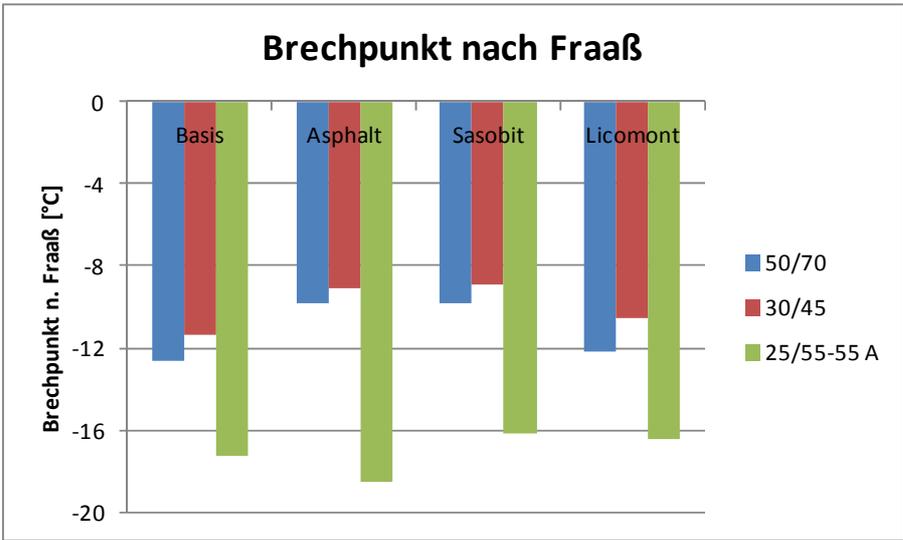
		Art und Sorte des Basisbitumens					
Prüftemperatur	Art des Zusatzes	50/70		30/45		25/55-55 A	
		Kraft F [N]	E <sub>0,2-0,4</sub> [J/cm <sup>2</sup> ]	Kraft F [N]	E <sub>0,2-0,4</sub> [J/cm <sup>2</sup> ]	Kraft F [N]	E <sub>0,2-0,4</sub> [J/cm <sup>2</sup> ]
+15 °C	Basis	10,7	0,082	21,6	0,150	17,4	1,328
	Asphaltan	27,1	1,452	41,8	0,092	25,3	1,979
	Sasobit	33,0	0,125	52,2	0,095	31,0	2,366
	Licomont	26,6	0,099	38,6	0,147	28,3	2,314
+20 °C	Basis	3,7	0,240	6,9	0,043	5,1	0,366
	Asphaltan	11,3	0,490	15,7	0,096	10,0	0,777
	Sasobit	18,4	0,903	25,6	0,117	13,2	1,060
	Licomont	12,1	0,785	17,0	0,072	13,1	1,089



**Bild 4.1.1: Änderung des Erweichungspunktes Ring und Kugel durch Wachsmodifizierung**



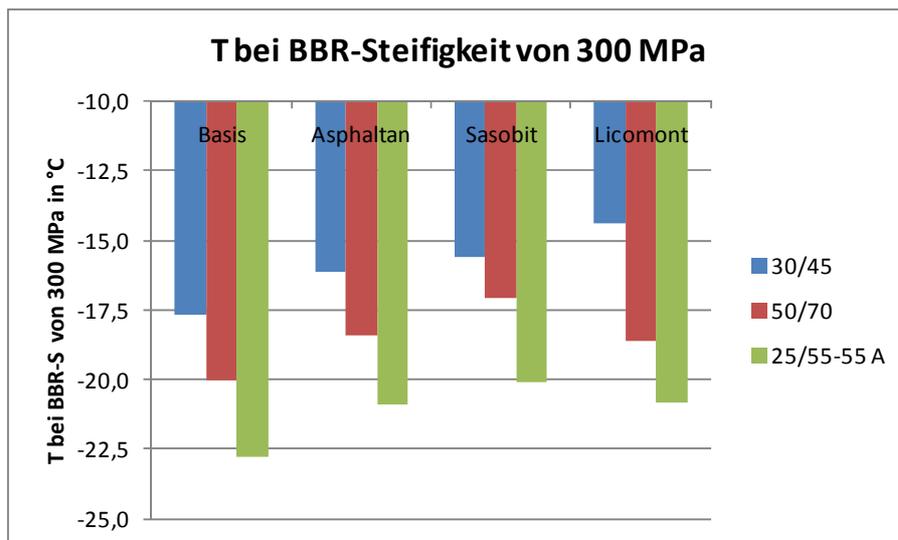
**Bild 4.1.2: Änderung der Penetration durch Wachsmodifizierung**



**Bild 4.1.3: Änderung des Brechtupunktes nach Fraaß durch Wachsmodifizierung**

**Tabelle 4.1.3: Kennwerte aus dem BBR-Versuch der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel**

Prüf-temperatur	Art des Zu-satzes	Art und Sorte des Basisbitumens					
		50/70		30/45		25/55-55 A	
		S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]	S [MPa]	m [-]
-25 °C	Basis	460,2	0,200	615,6	0,187	372,6	0,226
	Asphaltan	594,8	0,203	711,3	0,177	444,6	0,195
	Sasobit	611,3	0,194	734,8	0,180	466,8	0,213
	Licomont	640,1	0,188	528,3	0,152	446,0	0,223
-16 °C	Basis	196,0	0,335	247,4	0,309	136,1	0,304
	Asphaltan	226,9	0,295	295,1	0,261	175,6	0,293
	Sasobit	265,0	0,280	311,6	0,230	192,0	0,303
	Licomont	212,8	0,274	345,2	0,256	176,3	0,289
-10 °C	Basis	78,2	0,432	125,8	0,388	68,6	0,395
	Asphaltan	116,5	0,350	137,5	0,286	90,2	0,342
	Sasobit	113,2	0,361	165,9	0,315	90,4	0,340
	Licomont	115,2	0,363	158,2	0,320	80,2	0,340
Temperatur in °C bei ei- ner Stei- figkeit von 300 MPa	Basis	- 20,0		- 17,7		- 22,8	
	Asphaltan	- 18,4		- 16,1		- 20,9	
	Sasobit	- 17,1		- 15,6		- 20,1	
	Licomont	- 18,6		- 14,4		- 20,8	



**Bild 4.1.4:** Änderung der Temperatur bei einer BBR-Steifigkeit von 300 MPa durch Wachsmodifizierung

Die Ergebnisse der DSR-Analytik und die Untersuchungsergebnisse zu den dynamischen Viskositäten werden gemeinsam mit dem Einfluss der Alterung dokumentiert und erläutert.

Die Erweichungspunkte Ring und Kugel, Penetration und Brechpunkte nach Fraaß, sowie die aus dem BBR-Versuch abgeleitete einer Steifigkeit von 300 MPa zugehörigen Temperatur sind in den Bildern 4.1.1 bis 4.1.4 histografisch veranschaulicht. Die maximale Kraft und die Formänderungsarbeit  $E_{0,2-0,4}$  liegen in Tabelle 4.1.2 vor.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass unabhängig von der Art und Sorte des Basisbitumens durch die Wachsmodifizierung das Bindemittel höher viskos, also „härter“ wird, was sich in einem Anstieg des Erweichungspunktes und einer Reduzierung der Penetration und einer Erhöhung des Brechpunktes auswirkt. Die Anstiege der Erweichungspunkte sind erwartungskonform und decken sich mit den Angaben der Hersteller der Produkte (siehe Tabelle 2.2).

Auffällig ist aber die Beobachtung, dass die Penetration nicht in dem Maße fällt, wie es der extreme Anstieg des Erweichungspunktes erwarten ließe.

Bei der Interpretation dieses Phänomens sind auch die unterschiedlichen Temperaturbereiche zu berücksichtigen, bei denen der entsprechende Kennwert ermittelt wird.

Der Brechpunkt wird durch die Wachsmodifizierung nur tendenziell größer. Weil aber die Verfahrenspräzision mit berücksichtigt werden muss, liegen die Brechpunkte der Basisbitumen und die der zugehörigen viskositätsveränderten Bindemittel auf einem vergleichbaren Niveau.

Die Kraftduktilität des mit Straßenbaubitumen hergestellten Bindemittelgemisches liefert so kleine Werte für die Formänderungsarbeit  $E_{0,2-0,4}$ , dass die Messwerte nicht interpretierbar sind. Die maximale Kraft wird meistens größer - die Licomont-Variante bildet hierbei eine Ausnahme. Bei dem Polymermodifizierten Bitumen stellt sich bei allen Wachsmodifizierungen die charakteristische Kurve ein, die Formänderungsarbeit  $E_{0,2-0,4}$  steigt ebenso an wie die maximale Kraft  $F_{max}$ .

Ob hiermit gute oder ungünstige Eigenschaften charakterisiert werden, ist in der Bitumentechologie noch nicht umfassend genug geklärt und kann nur im Zusammenhang mit den asphalttechnologischen Eigenschaften gesehen werden. Zumindest werden die Duktilitätskurven kürzer, d.h. der Faden erreicht durch die Wachsmodifizierung nicht mehr die ursprüngliche Länge, was als Nachteil für das duktile Verhalten zu sehen ist.

Die BBR-Versuche gestatten eine Aussage zu den Kälteeigenschaften der Bindemittel. Danach werden die Temperaturen bei der BBR-Steifigkeit von 300 MPa durch die Wachsmodifizierung regelmäßig größer, d.h. das Kälteverhalten ist immer ungünstiger zu beurteilen.

Es kann auch beobachtet werden, dass die Abmischung mit Amidwachs mit dem Basisbitumen 50/70 und auch mit dem PmB trotz höherer Erweichungspunkte im Vergleich zur Montanwachs- und FT-Wachs-Additivierung günstiger abschneidet.

#### 4.1.2 Untersuchungen am gealterten Bindemittel

Die drei Basisbitumen und deren drei Wachsmodifizierungen werden RTFOT- und RTFOT&PAV- gealtert, die Erweichungspunkte bestimmt und die DSR-Analytik und

die Rotationsviskosimetrie durchgeführt. Die so gewonnenen Datensätze sind sehr umfangreich und sind auf dem Server des ISBS abgelegt. Ausgewählte Grafiken können den Anhängen entnommen werden.

Im Anhang A2.3 sind mit den Rohdaten der DSR-Analytik der komplexe Schermodul und der zugehörige Phasenwinkel in Abhängigkeit von der Temperatur eingezeichnet und im Anhang A2.4 der komplexe Schermodul gegen den Phasenverschiebungswinkel (Black-Diagramm). Die komplexen Schermoduln und die zugehörigen Phasenwinkel sind in den Tabellen 4.1.5 und 4.1.6 übertragen. In Tabelle 4.1.4 sind auch die Erweichungspunkte Ring und Kugel zu finden. Die Werte der nicht gealterten Bitumen bzw. Bindemittel weichen im Detail von denen der Tabelle 4.1.1 ab, weil die Untersuchungen zur Alterung zu einem späteren Zeitpunkt an anderen Teilproben

**Tabelle 4.1.4: Untersuchungen zur Alterung der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel. Hier: Erweichungspunkt Ring und Kugel**

Ifd. Nr.	Basisbitumen und Art des Zusatzes	Erweichungspunkt RuK in °C im Alterungszustand		
		nicht gealtert	RTFOT	RTFOT&PAV
II.1	50/70 ohne Zusatz	50,9	56,2	61,9
II.3	50/70 + Asphaltan B	72,0	73,5	75,6
II.2	50/70 + Sasobit	85,0	87,0	87,5
II.4	50/70 + Licomont	96,0	93,0	92,5
I.1	30/45 ohne Zusatz	54,6	59,5	66,2
I.3	30/45 + Asphaltan	77,0	75,7	76,6
I.2	30/45 + Sasobit	85,1	87,5	87,7
I.4	30/45 + Licomont	97,2	96,8	94,8
III.1	25/55-55 A ohne Zusatz	62,8	63,5	74,5
III.3	25/55-55 A + Asphaltan	67,7	75,8	85,9
III.2	25/55-55 A + Sasobit	77,6	83,5	88,1
III.4	25/55-55 A + Licomont	93,5	96,5	97,1

des Bitumens wiederholt durchgeführt wurden. Sie wurden so übernommen, um den unmittelbaren Vergleich zur Referenz (nicht gealtertes Bindemittel) zu ermöglichen.

Die dynamischen Viskositäten sind sowohl für den Erwärmungs- als auch für den Abkühlungstrend in unterschiedlichen Darstellungsformen in den Anhängen A2.5 bis A2.7 abgelegt. In die Tabellen 4.1.7 bis 4.1.9 sind die dynamischen Viskositäten bei den Temperaturen von 80 °C, 100 °C und 120 °C übertragen.

**Tabelle 4.1.5: Untersuchungen zur Alterung der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel. Hier: Komplexer Schermodul  $G^*$  ( $T=60\text{ °C}$ )**

Ifd. Nr.	Basisbitumen und Art des Zusatzes	DSR-Schermodul $G^*$ bei $T=60\text{ °C}$ in kPa im Alterungszustand		
		nicht gealtert	RTFOT	RTFOT&PAV
II.1	50/70 ohne Zusatz	3,2	5,9	12,6
II.3	50/70 + Asphaltan	6,3	9,8	17,0
II.2	50/70 + Sasobit	8,8	14,7	24,9
II.4	50/70 + Licomont	11,8	15,3	27,5
I.1	30/45 ohne Zusatz	5,6	10,8	22,2
I.3	30/45 + Asphaltan	6,7	13,9	26,8
I.2	30/45 + Sasobit	12,7	22,3	40,5
I.4	30/45 + Licomont	13,4	23,7	50,9
III.1	25/55-55 A ohne Zusatz	6,3	10,9	23,4
III.3	25/55-55 A + Asphaltan	10,3	15,9	30,9
III.2	25/55-55 A + Sasobit	13,2	19,4	37,2
III.4	25/55-55 A + Licomont	17,7	19,9	37,9

**Tabelle 4.1.6: Untersuchungen zur Alterung der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel. Hier: DSR-Phasenwinkel  $\delta$  (T= 60 °C)**

Ifd. Nr.	Basisbitumen und Art des Zusatzes	DSR-Phasenwinkel $\delta$ (T=60 °C) in ° im Alterungszustand		
		nicht gealtert	RTFOT	RTFOT&PAV
II.1	50/70 ohne Zusatz	87,5	85,3	81,6
II.3	50/70 + Asphaltan	81,1	80,4	78,2
II.2	50/70 + Sasobit	76,4	78,8	76,3
II.4	50/70 + Licomont	70,4	73,7	73,8
I.1	30/45 ohne Zusatz	86,3	83,8	79,9
I.3	30/45 + Asphaltan	82,4	80,8	78,2
I.2	30/45 + Sasobit	75,7	76,8	75,8
I.4	30/45 + Licomont	75,6	74,5	72,5
III.1	25/55-55 A ohne Zusatz	71,2	68,1	62,7
III.3	25/55-55 A + Asphaltan	61,3	61,4	58,3
III.2	25/55-55 A + Sasobit	58,0	59,5	56,5
III.4	25/55-55 A + Licomont	51,2	53,1	54,1

**Tabelle 4.1.7: Untersuchungen zur Alterung der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel. Hier: Dynamische Viskosität im Erwärmungstrend/Abkühlungstrend**

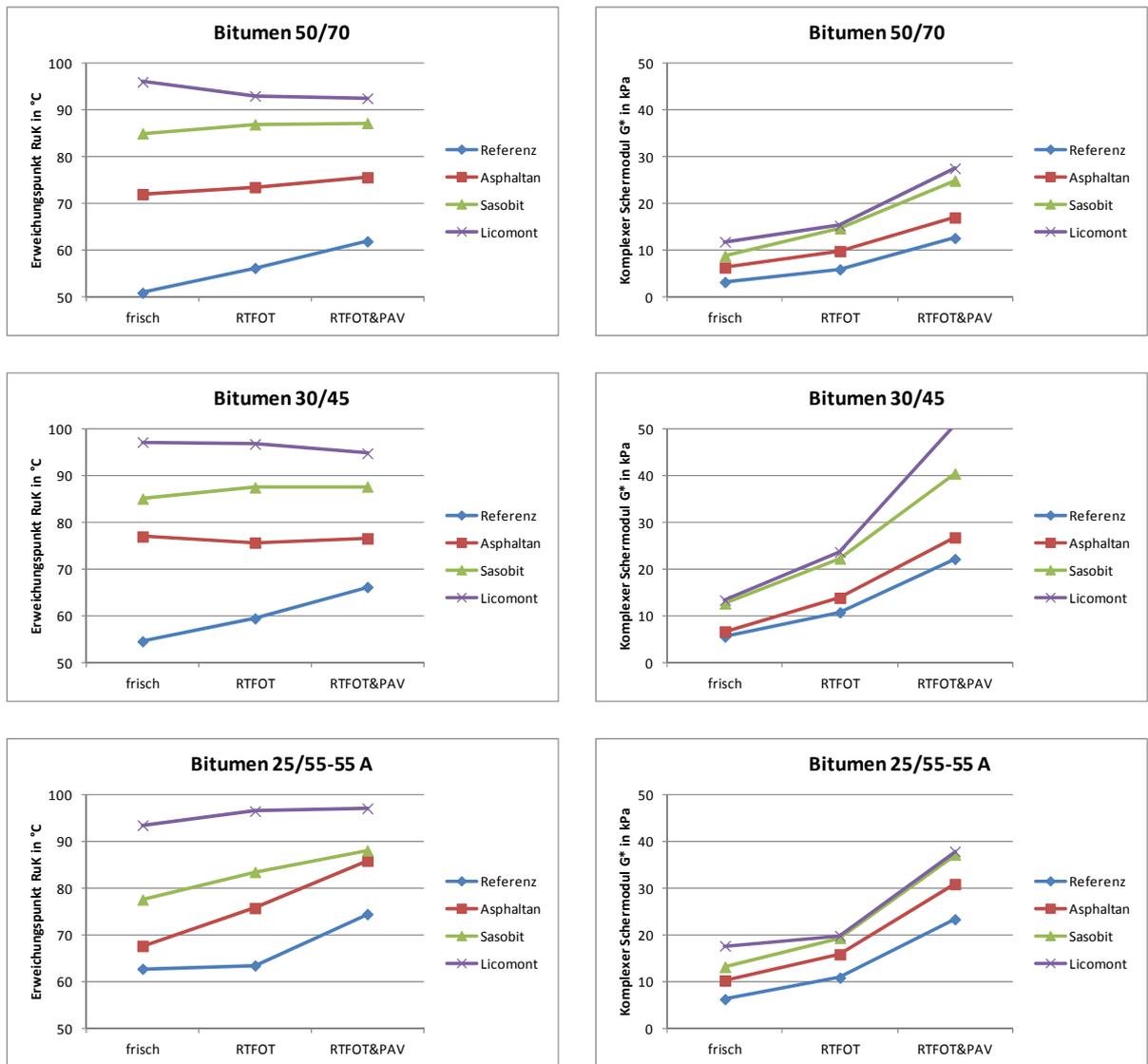
Ifd. Nr.	Basisbitumen und Art des Zusatzes	Dynamische Viskosität Erwärmungs-/Abkühlungstrend bei T=80 °C in Pas im Alterungszustand					
		nicht gealtert		RTFOT		RTFOT&PAV	
		Erwärm	Abkühl	Erwärm	Abkühl	Erwärm	Abkühl
II.1	50/70 ohne Zusatz	19,84	19,42	31,80	31,72	63,91	61,93
II.3	50/70 + Asphaltan	17,49	13,80	27,48	23,17	48,71	41,76
II.2	50/70 + Sasobit	18,65	12,97	32,85	23,14	56,73	44,89
II.4	50/70 + Licomont	35,15	144,92	51,99	166,48	83,55	170,25
I.1	30/45 ohne Zusatz	28,66	28,33	53,60	52,71	106,74	104,04
I.3	30/45 + Asphaltan	23,05	18,69	42,18	35,92	85,64	77,82
I.2	30/45 + Sasobit	26,04	17,82	47,51	34,34	89,91	73,37
I.4	30/45 + Licomont	48,29	153,94	89,90	223,83	166,81	297,92
III.1	25/55-55 A ohne Zusatz	85,47	85,54	138,33	136,29	402,01	395,75
III.3	25/55-55 A + Asphaltan	72,55	63,26	101,27	94,29	406,28	428,40
III.2	25/55-55 A + Sasobit	85,42	66,44	144,81	129,53	417,19	446,93
III.4	25/55-55 A + Licomont	112,23	204,10	162,06	223,44	406,96	503,56

**Tabelle 4.1.8: Untersuchungen zur Alterung der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel. Hier: Dynamische Viskosität im Erwärmungstrend/Abkühlungstrend**

Ifd. Nr.	Basisbitumen und Art des Zusatzes	Dynamische Viskosität Erwärmungs-/Abkühlungstrend bei T=100 °C in Pas im Alterungszustand					
		nicht gealtert		RTFOT		RTFOT&PAV	
		Erwärm	Abkühl	Erwärm	Abkühl	Erwärm	Abkühl
II.1	50/70 ohne Zusatz	3,20	3,13	4,57	4,55	7,48	7,34
II.3	50/70 + Asphaltan	2,59	2,37	3,58	3,36	5,35	5,14
II.2	50/70 + Sasobit	2,32	2,26	3,57	3,45	5,29	5,17
II.4	50/70 + Licomont	4,96	9,81	6,13	11,05	6,78	8,71
I.1	30/45 ohne Zusatz	4,28	4,23	7,00	6,78	11,55	11,82
I.3	30/45 + Asphaltan	3,25	2,97	5,13	4,65	8,62	8,13
I.2	30/45 + Sasobit	2,98	2,91	4,86	4,71	7,86	7,65
I.4	30/45 + Licomont	6,57	12,70	9,14	13,19	12,08	13,03
III.1	25/55-55 A ohne Zusatz	14,03	13,89	17,13	18,79	42,33	40,94
III.3	25/55-55 A + Asphaltan	10,82	10,70	13,76	13,67	41,89	40,13
III.2	25/55-55 A + Sasobit	10,89	10,95	16,94	17,28	40,68	39,37
III.4	25/55-55 A + Licomont	13,93	45,86	16,65	14,25	28,45	33,45

**Tabelle 4.1.9: Untersuchungen zur Alterung der Basisbitumen und der wachsmodifizierten Bindemittel: Hier: Dynamische Viskosität im Erwärmungstrend/Abkühlungstrend**

Ifd. Nr.	Basisbitumen und Art des Zusatzes	Dynamische Viskosität Erwärmungs-/Abkühlungstrend bei T=120 °C in Pas im Alterungszustand					
		nicht gealtert		RTFOT		RTFOT&PAV	
		Erwärm	Abkühl	Erwärm	Abkühl	Erwärm	Abkühl
II.1	50/70 ohne Zusatz	0,81	0,80	1,08	1,08	1,52	1,52
II.3	50/70 + Asphaltan	0,66	0,64	0,86	0,84	1,13	1,15
II.2	50/70 + Sasobit	0,63	0,62	0,88	0,86	1,14	1,13
II.4	50/70 + Licomont	0,62	0,62	0,77	0,76	1,01	0,98
I.1	30/45 ohne Zusatz	1,03	1,02	1,51	1,48	2,20	2,19
I.3	30/45 + Asphaltan	0,79	0,77	1,14	1,10	1,69	1,67
I.2	30/45 + Sasobit	0,77	0,76	-	1,11	1,59	1,58
I.4	30/45 + Licomont	0,76	0,75	1,06	1,05	1,52	1,50
III.1	25/55-55 A ohne Zusatz	3,46	3,41	4,08	3,97	7,15	6,90
III.3	25/55-55 A + Asphaltan	2,70	2,70	3,11	3,10	6,58	6,37
III.2	25/55-55 A + Sasobit	2,71	2,72	3,65	3,86	6,44	6,24
III.4	25/55-55 A + Licomont	2,16	2,17	2,39	2,33	3,58	3,43



**Bild 4.1.5: Erweichungspunkt RuK (links) und Komplexer Schermodul G\*, T=60 °C, f=1,59 Hz (rechts) für drei Bitumen und deren Modifizierung mit drei Wachsen, frisch und gealtert**

Bild 4.1.5 gibt einen guten Überblick über den Einfluss der Alterung auf den Erweichungspunkt Ring und Kugel. Bei den beiden Straßenbaubitumen ändern sich die Erweichungspunkte durch die Wachsmodifizierung wenig bzw. gar nicht. Bei der Licomont-Variante mit Straßenbaubitumen fällt sogar der Erweichungspunkt Ring und Kugel. Bei der PmB-Variante mit Licomont ändern sich die Erweichungspunkte Ring und Kugel durch die Alterung ebenfalls praktisch nicht.

Bei den Asphaltan- und Sasobit-Abmischungen mit PmB steigt der Erweichungspunkte aufgrund der RTFOT&PAV-Alterung in ähnlicher Größenordnung wie bei dem nicht wachsmodifiziertem PmB.

Es stellt sich die Frage, ob der Erweichungspunkt RuK überhaupt geeignet ist, die Änderung der Bindemittleigenschaften aufgrund eines Alterungsangriffs zu beschreiben. Untersuchungen am sogenannten H PmB 10/100-65 A im Rahmen des Forschungsprojektes FE 07.0224/2008/BGB [42] lassen ebenfalls Zweifel aufkommen.

Die komplexen Schermoduln steigen durch die Alterung regelmäßig an, auch bei denjenigen Varianten, bei denen kein Anstieg des Erweichungspunktes festgestellt werden konnte. Die mit Licomont additivierten Bindemittel weisen in allen Fällen die höchsten Werte für den komplexen Schermodul auf.

Die wichtigsten Kenngrößen zur Beurteilung des Einflusses der Wachse auf die Herstellung und die Verarbeitung der mit ihnen hergestellten Asphalte sind die Viskositäten, was bereits durch die Verwendung der Begriffe „viskositätsveränderte“ Bindemittel und „viskositätsverändernde“ organische Zusätze im Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt angezeigt wird.

Die einschlägige Fachliteratur nennt hierzu entsprechende Werte für die einzelnen Stufen der Verarbeitung, Eindüsen, Vermischen und Verdichten. Die „alte“ DIN 1996, Teil 4 bezieht sich für die Verdichtung im Laboratorium letztlich auf Viskositäten zwischen 0,5 und 0,6 Pascalsekunden (Pas). Die DIN EN 12697, Teil 35 greift bei der Festlegung der Referenztemperatur auf Viskositäten in ähnlicher Größenordnung zurück.

Bei der Durchführung der Viskositätsmessung mit dem Rotationsviskosimeter wurden Temperatursweeps vom tiefen zum hohen Temperaturniveau und dann wieder vom hohen zum tieferen durchgeführt. Dabei wurde für die wachsmodifizierten Bindemittel festgestellt, dass sich die Viskositätskurven im Erwärmungstrend und im Abkühlungstrend teilweise erheblich unterscheiden.

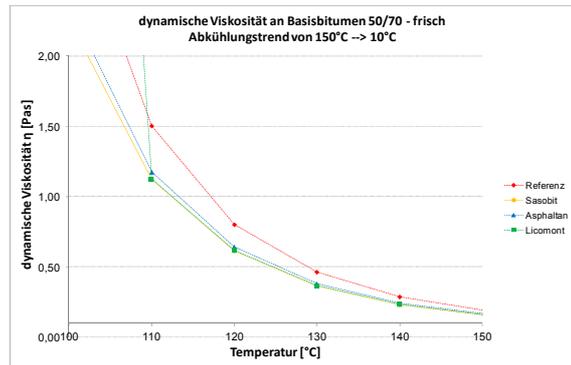
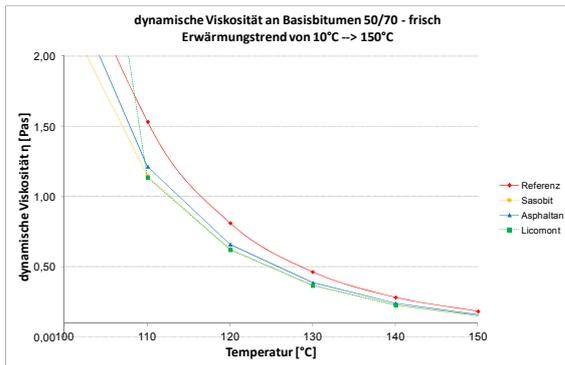
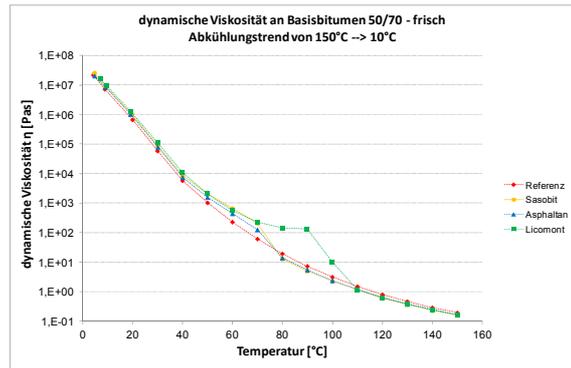
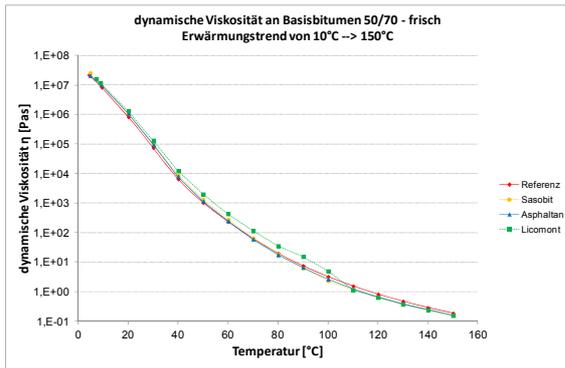


Bild 4.1.6: Dynamische Viskosität - Bindemittel 50/70

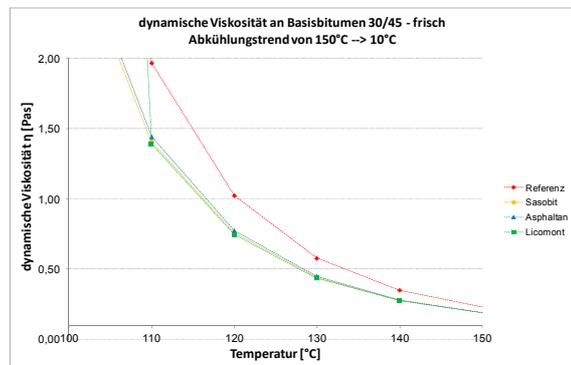
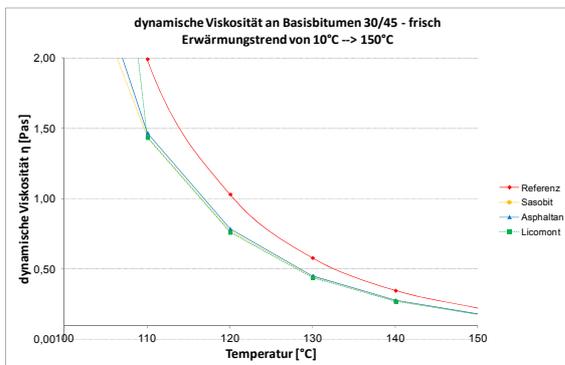
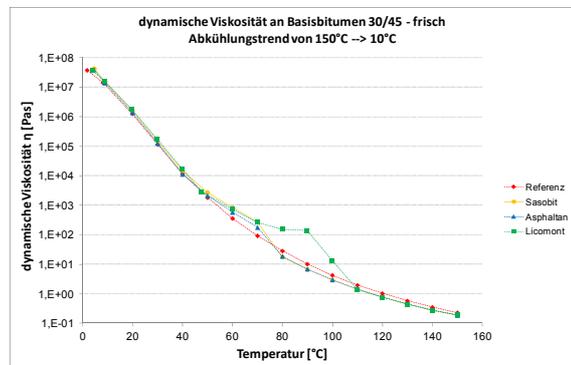
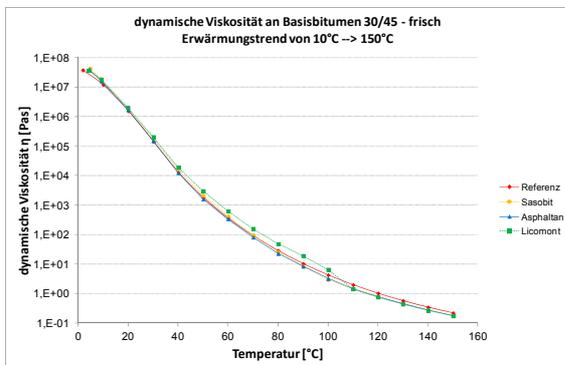
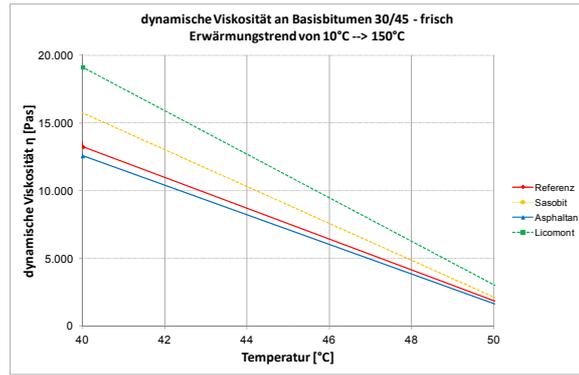
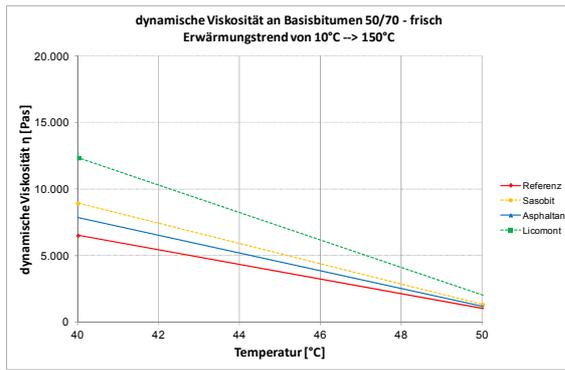
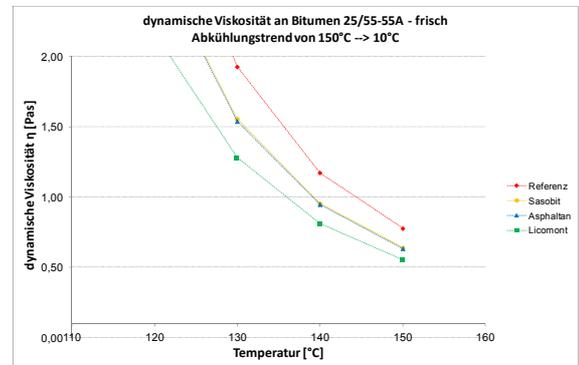
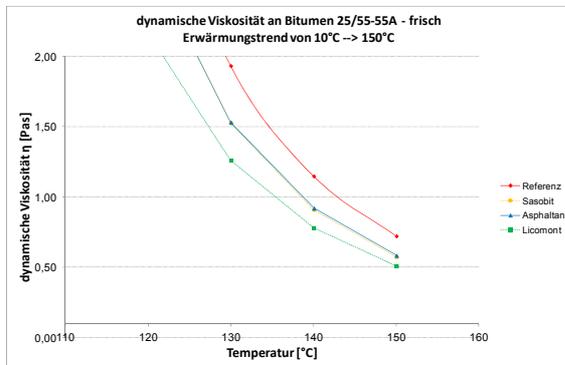
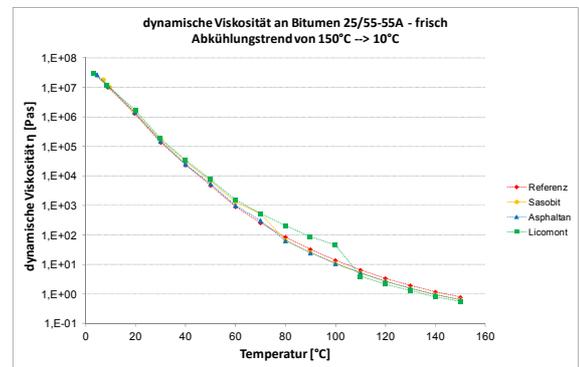
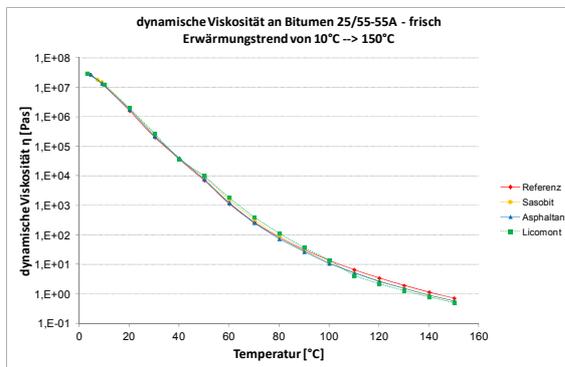


Bild 4.1.7: Dynamische Viskosität - Bindemittel 30/45



**Bild 4.1.8: Dynamische Viskositäten der Bindemittel 50/70 (links) und 30/45 (rechts) im Gebrauchstemperaturbereich 40 °C bis 50 °C**



**Bild 4.1.9: Dynamische Viskosität - Bindemittel 25/55-55 A**

Diese Feststellung ist auch plausibel, da sich die Wachse durch unterschiedliche Bereiche für den Tropfpunkt, der das Aufschmelzverhalten charakterisiert, und den Erstarrungspunkt unterscheiden. Diese Hystereseeffekte sind für die Verarbeitung und für das Verbrauchsverhalten von entscheidender Bedeutung.

Der Anhang A2.5 enthält jeweils auf einem Blatt die im Abkühlungstrend und im Erwärmungstrend ermittelten Viskositätskurven. Zunächst ist festzustellen, dass die

Hystereseeffekte auch nach Alterung auf einem etwas höheren Viskositätsniveau erhalten bleiben.

Im Beispiel Basisbitumen 30/45 nicht gealtert (siehe Bild 4.1.7) kann stellvertretend für die übrigen Varianten erläutert werden, dass die Ausprägung der Hysterese im Abkühlungstrend erheblich größer ist als im Erwärmungstrend und - in der Praxis bisher meistens vernachlässigt - die Lage der Hysterese, also der Umschlag von einer niedrigeren Viskosität zu einer höheren, unterschiedlichen Temperaturen zuzuordnen ist.

Die Asphaltan- und Sasobit-Abmischungen schneiden die Viskositätskurven des Basisbitumens in einem Abkühlungstrend im Temperaturbereich von 80 °C und im Erwärmungstrend bei tieferen Temperaturen. Darüber hinaus liegen die Kurven im Erwärmungstrend etwas dichter zusammen, d.h. die dynamischen Viskositäten differenzieren die Basisbitumen und deren Abmischungen etwas weniger. Gut zu erkennen ist, dass das Licomont auf charakteristisch andere Kurvenverläufe führt. Die Viskositäten im Abkühlungstrend steigen bereits bei Temperaturen von 110 °C deutlich an und wachsen bei Temperaturen 100 °C bis 90 °C auf ein Vielfaches.

Für die Beurteilung der mutmaßlichen Verdichtungseigenschaften des mit viskositätsverändertem Bindemittel hergestellten Asphalttes sind auf jeden Fall Viskositätskurven im Abkühlungstrend zu ermitteln, um den Umschlagspunkt der Viskosität von einer die Verdichtung begünstigenden niedrigeren Viskosität zur einer die Verdichtung ungünstig beeinflussenden höheren Viskosität zu erkennen.

Die zentrale Frage für die etwaige Festlegung der Verdichtungstemperatur ist die nach dem „Temperaturgewinn“. In den diskutierten Beispielen wird der Temperaturbereich 100 °C bis 150 °C heraus gezoomt und eine lineare Skalierung der Ordinate gewählt (siehe Bilder 4.1.6, 4.1.7 und 4.1.9).

Wird die der Temperatur von 135 °C zugehörige Viskosität des Basisbitumens auf die wachsmodifizierten Bindemittel übertragen, ist unabhängig von der Art der Wachsmodifizierung ein Temperaturunterschied von ungefähr 7 Kelvin festzustellen. In dem Temperaturbereich der Verdichtung unterscheiden sich die mit Asphaltan, Sasobit und Licomont additivierten Bitumen in ihrer dynamischen Viskosität also wenig. Diese Feststellung gilt für die Abmischungen mit den beiden Straßenbaubitumen.

Bei dem Zusammenwirken des Amidwachses Licomont mit dem PmB ist ein etwas größerer Einfluss zu erkennen. Aber auch hier ist der festgestellte Temperaturgewinn gegenüber dem Basisbitumen absolut gesehen verhältnismäßig gering. Eine Temperaturdifferenz von mehr als 10 Kelvin wird in keinem Fall erreicht.

Bemerkenswert ist auch die Feststellung, dass im Bereich der unteren Verdichtungs-temperatur von  $T_v = 120 \text{ °C}$  der Einfluss der Bindemittelart, also Straßenbaubitumen oder Polymermodifiziertes Bitumen, erheblich größer ist als der Einfluss einer Wachsmodifizierung (siehe Tabelle 4.1.9).

Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu einigen Berichten aus der Praxis, wonach auch für Walzasphalte von Temperaturgewinnen von bis zu 20 Kelvin oder auch mehr berichtet wird, ohne allerdings diese Aussagen mit belastbarem Zahlenmaterial zu belegen.

Im Gebrauchstemperaturbereich des Asphalttes steigen die Viskositäten der wachsmodifizierten Bindemittel erkennbar. In Bild 4.1.8 sind beispielhaft für die Bitumen 50/70 und 30/45 und die jeweiligen drei Wachsmodifizierungen die Viskositäten im Temperaturbereich 40 bis 50 °C heraus gezoomt, wobei die den Messpunkten 40 °C und 50 °C zugehörigen Viskositäten geradlinig verbunden wurden. Die mit Wachs veränderten Bindemittel sind mit Ausnahme des mit Asphaltan modifizierten 30/45 höher viskos, also härter. Eine etwaige Verbesserung der Asphalteigenschaft Verformung wäre also mit der ansteigenden Viskosität des Bindemittels in diesem Temperaturbereich zu erklären.

#### 4.1.3 Untersuchungen zur Destillier- und Extrahierbarkeit

Die Untersuchungen zur Destillierbarkeit sind mit allen Basisbitumen und deren Abmischungen durchgeführt worden. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel und der Penetration. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.1.10 aufgelistet.

**Tabelle 4.1.10: Konventionelle Kennwerte nach Destillation aus einem Bindemittel/Trichlorethen-Gemisch**

Art des Zusatzes	Art und Sorte des Basisbitumens					
	50/70		30/45		25/55-55 A	
	EP [°C]	Pen [1/10mm]	EP [°C]	Pen [1/10mm]	EP [°C]	Pen [1/10mm]
ohne (Basisbitumen)	51,0	50	55,2	35	64,9	44
Asphaltan	69,4	40	71,1	31	72,3	52
Sasobit	83,5	37	84,7	30	81,8	38
Licomont	fehlt	44	93,2	31	94,9	39
Abkürzung	EP: Erweichungspunkt Ring und Kugel			Pen: Penetration		

Die Untersuchungen zur Extrahierbarkeit sind bei der Extraktion der Bindemittel aus den im Laboratorium hergestellten Asphalten angefallen. Insbesondere handelt es sich hierbei um Erweichungspunkte RuK (siehe Tabelle 4.1.11).

Darüber hinaus wurden Asphalte mit Bitumen 50/70 und mit PmB 25/55-55 A auch mit Toluol extrahiert und die Erweichungspunkte RuK festgestellt.

Bild 4.1.10 kann entnommen werden, dass es letztlich kein Problem ist, das Bindemittel aus einem Lösemittel-Bindemittel-Gemisch und auch aus einem Asphaltgemisch zurückzugewinnen. Die Erweichungspunkte RuK am mit Trichlorethen rückgewonnenen Bindemittel stellen sich in der gleichen Größenordnung ein, wie die am frischen Bindemittel.

Die Werte für die Erweichungspunkte RuK nach Extraktion liegen mit einer Ausnahme immer etwas höher als im frischen Zustand; eine erfahrungskonforme Feststellung.

**Tabelle 4.1.11: Sammlung der Werte für den Erweichungspunkt RuK in [°C] aus der Bindemittelextraktion der Asphaltgemische für die Überprüfung der Asphalt-Performance**

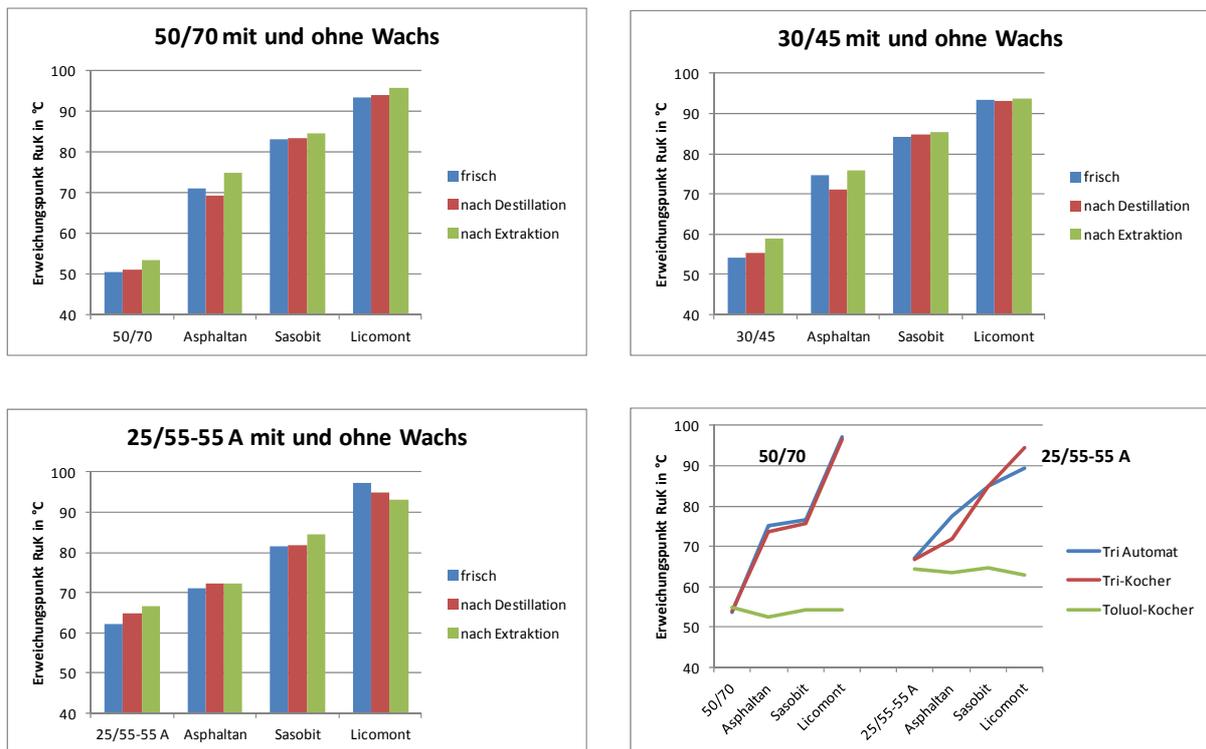
	<b>Art und Sorte der verwendeten Basisbitumen für die Herstellung der Asphaltbinder und Asphaltbetone für Asphaltdeckschichten</b>			
<b>Art des Zusatzes</b>	<b>50/70</b>	<b>30/45</b>	<b>25/55-55 A</b>	<b>25/55-55 A</b>
	<b>AC 11 DS</b>	<b>AC 16 BS</b>	<b>AC 11 DS</b>	<b>AC 16 BS</b>
ohne (Basisbitumen)	53,0	58,6	65,0	64,6
	53,0	56,6	67,4	66,8
	52,8	61,2	66,8	66,2
	53,8	58,6	67,0	67,2
	54,0		65,8	69,2
Mittelwert	53,3	58,8	66,4	66,8
Standardabw.	0,54	1,89	0,98	1,67
Asphaltn	75,0	76,2	70,2	68,0
	73,6	75,8	73,8	69,2
	75,8	75,8	77,4	70,8
			71,8	73,8
			74,2	74,8
Mittelwert	74,5	75,9	73,5	71,3
Standardabw.	1,11	0,23	2,72	2,92
Sasobit	84,5	85,5	82,5	85,5
	84,5	85,5	85,0	(78,2)
		85,5	85,0	84,0
			84,3	86,0
Mittelwert	84,5	85,5	84,2	85,2
Standardabw.	-	0,00	1,18	1,04
Licomont	97,0	88,0	86,0	(65,4)
	96,5	97,0	91,5	86,0
	94,0	96,0	99,5	95,0
			94,5	97,0
			92,5	95,2
Mittelwert	95,8	93,7	92,8	93,3
Standardabw.	1,61	4,93	4,89	4,95

Den Einzelfall bildet die Variation 25/55-55 A mit Licomont, hier wird der Erweichungspunkte RuK etwas kleiner. Diese Beobachtung wird aber nicht überinterpretiert.

tiert, da bei Werten in der Größenordnung von 95 °C auch die größere Verfahrens-  
präzision zu berücksichtigen ist.

Für die Untersuchungen wurde nach Optimierung der Versuchsbedingungen in ei-  
nem geschlossenen Automaten (System Infratest) 12 Waschgängen angewendet.  
Das entspricht bei drei Trocknungsphasen einer Extraktionszeit von 90 Minuten. Die-  
se Anzahl von Waschgängen hat sich als ausreichend effizient herausgestellt. Eine  
weitere Erhöhung der Anzahl der Waschgänge ergab bei den hier eingesetzten Bin-  
demitteln keine weitere Änderung des Erweichungspunktes RuK und des Bindemit-  
telgehaltes.

Desweiteren haben vergleichende Untersuchungen mit dem Lösemittel Toluol erge-  
ben, dass die hier eingesetzten Wachse mit Toluol nach den TP Asphalt-StB, Teil 1  
nicht oder nur unvollständig gelöst werden.



**Bild 4.1.10: Änderung des Erweichungspunktes RuK eines 50/70, 30/45 und 25/55-55 A durch Wachsmodifizierung in Verbindung mit dem Einfluss aus Destillation bzw. Extraktion mit Trichlorethen (oben links und rechts, unten links)**

**Bild 4.1.11: Einfluss der Art des Lösemittels bei der Extraktion wachsmodifizierter Bindemittel auf den Erweichungspunkt RuK (unten rechts)**

Die Erweichungspunkte RuK verharren trotz Wachsmodifizierung auf dem gleichen Niveau (siehe Bild 4.1.11).

Die Extraktion wachsmodifizierter Bindemittel mit Toluol ist zur Überprüfung der Bindemittleigenschaften ungeeignet.

#### 4.1.4 Adhäsion/ Haftverhalten

Die Adhäsion der Bindemittelvarianten am Gestein wurde für alle Basisbitumen und deren Wachsmodifizierungen mittels Rolling-Bottle-Test überprüft. Verwendet wurde dabei das im Rahmen der Asphaltuntersuchungen verwendete Gestein Gabbro und zusätzlich ein Quarzit aus Laborbeständen des ISBS.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind tabellarisch (siehe Tabelle 4.1.12) und grafisch (siehe Bild 4.1.12) beigefügt.

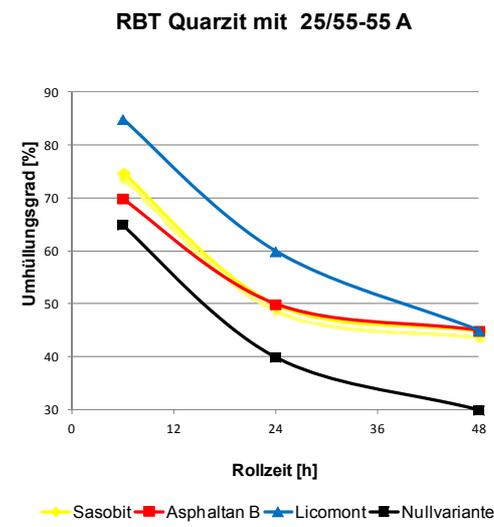
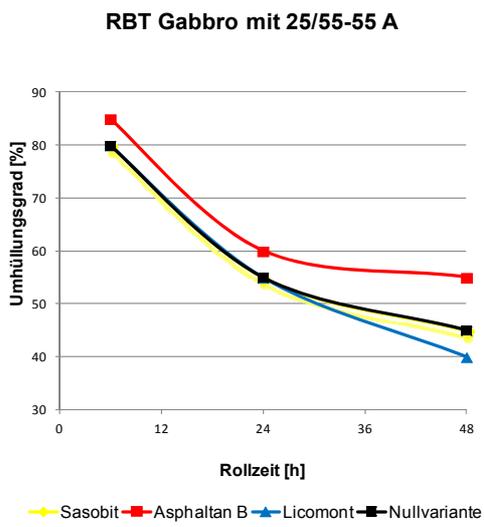
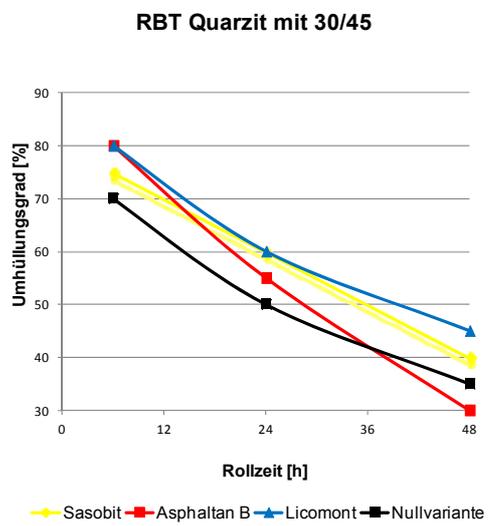
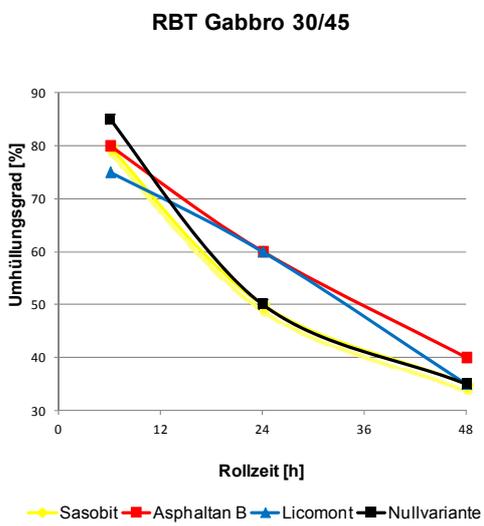
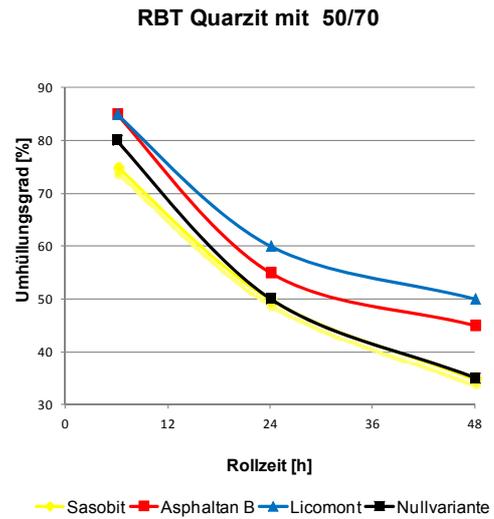
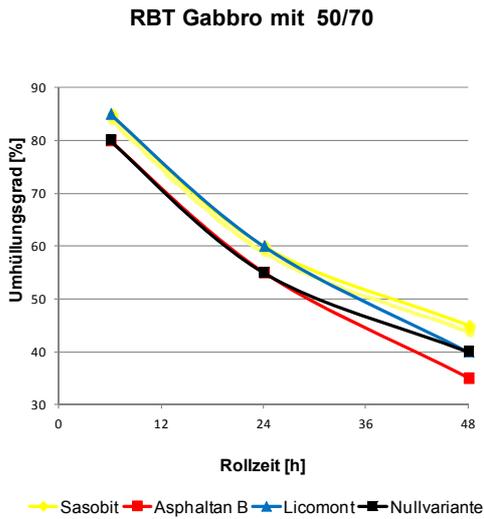
Bei einer summarischen Betrachtung der Ergebnisse - hierzu bieten sich die verbleibenden Umhüllungsgrade bei einer Rolldauer von 24 Stunden an - ist festzustellen, dass sich in keinem Falle eine Verringerung der Umhüllung einstellt. In den meisten Fällen erhöht sich der Wert für die verbleibende Umhüllung. Diese Beobachtung trifft sowohl für das Gestein Gabbro als auch für den im Allgemeinen als haftkritisch beurteilten Quarzit zu.

Insgesamt liegen die gemessenen Werte relativ dicht beieinander.

Unter Berücksichtigung der Präzision des Verfahrens kann aber ausgesagt werden, dass unter Zugrundelegung des Rolling-Bottle-Tests das Haftverhalten viskositätsveränderter Bindemittel zum Gestein nicht verschlechtert, sondern tendenziell eher verbessert wird.

**Tabelle 4.1.12: Untersuchungen zum Haftverhalten mittels Rolling-Bottle-Test (RBT)**

Gesteinsart	Art des Zusatzes	Roll-dauer	Umhüllungsgrad in %		
			Art und Sorte des Basisbitumens		
			50/70	30/45	25/55-55 A
Gabbro	ohne (Basisbitumen)	6 h	81	84	74
		24 h	57	49	41
		48 h	41	36	44
	Asphaltan	6 h	82	82	86
		24 h	56	58	61
		48 h	36	39	57
	Sasobit	6 h	83	81	82
		24 h	62	51	54
		48 h	43	33	44
	Licomont	6 h	83	77	81
		24 h	59	58	57
		48 h	39	34	40
Quarzit	ohne (Basisbitumen)	6 h	81	71	51
		24 h	50	52	27
		48 h	37	34	19
	Asphaltan	6 h	83	81	69
		24 h	56	53	52
		48 h	46	32	43
	Sasobit	6 h	77	77	64
		24 h	48	58	39
		48 h	34	41	34
	Licomont	6 h	84	81	83
		24 h	62	60	61
		48 h	52	47	43



**Bild 4.1.12: Ergebnisse der Rolling Bottle Tests (RBT) zur Beurteilung des Haftverhaltens/Adhäsion der wachsmodifizierten Bindemittel 50/70, 30/45 und 25/55-55 A**

## 4.2 Asphaltmischgut- und Probekörperherstellung im Laboratorium

### 4.2.1 Mischwiderstand

Die Herstellung der Asphalte für die performance-orientierten Untersuchungen erfolgt mittels Labor-Großmischer GZM der Firma Freundl in Asphaltmischgutchargen zu jeweils 36 kg konsequent nach dem gleichen Herstellungsschema. Dabei wurde die Sandkomponente nach Abtrennung der groben Gesteinskörnungen über 2 mm dosiert.

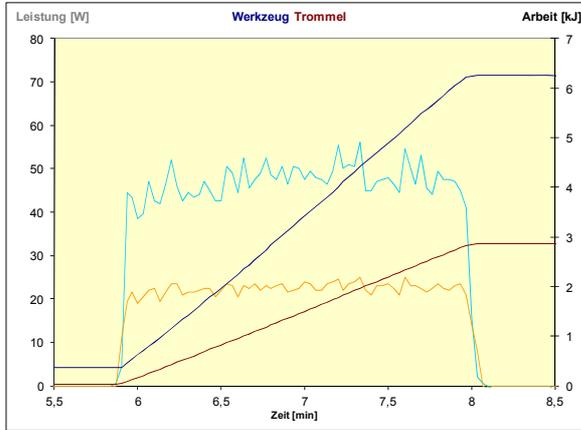
Der Labormischer ist mit einer Einrichtung ausgerüstet, mit welcher der Mischwiderstand über die Mischzeit getrennt für das Mischwerkzeug (hierunter ist der Mischarm zu verstehen) und für die gegenläufig rotierende Mischtrommel aufgezeichnet werden kann. Das Ergebnis sind Diagramme, aus denen die Leistungsaufnahme bei der Herstellung der Asphaltmischgüter abgelesen werden kann (siehe Bilder im Anhang A3.1). Voraussetzung für die Interpretation der Kurven ist eine einheitliche Mischtemperatur und eine einheitliche Asphaltmenge. Den beigefügten Diagrammen kann unmittelbar entnommen werden, dass wider Erwarten praktisch keine Unterschiede im Mischwiderstand gemessen wurden. Den wachsmodifizierten Asphalten einer Serie werden nur marginal geringere Mischwiderstände zugeordnet. Diese Feststellung trifft sowohl für das Werkzeug als auch für die Mischtrommel zu, unabhängig davon, ob Straßenbaubitumen oder PmB verwendet wurde.

Da aber aus der Praxis auch über Erleichterungen bei der Zugabe der viskositätsverändernden Additive berichtet wird ist daraus zu schließen, dass im Labormaßstab unrealistische Mischvorgänge abgebildet werden. Diese Diskrepanz kann damit zusammenhängen, dass bei der Asphaltherstellung im Laboratorium das Größenverhältnis Gesteinskorndurchmesser zum Mischwerkzeug von der Realität abweicht und dadurch der Scherwiderstand des Gesteinskörnungsgemisches dominiert.

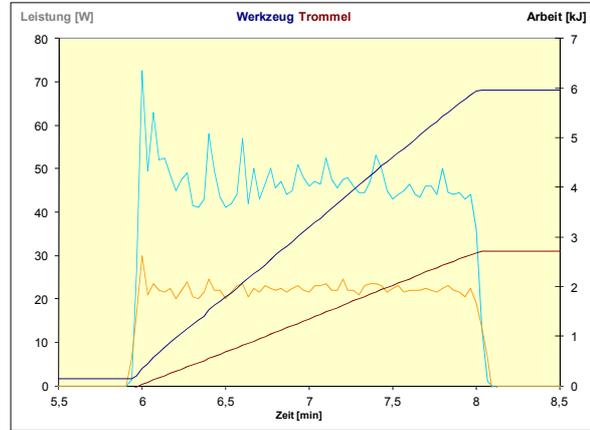
Zur weiteren Analyse der Mischwiderstände von im Laboratorium hergestelltem Asphaltmischgut wurden an einem ausgewählten Beispiel die Mischtemperaturen in den Stufen 160 °C, 140 °C und 120 °C bei jeweils erneuter Mischgutherstellung systematisch variiert und die Mischwiderstände gemessen.

Ausgewertet wurden jeweils die Leistungsaufnahmen des Mischwerkzeuges und die der Mischtrommel und deren Aufsummierungen über die konstante Mischzeit von zwei Minuten.

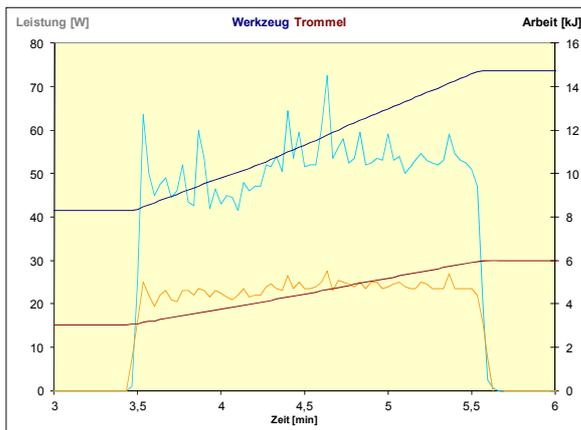
Für diese Untersuchungen wurden die Varianten VA 13 und VA 16 gewählt. Dabei handelt es sich um einen AC 11 D S mit PmB, zum einen ohne Wachsmodifizierung und zum anderen mit Sasobit. Die Ergebnisse sind in Bild 4.2.1 grafisch dargestellt.



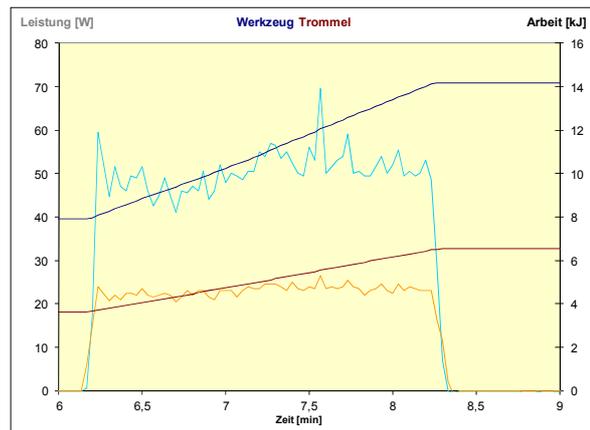
AC 11 D S ohne Wachs (VA 16) -  $T_v= 160\text{ °C}$



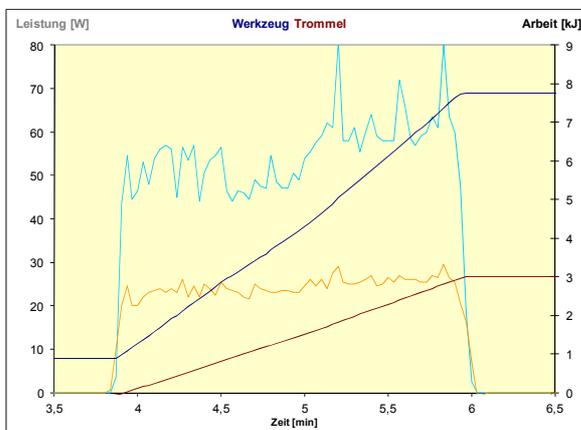
AC 11 D S mit Wachs (VA 13) -  $T_v= 160\text{ °C}$



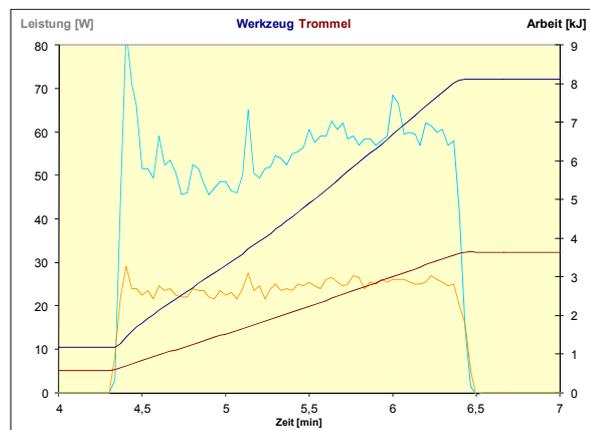
AC 11 D S ohne Wachs (VA 16) -  $T_v= 140\text{ °C}$



AC 11 D S mit Wachs (VA 13) -  $T_v= 140\text{ °C}$



AC 11 D S ohne Wachs (VA 16) -  $T_v= 120\text{ °C}$



AC 11 D S mit Wachs (VA 13) -  $T_v= 120\text{ °C}$

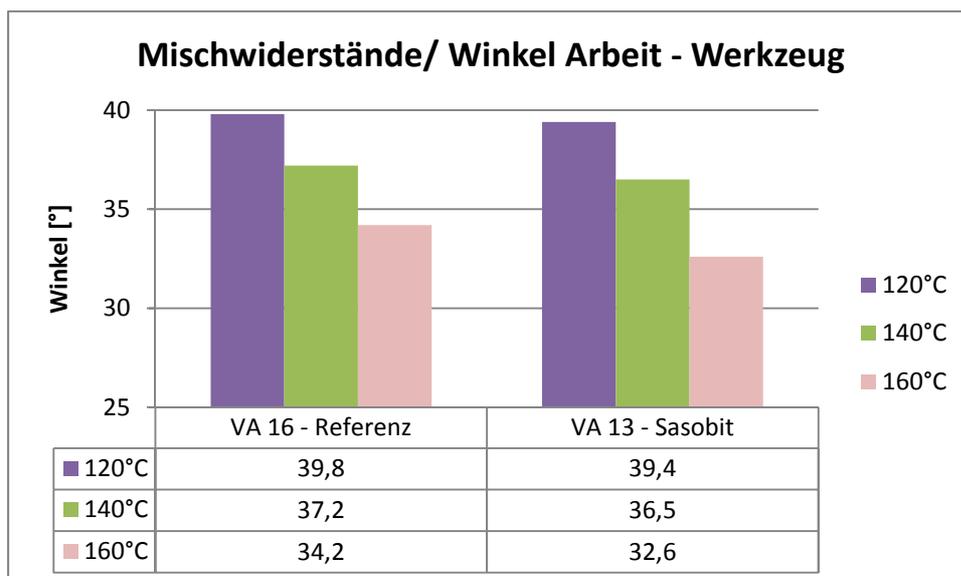
Bild 4.2.1: Mischwiderstand der Mischgutvariante AC 11 D S mit 25/55-55 A mit und ohne Wachs (hier: Sasobit)

Hierbei sind die Leistungsaufnahme der Mischtrommel und die Leistungsaufnahme des Mischwerkzeuges über die zweiminütige Mischdauer getrennt grafisch dargestellt. Das Rauschen der Messsignale erschwert eine Auswertung erheblich, insbesondere weil der Einfluss aus der Wachszugabe in dem hier gewählten Labormaßstab verhältnismäßig schwach differenziert und mögliche Einflüsse aus Temperaturschwankungen und Kornreibungen überlagert werden.

Nach Glättung dieser Kurven wurden die Leistungen aufsummiert und als Linienzug dargestellt, durch den eine ausgleichende Gerade gelegt wurde. Der Winkel dieser ausgleichenden Gerade zur Abszisse wurde ausgewertet. Der Tangens dieses Winkels stellt letztlich für die konstante Mischzeit von zwei Minuten die Leistungssumme nach zwei Minuten dar (Leistungssumme = Tangens  $\alpha$  x zwei Minuten).

Die weitere Auswertung zeigt, dass die Leistungsaufnahme des Mischwerkzeuges die unterschiedlichen Varianten differenziert.

In Bild 4.2.2 sind die Einflüsse histografisch aufgetragen. Ein Einfluss der Herstellungstemperatur ist nunmehr sowohl für den Asphalt mit der Wachsmodifizierung als auch für die Referenz ohne Wachs zu erkennen.



**Bild 4.2.2: Leistungsaufnahme bei der Herstellung der Mischgutvarianten AC 11 D S mit 25/55-55 A mit und ohne Wachs (hier: Sasobit) bei unterschiedlichen Temperaturen**

Der Einfluss der Wachszugabe (in diesem Beispiel Sasobit) ist zwar vorhanden, aber im Vergleich zum Einfluss der Herstellungstemperatur gering. Ein Ergebnis, dass sich mit den Ergebnissen der Viskositätsmessungen an den wachsmodifizierten Bindemitteln deckt.

Diese Aussage kann nur tendenziell gelten, da der Umfang des Datenmaterials eine Auswertung mit Hilfe der mathematischen Statistik nicht zulässt.

Die Frage nach einer möglichen Erleichterung der Mischarbeit im Asphaltmischwerk kann im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht abschließend beantwortet werden. Dazu müssen gezielte Untersuchungen an entsprechend ausgerüsteten Asphaltmischwerken durchgeführt werden.

Im Zusammenhang mit diesem Untersuchungsteil wurden gleichzeitig die Verdichtungswiderstände  $T$  und die Raumdichten an mit 50 und mit 100 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite hergestellten Marshall-Probekörpern festgestellt. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 4.2.1 zusammengestellt.

Nach der Asphaltherstellung wurden Teilproben für die einzelnen Prüfungen gewonnen und die Zusammensetzung analysiert. Die Ergebnisse der Mischgutanalysen sind im Anhang A3.2 abgelegt. In den meisten Fällen wurde die Extraktion nicht nur mit dem Extraktionsautomaten (Infratest), sondern auch im Becherglas gemäß TP Asphalt-StB, Teil 1 Abschnitt 5.2 durchgeführt. Aus Gründen des Arbeitsschutzes ist letzteres Extraktionsverfahren nur noch bei Verwendung von Toluol zugelassen. Im Rahmen der hier referierten Untersuchung wurde dieses Verfahren aber ebenfalls mit dem Lösemittel Trichlorethen angewendet, um für die Beurteilung der Effektivität der Waschvorgänge im Extraktionsautomaten eine Referenz zu erhalten.

Auch ist darauf hinzuweisen, dass Wachse die Leitungen des Extraktionsautomaten zusetzten und ein erhöhter Wartungs- und Reparaturaufwand durch den Servicetechniker erforderlich wurde.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass es immer gelungen ist, Asphalte mit vergleichbarer Zusammensetzung herzustellen.

**Tabelle 4.2.1: Mischwiderstände, Verdichtungswiderstände T und Raumdichten festgestellt an den mit unterschiedlichen Temperaturen hergestellten Asphalten bzw. verdichteten Asphalt-Probekörpern am Beispiel eines AC 11 D S mit und ohne Wachs**

		<b>Mischarbeit Arbeitssumme (Winkel) in Grad</b>		
Variante		T <sub>v</sub> = 120 °C	T <sub>v</sub> = 140 °C	T <sub>v</sub> = 160 °C
AC 11 D S 25/55-55 A Referenz	Werkzeug	39,8	37,2	34,2
	Trommel	18,8	18,8	17,7
AC 11 D S 25/55-55 A mit Sasobit	Werkzeug	39,4	36,5	32,6
	Trommel	19,8	18,8	17,7
		<b>Verdichtungswiderstand T in 21 Nm</b>		
Variante		T <sub>v</sub> = 120 °C	T <sub>v</sub> = 140 °C	T <sub>v</sub> = 160 °C
AC 11 D S 25/55-55 A Referenz		27,3	23,1	21,3
		26,8	26,1	20,3
		<b>Raumdichten in g/cm<sup>3</sup></b>		
Variante	Schlagzahl	T <sub>v</sub> = 120 °C	T <sub>v</sub> = 140 °C	T <sub>v</sub> = 160 °C
AC 11 D S 25/55-55 A Referenz	50 je Seite	2,505	2,527	2,577
	100 je Seite	2,531	2,552	2,564
AC 11 D S 25/55-55 A mit Sasobit	50 je Seite	2,515	2,531	2,553
	100 je Seite	2,542	2,558	2,569

Die Erweichungspunkte Ring und Kugel des mit den unterschiedlichen Verfahren extrahierten Bindemittels wurden bereits unter Abschnitt 4.1 interpretiert.

#### 4.2.2 Einfluss der Verdichtungstemperatur auf die Raumdichte

Unmittelbar nach Asphaltmischgutherstellung wurden Marshall-Probekörper für die Druck-Schwellversuche mit 50 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite und der

gemäß Regelwerk vorgeschriebenen Verdichtungstemperatur von 145 °C (PmB) bzw. 135 °C (Straßenbaubitumen) hergestellt. Darüber hinaus wurden auch immer Marshall-Probekörper bei einer Temperatur von  $T_v = 105$  °C geformt, um erkennen zu können, in welcher Größenordnung überhaupt mit einer Erhöhung (Verbesserung) der Raumdichten durch die Zugabe von viskositätsverändernden Additiven zu rechnen ist.

Tabelle 4.2.2 ist zunächst zu entnehmen, dass die Hohlraumgehalte der bei Normtemperatur hergestellten Marshall-Probekörper aus wachsmodifiziertem Asphalt gegenüber der Referenz mit dem Basisbitumen mit einer Ausnahme bei der Variante VA 13 kleiner werden, dieser Unterschied aber verhältnismäßig klein ist. Lediglich der Hohlraumgehalt der Asphaltbindervariante VA 41 mit PmB übersteigt die Wiederholpräzision des Verfahrens.

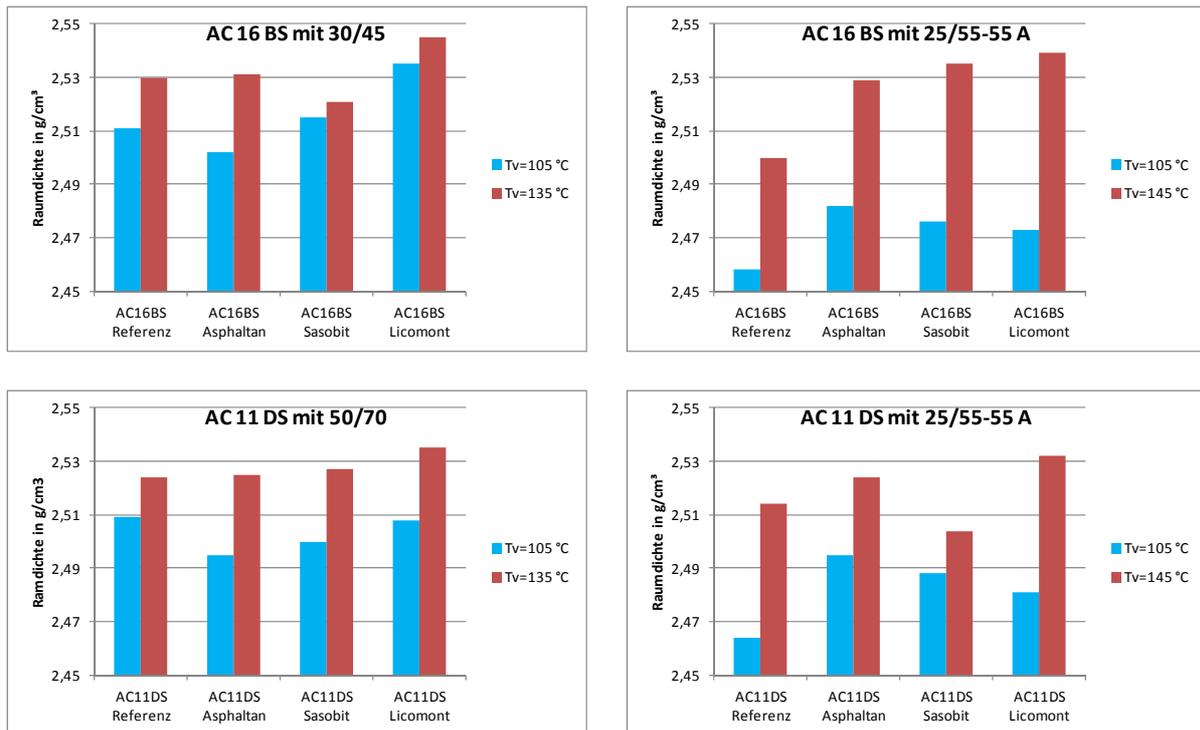
Bei einem Vergleich der Kenndaten an den bei der tieferen Verdichtungstemperatur von  $T_v = 105$  °C und den mit regelkonformer Verdichtungstemperatur hergestellten Marshall-Probekörpern ist festzustellen, dass in allen Fällen die Raumdichten in plausibler Weise kleiner und die Hohlraumgehalte größer werden (siehe Bild 4.2.3).

In Anlehnung an das Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA) wurden für die Asphaltvarianten AC 16 B S (mit 30/45) und AC 11 D S (mit 25/55-55 A) und deren Wachsmodifizierungen Marshall-Probekörper bei drei Temperaturen, je nach verwendeter Bindemittelart zwischen  $T_v = 105$  °C und  $T_v = 145$  °C hergestellt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen - die Raumdichten der Marshall-Probekörper - sind in Tabelle 4.2.3 aufgelistet und in Bild 4.2.4 als Liniendiagramm dargestellt. Wird durch den jeweiligen Markierungspunkt für die jeweilige Referenzraumdicke (festgestellt an ohne Wachs bei regelkonformer Verdichtungstemperatur hergestellter Marshall-Probekörper) eine Waagerechte gelegt und mit den Kurven der wachsmodifizierten Varianten geschnitten, kann eine Temperaturdifferenz abgelesen werden, die für jede wachsmodifizierte Variante eine „Äqui-Raumdicke“ angibt.

Für den AC 16 B S (30/45) wurde zwischen den einzelnen Wachsprodukten unterschiedlich stark unterschieden, bis zu über 30 Kelvin für den AC 16 B S mit Licomont.

**Tabelle 4.2.2: Raumdichten in g/cm<sup>3</sup> bei Verdichtungstemperaturen von 105 °C und 135 °C (bzw. 145 °C) der unterschiedlichen Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichtvarianten**

	AC 16 B S mit 30/45					AC 16 B S mit 25/55-55 A				
<b>Merkmal</b>	<b>EP-Wert</b>	<b>VA32</b>	<b>VA30</b>	<b>VA29</b>	<b>VA31</b>	<b>EP-Wert</b>	<b>VA44</b>	<b>VA42</b>	<b>VA41</b>	<b>VA43</b>
Wachsart	-	Referenz	Asphal-tan	Saso-bit	Lico-mont	-	Referenz	Asphal-tan	Saso-bit	Lico-mont
Raumdicthe (g/cm <sup>3</sup> ) (T <sub>v</sub> =135 °C)	<b>2,481</b>	2,530	2,531	2,521	2,545	<b>2,492</b> 145 °C	2,500	2,529	2,535	2,539
Rohdicthe (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,641</b>	2,664	2,659	2,642	2,664	<b>2,652</b>	2,656	2,664	2,642	2,661
Hohlraumg. (Vol.-%) (T <sub>v</sub> =135 °C)	<b>6,1</b>	5,0	4,8	4,6	4,5	<b>6,0</b> 145 °C	5,9	5,1	4,0	4,6
Raumdicthe (g/cm <sup>3</sup> ) (T <sub>v</sub> =105 °C)		2,511	2,502	2,515	2,535		2,458	2,482	2,476	2,473
Hohlraumg. (Vol.-%) (T <sub>v</sub> =105 °C)		5,7	5,9	4,8	4,8		7,5	6,8	6,3	7,1
	AC 11 D S mit 50/70					AC 11 D S mit 25/55-55 A				
<b>Merkmal</b>	<b>EP-Wert</b>	<b>VA4</b>	<b>VA2</b>	<b>VA1</b>	<b>VA3</b>	<b>EP-Wert</b>	<b>VA16</b>	<b>VA14</b>	<b>VA13</b>	<b>VA15</b>
Wachsart	-	Referenz	Asphal-tan	Saso-bit	Lico-mont	-	Referenz	Asphal-tan	Saso-bit	Lico-mont
Raumdicthe (g/cm <sup>3</sup> ) (T <sub>v</sub> =135 °C)	<b>2,513</b>	2,524	2,525	2,527	2,535	<b>2,513</b> 145 °C	2,514	2,524	2,504	2,532
Rohdicthe (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,602</b>	2,606	2,586	2,598	2,597	<b>2,602</b>	2,600	2,593	2,596	2,600
Hohlraumg. (Vol.-%) (T <sub>v</sub> =135 °C)	<b>3,4</b>	3,1	2,4	2,7	2,4	<b>3,4</b> 145 °C	3,3	2,7	3,5	2,6
Raumdicthe (g/cm <sup>3</sup> ) (T <sub>v</sub> =105 °C)		2,509	2,495	2,500	2,508		2,464	2,495	2,488	2,481
Hohlraumg. (Vol.-%) (T <sub>v</sub> =105 °C)		3,7	3,5	3,5	3,4		5,2	3,8	4,0	4,6



**Bild 4.2.3: Raumdichten der bei zwei unterschiedlichen Temperaturen hergestellten Marshall-Probekörpern mit und ohne Wachs**

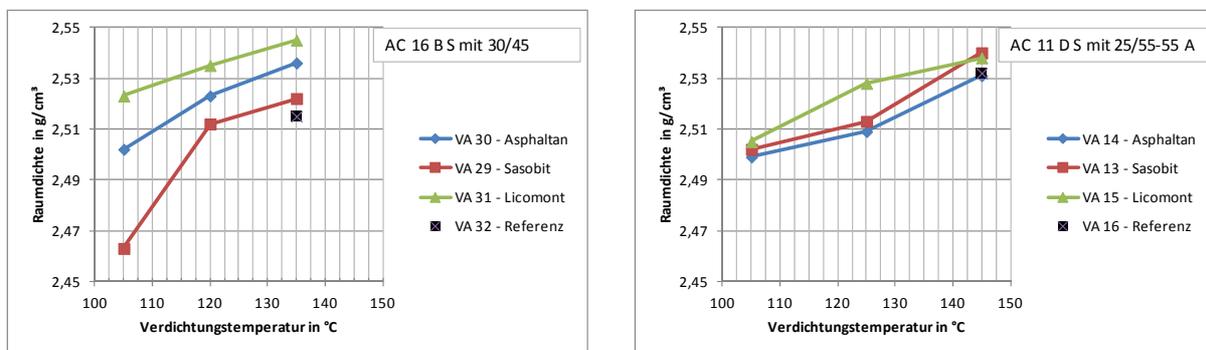
Bei dem Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten (AC 11 D S) mit PmB unterscheiden sich die Raumdichten der bei regelkonformer Verdichtungstemperatur hergestellten Marshall-Probekörpern der verschiedenen Asphaltvarianten - Referenz und wachsmodifizierte Varianten - praktisch nicht mehr; die Raumdichten wurden alle in einer vergleichbaren Größenordnung ermittelt.

**Tabelle 4.2.3: Raumdichten in g/cm³ bei Verdichtungstemperaturen zwischen Tv= 105 °C und Tv= 145 °C für unterschiedliche Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichtvarianten**

Variante	Wachstyp	Verdichtungstemperatur T <sub>v</sub>				
		105 °C	120 °C	125 °C	135 °C	145 °C
AC 16 B S 30/45	Referenz	-	-	-	2,513	-
	Asphaltan	2,502	2,523	-	2,536	-
	Sasobit	2,463	2,512	-	2,522	2,501
	Licomont	2,523	2,535	-	2,545	-
AC 11 D S 25/55-55 A	Referenz	-	-	-	-	2,532
	Asphaltan	2,499	-	2,509	-	2,531
	Sasobit	2,502	-	2,513	-	2,540
	Licomont	2,505	-	2,528	-	2,538

Beim AC 11 D S werden Unterschiede für die maßgebende Verdichtungstemperatur von 7,5 K (Sasobit) bis 20,0 K (Licomont) festgestellt.

Gerade bei diesem letzten Diagramm lässt sich das Dilemma der Methode der Auswertung zeigen: je weniger die Raumdichte auf die Wachsmodifizierung bei fallender Verdichtungstemperatur reagiert, desto höher ist der scheinbare „Gewinn“ durch die Reduzierung der Verdichtungstemperatur. Dieses Ergebnis kann insbesondere nur deshalb scheinbar sein, weil alle hier eingezeichneten Raumdichten einer Temperaturstufe innerhalb der Verfahrenspräzision für die Raumdichtebestimmung liegen.



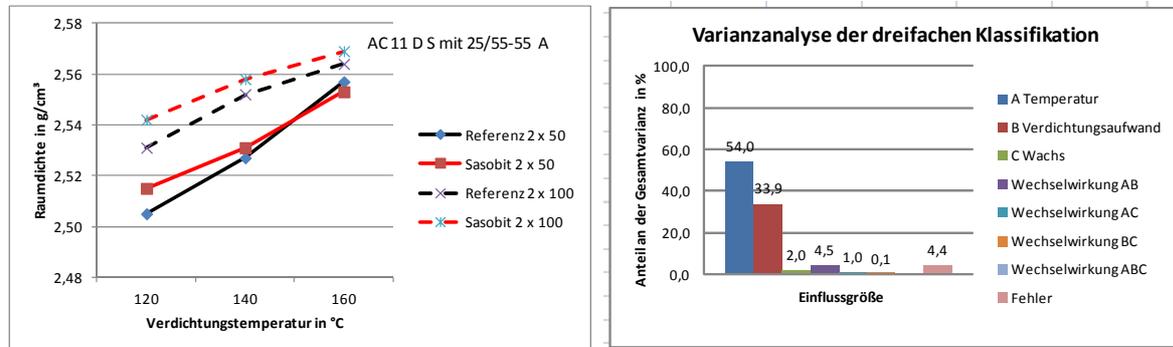
**Bild 4.2.4: Raumdichten der bei unterschiedlichen Temperaturen mit Wachsmodifizierung hergestellten Marshall-Probekörper im Vergleich zur Referenz, am Beispiel eines AC 16 B S (links) und eines AC 11 D S (rechts)**

Aus diesem Grunde ist besondere Vorsicht geboten, wenn aus diesen Diagrammen - wie ein Beispiel im Übrigen auch im M TA abgebildet ist - Vorgaben für die maßgebende Verdichtungstemperatur im Eignungsnachweis bzw. für die Bestimmung der Bezugsraumdichte am Marshall-Probekörper bei Kontrollprüfungen abgeleitet werden sollen.

Die im Rahmen der erweiterten Untersuchungen zum Mischwiderstand erhobenen Daten zur Änderung der Raumdichte in Abhängigkeit von der Verdichtungstemperatur erlauben ebenfalls nochmals die Überprüfung des Einflusses der Wachszugabe auf die Signifikanz einer Änderung der Raumdichten.

Zur Erleichterung der Diskussion sind die Raumdichten der Tabelle 4.2.1 in Bild 4.2.5 grafisch dargestellt, wobei die Kurve für die entsprechende Referenz ohne Wachszu-

gabe voll ausgefahren ist, d.h., dass auch die Marshall-Probekörper mit dem als Referenz geltenden Asphaltmischgut bei mehreren Verdichtungstemperaturen hergestellt und die Raumdichten bestimmt wurden (Temperatursweep).



**Bild 4.2.5: Raumdichte an Marshall-Probekörpern bei Variation der Verdichtungsarbeit und der Verdichtungstemperatur am Beispiel eines AC 11 D S mit 25/55-55 A (links) und Varianzanteile in Prozent der Änderung der Raumdichten an Marshall-Probekörpern bei Variation der Verdichtungsarbeit und der Verdichtungstemperatur (rechts)**

Die mit 50 Verdichtungsschlägen je Probekörperseite hergestellten Marshall-Probekörper führen unabhängig von der Wachszugabe auf das gleiche Niveau der Raumdichte. Bei der unteren Verdichtungstemperatur von  $T_v = 120$  °C können tendenziell Vorteile durch die Wachszugabe erkannt werden. Statistisch lässt sich diese Beobachtung aber nicht absichern, da sich die Raumdichtedifferenzen immer im Wiederholstreibereich des Prüfverfahrens bewegen. Varianzanalytische Auswertungen mittels dreifacher Varianzanalyse zeigen, dass die Verdichtungstemperatur, gefolgt von der Verdichtungsarbeit, den stärksten Einfluss auf die Änderung der Raumdichte ausübt und die Zugabe eines Wachses sich praktisch nicht auswirkt.

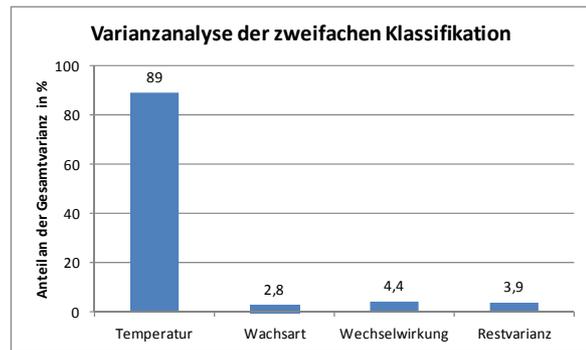
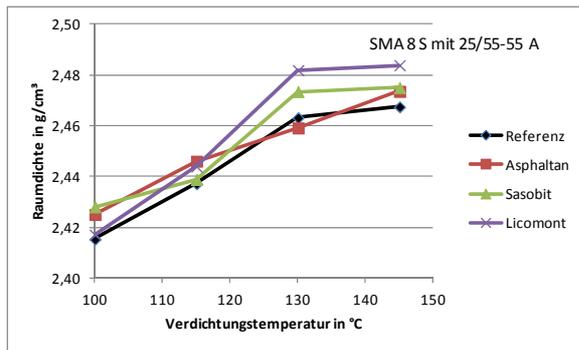
Da diese Feststellung von grundlegender Bedeutung ist, wurden zur Absicherung weitere systematische Untersuchungen an einem Splittmastixasphalt SMA 8 S mit PmB 25/55-55 A und den entsprechenden Wachsmodifikationen durchgeführt. Diese Untersuchungen sind Bestandteil des Forschungsprojektes FE 07.224, das im Auftrag des BMVBS im Jahre 2012 gestartet wurde. Die Zusammensetzung dieser Splittmastixasphalte kann dort entnommen werden. Einzel- und Mittelwerte für die Raumdichten der Marshall-Probekörper und die grafischen Darstellungen sind Tabelle 4.2.4 und Bild 4.2.6 zu entnehmen.

**Tabelle 4.2.4: Raumdichten in g/cm<sup>3</sup> bei vier Verdichtungstemperaturen eines Splittmastix-asphaltes SMA 8 S bei gleicher Zusammensetzung aber unterschiedlichen Arten der Wachsmodifizierung**

Asphaltart	Wachstyp	Serie	Verdichtungstemperatur T <sub>v</sub>			
			100 °C	115 °C	130 °C	145 °C
SMA 8 S 25/55-55 A  aus FA 07.224	Referenz	1	2,4163	2,4254	2,4594	2,4625
		2	2,4163	2,4507	2,4686	2,4708
		3	2,4134	2,4352	2,4614	2,4688
		i.M.	2,415	2,437	2,463	2,467
	Asphaltan	1	2,4277	2,4472	2,4575	2,4728
		2	2,4198	2,4463	2,4568	2,4752
		3	2,4275	2,4444	2,4631	2,4725
		i.M.	2,425	2,446	2,459	2,474
	Sasobit	1	2,4248	2,4320	2,4714	2,4698
		2	2,4260	2,4433	2,4702	2,4786
		3	2,4333	2,4411	2,4785	2,4766
		i.M.	2,428	2,439	2,473	2,475
	Licomont	1	2,4204	2,4378	2,4850	2,4893
		2	2,4187	2,4478	2,4832	2,4845
		3	2,4120	2,4460	2,4771	2,4777
		i.M.	2,417	2,444	2,482	2,484

Auch dieses Datenmaterial bietet sich für eine varianzanalytische Auswertung an.

Die Ergebnisse der zweifachen Varianzanalyse (siehe Bild 4.2.6, rechts) weisen für den Einfluss der Verdichtungstemperatur einen Varianzanteil von 89 % zu und für den Einfluss aus der Wachszugabe lediglich einen Varianzanteil von 2,8 %. Dieser liegt unterhalb der ausgewiesenen Restvarianz (Fehler von 3,9 %) und besitzt somit keine Relevanz.



**Bild 4.2.6:** Raumdichte an Marshall-Probekörpern bei Variation der Verdichtungstemperatur mit und ohne Wachsmodifizierung am Beispiel eines SMA 8 S mit 25/55-55 A (links) und Varianzanteile in Prozent der Änderung der Raumdichten an Marshall-Probekörpern bei Variation der Verdichtungstemperatur (rechts)

Die Ergebnisprotokolle von multiplen Mittelwertvergleichen und den angeschlossenen LSD-Tests sowie der Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation sind im Anhang A3.3 abgelegt.

Bei einer Verdichtungstemperatur von  $T_v = 145 \text{ °C}$  unterscheiden sich die Raumdichten der mit dem Basisbitumen und mit den drei viskositätsveränderten Bindemitteln hergestellten Marshall-Probekörper gar nicht, bei einer Verdichtungstemperatur von  $T_v = 130 \text{ °C}$  praktisch nicht. Bei diesen Temperaturstufen liegen alle Raumdichten der Marshall-Probekörper statistisch gesehen auf dem gleichen Niveau.

Für die Sasobit-Additivierung wird nur deswegen ein signifikant höherer Wert für die Raumdichte ausgewiesen, weil der durchführende Baustoffprüfer auf einem besonders hohem Präzisionsniveau gearbeitet hat. Hier wurde eine Raumdichtedifferenz von  $\Delta = 0,01 \text{ g/cm}^3$  realisiert, die Wiederholpräzision liegt gemäß Technischem Regelwerk bei  $r = 0,017 \text{ g/cm}^3$ .

Der gedankliche Ansatz, die maßgebende Verdichtungstemperatur für die Herstellung von Marshall-Probekörpern im Laboratorium zur Gewinnung einer Referenzraumdichte zu reduzieren, wird als nicht zielführend angesehen.

Für die Verdichtung der Marshall-Probekörper kann unmittelbar die Verdichtungstemperatur angewendet werden, die für den nicht modifizierten Asphalt vorgesehen ist,  $T_v = 135 \text{ °C}$  bei der Verwendung von Straßenbaubitumen und  $T_v = 145 \text{ °C}$  bei der Verwendung von Polymermodifizierten Bitumen.

Auch asphalttechnologisch gesehen wäre die Reduzierung der Verdichtungstemperatur für die Bestimmung der Bezugsraumdicke der falsche Weg, da ein Einfluss auf die Verformungseigenschaften nicht auszuschließen ist. An späterer Stelle (siehe Abschnitt 4.3) wird gezeigt, dass sich die Reduzierung der Verdichtungstemperatur erheblich auf die Kennwerte des Druck-Schwellversuches auswirken kann.

Für die Verdichtung in situ gilt demnach zunächst, dass übliche Verdichtungstemperaturen anzusetzen sind und dadurch ein Beitrag zur Erhöhung der Prozesssicherheit geleistet wird, da die Untersuchungen auch gezeigt haben, dass sich durch eine Reduzierung der Verdichtungstemperatur in der Größenordnung bis zu 15 Kelvin keine signifikante Änderung der Raumdicke ergeben (siehe Bild 4.2.6). Bei einer Reduzierung der Verdichtungstemperatur in situ ist aber zu berücksichtigen, dass die Öffnung des Verdichtungsfenster in den tieferen Temperaturbereich begrenzt ist, da durch den Übergang der Wachse in die feste Phase der Asphalt schwerer verdichtbar wird.

#### 4.2.3 Einfluss der Verdichtungstemperatur auf die Raumdicke bei großtechnisch hergestelltem Asphaltmischgut

Einige Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses bestätigten die hier vorgelegten Untersuchungsergebnisse, wonach durch die Wachsmodifizierung lediglich marginal höhere Raumdichten zu realisieren seien. Andere berichten, dass im Rahmen von Erstprüfungen festgestellt wurde, dass die Reduzierung der Verdichtungstemperatur bei Wachszugabe möglich ist und die mit reduzierter Verdichtungstemperatur hergestellten Marshall-Probekörper auf gleiche Hohlraumgehalte führen wie die bei höheren und ohne Wachszugabe hergestellten.

Bei dieser kontroversen Diskussion ist aber immer der Verfahrensspielraum bei der Herstellung der Marshall-Probekörper zu betrachten. Nach den TP Asphalt-StB, Teil 30 soll die Anfangsverdichtungstemperatur bei der Verwendung von PmB  $T_v = (145 \pm 5) \text{ °C}$  betragen. Eine regelkonforme Verdichtung darf also bei 150 °C, aber auch bei 140 °C beginnen. Auf welchen Wert die Temperatur im Marshall-Probekörper nach einer Verdichtungsdauer von 60 Sekunden fällt, wird nicht überprüft. Die Erfahrungen des Forschungsnehmers liegen hier je nach Asphaltmischgut in der Größenordnung zwischen 10 und 15 Kelvin.

Möglicherweise bestehen aber auch Unterschiede bei der Verdichtung von im Laboratorium einerseits und im Asphaltmischwerk andererseits hergestellten Asphalte. Ein Mitglied des Projektbegleitenden Ausschusses konnte einige im Asphaltmischwerk für Erprobungsstrecken hergestellte Asphaltmischgutvarianten zur Verfügung stellen, die im Laboratorium des Forschungsnehmers zusätzlich und kostenneutral untersucht wurden.

Hierbei handelt es sich um Asphaltbindervarianten AC 16 B S und um Splittmastixasphaltvarianten SMA 11 S und SMA 8 S, die mit und ohne Wachs hergestellt wurden.

Eine Übersicht dieser Varianten enthält Tabelle 4.2.5. In dieser Tabelle sind auch die wichtigsten Kenngrößen der Zusammensetzung zur besseren Einordnung der Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtbarkeit angegeben. Da es sich hier um

**Tabelle 4.2.5: Bezeichnungen, Zusammensetzung und Hohlraumgehalte der Marshall-Probekörper der im großtechnischen Maßstab hergestellten Asphaltvarianten**

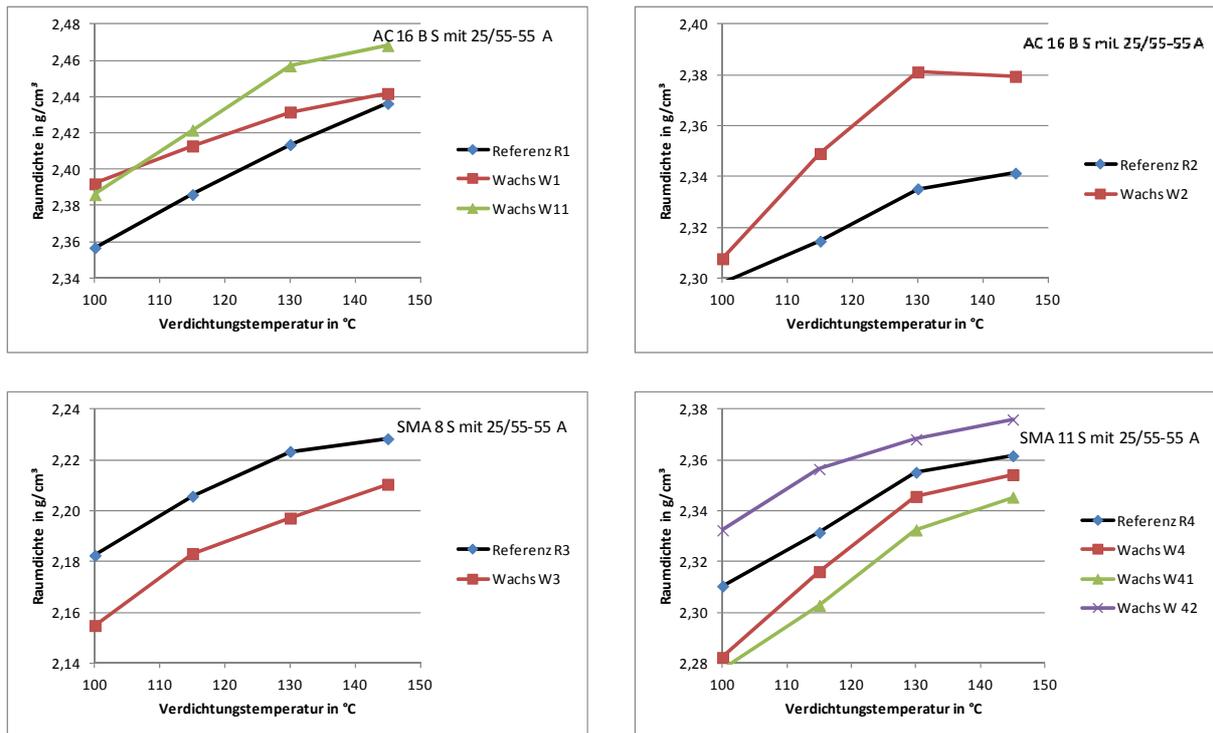
Variante	Art der Modifikation	Kürzel	Bm-gehalt	EP RuK	Füller	Sand	Splitt > 2 mm	H <sub>bit</sub>
			M.-%	°C	M.-%	M.-%	M.-%	V.-%
AC 16 BS 25/55-55 A Werk Owschlag	Referenz	R1	4,6	69,4	6,8	24,4	68,8	6,1
	SFB5-90LT	W1	4,3	74,0	5,7	20,3	74,0	5,3
	SübitVR35	W11	4,4	99,0	5,7	21,7	72,6	5,0
AC 16 BS 25/55-55 A Werk Consrade	Referenz	R2	4,8	66,8	7,8	20,2	72,0	5,0
	Licomont	W2	4,8	93,5	7,8	22,1	70,1	5,1
SMA 8 S 25/55-55 A Werk Brenz	Referenz	R3	7,8	66,2	13,6	13,4	73,0	3,8
	Colzufalt	W3	7,4	63,4	6,4	18,6	75,0	5,3
SMA 11 S 25/55-55 A Werk Owschlag	Referenz	R4	6,9	65,6	10,0	16,9	73,1	2,8
	Caribit 45 S	W4	6,7	87,5	8,1	18,8	73,1	3,0
	Sübit45S	W41	6,8	93,5	8,6	17,0	74,4	3,4
	SMB 35	W42	6,7	87,5	8,8	18,3	72,9	2,3

anlagen-gemischte Asphaltvarianten handelt, müssen für die Realisierung gleicher Zusammensetzungen herstellungsbedingte Streuungen zugelassen werden.

Aus jeder der Asphaltmischgutvarianten wurden Marshall-Probekörper bei Verdichtungstemperaturen von  $T_v = 100\text{ °C}$ ,  $115\text{ °C}$ ,  $130\text{ °C}$  und  $145\text{ °C}$  hergestellt und die Raumdichten bestimmt. Die Ergebnisse dieser Analysen enthält Tabelle 4.2.6. Grafisch dargestellt sind diese Ergebnisse der besseren Übersicht wegen getrennt für jede Asphaltvariante in den Liniendiagrammen des Bildes 4.2.7.

**Tabelle 4.2.6: Raumdichten in  $\text{g}/\text{cm}^3$  an Marshall-Probekörpern aus in Asphaltmischwerken hergestellten Asphaltbinder und Splittmastixasphalten mit und ohne Wachsmodifizierung**

Variante	Art der Modifikation	Kürzel	Verdichtungstemperatur			
			100 °C	115 °C	130 °C	145 °C
AC 16 BS 25/55-55 A Werk Owschlag	Referenz	R1	2,357	2,386	2,414	2,436
	SFB5-90L	W1	2,392	2,413	2,432	2,442
	SübitUR35	W11	2,386	2,422	2,457	2,468
AC 16 BS 25/55-55 A Werk Conrade	Referenz	R2	2,298	2,315	2,335	2,341
	Licomont	W2	2,315	2,349	2,381	2,379
SMA 8 S 25/55-55 A Werk Brenz	Referenz	R3	2,182	2,206	2,223	2,228
	Colzufalt	W3	2,155	2,183	2,197	2,210
SMA 11 S 25/55-55 A Werk Owschlag	Referenz	R4	2,310	2,331	2,355	2,362
	Caribit 45 S	W4	2,282	2,316	2,346	2,354
	Sübit45S	W41	2,278	2,303	2,332	2,345
	SMB 35	W42	2,332	2,356	2,368	2,376



**Bild 4.2.7: Raumdichte an Marshall-Probekörpern bei Variation der Verdichtungstemperatur an Asphaltbinder AC 16 B S und Splittmastixasphalten mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellt im großtechnischen Maßstab an Asphaltmischwerken (Zusammensetzung der Asphaltvarianten, siehe Tabelle 4.2.5)**

Die Interpretation der Ergebnisse wird durch die Streuungen der Zusammensetzungen innerhalb einer Asphaltvariante erschwert. Die Zusammensetzungen der wachsmodifizierten Asphalte weichen zwar meist von denen der Referenz ab, die Abweichungen liegen aber mit einer Ausnahme beim Füllergehalt des SMA 8 S innerhalb der in den ZTV Asphalt-StB als zulässig genannten Toleranz.

Bei Berücksichtigung dieser Einschränkungen können die Ergebnisse der zusätzlichen Untersuchungen wie folgt zusammengefasst werden.

Der Einfluss der Wachsmodifizierung ist bei den hier untersuchten Asphaltbindervarianten zu erkennen. Bei der Verdichtungstemperatur von  $T_v = 145 \text{ °C}$  wird durch den Einsatz von Wachs eine höhere Raumdichte erreicht, die sich je nach Art des Produktes in einem Differenzbetrag von  $\Delta = 0,006 \text{ g/cm}^3$  (W1) bis  $\Delta = 0,038 \text{ g/cm}^3$  (W2) ausdrückt. Die Raumdichteunterschiede sind von der oberen Temperaturstufe ( $T_v = 145 \text{ °C}$ ) zur nächst tieferen ( $T_v = 130 \text{ °C}$ ) marginal und bei einer weiteren Temperaturabsenkung auf  $T_v = 115 \text{ °C}$  deutlich.

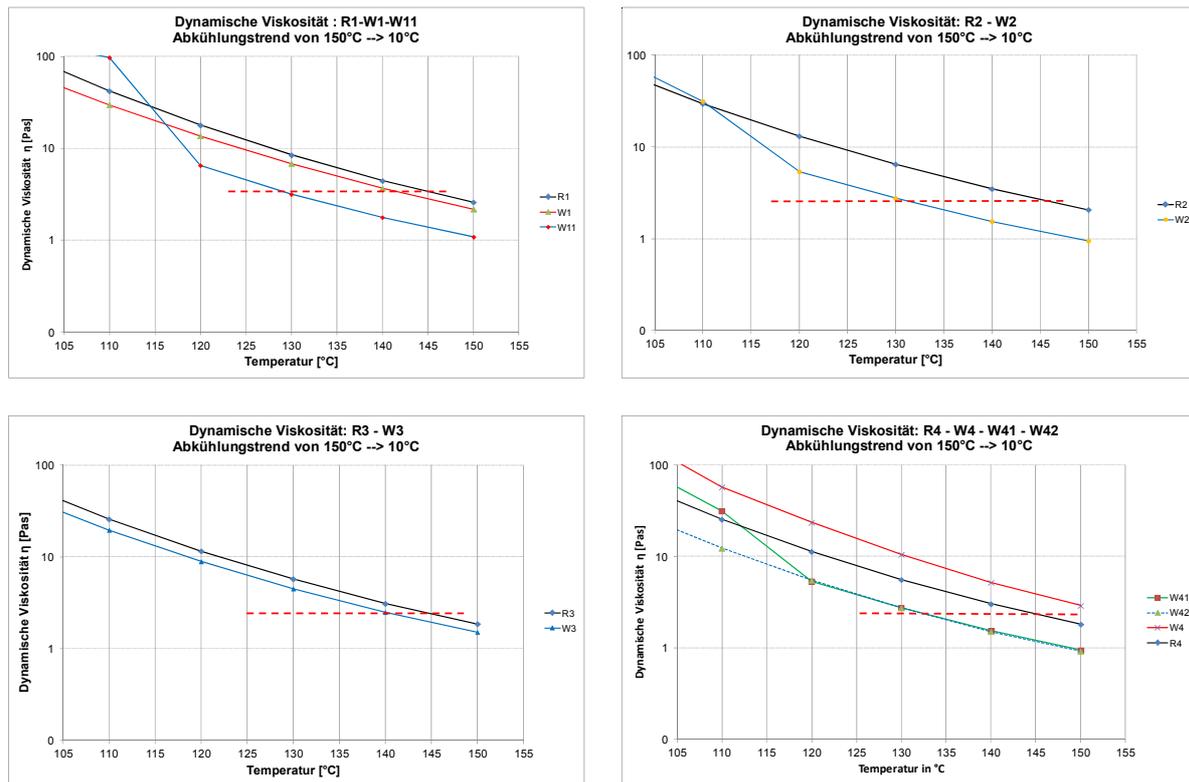
Zur Erzielung gleicher Raumdichten gegenüber der jeweiligen Referenz würde bei der Asphaltvariante W1 eine Verdichtungstemperatur von  $T_v = 120 \text{ °C}$ , bei der Asphaltvariante W11 eine Verdichtungstemperatur von  $T_v = 135 \text{ °C}$  und bei der Asphaltvariante W2 eine Verdichtungstemperatur von  $T_v = 115 \text{ °C}$  ausreichen. Da aber in dem unteren Temperaturbereich die „Geschwindigkeit“ der Raumdichteänderung deutlich größer ist als im oberen Temperaturbereich, kann auch aufgrund der Auswertung dieses Datenmaterials die Anwendung einer reduzierten Verdichtungstemperatur zur Gewinnung einer Referenzraumdichte nicht empfohlen werden.

Für die untersuchten SMA-Varianten wurden praktisch keine Vorteile erkannt. Im Gegenteil, die wachsmodifizierten Splittmastixasphalte erreichen meistens geringere Raumdichten als die Referenz.

Die Untersuchungen am großtechnisch hergestellten Asphalt haben ergeben, dass

- Asphaltbinderemischgut auf eine Wachsmodifizierung reagiert. SMA-Mischgut reagiert praktisch nicht.
- Der „Temperaturgewinn“ beim Asphaltbinder liegt für die Veränderung der Raumdichte zum Teil innerhalb, im Einzelfall auch außerhalb der Verfahrenspräzision.
- Für die Umsetzung dieser Erkenntnisse - beispielsweise, um eine Sensitivität der Raumdichteänderung bei Änderung der Verdichtungstemperatur abzuleiten - genügt es auf keinen Fall, nur einen Wert für die Referenzraumdichte bei einer einzigen Temperatur zu ermitteln. Auch für den Referenzasphalt muss ein Temperatursweep gefahren werden, um mangelnde Präzisionen zu erkennen.
- Eine Reduzierung der maßgebenden Verdichtungstemperatur für die Herstellung der „Referenz-Marshall-Probekörper“ wird nicht empfohlen, weil sie, wenn überhaupt, nur für Asphaltbinder und nicht für Splittmastixasphalt und auch nicht für Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten - wie die Untersuchungen im labortechnischen Maßstab (siehe Abschnitt 4.2.2) gezeigt haben - gelten kann.

Da die verwendeten viskositätsverändernden Produkte im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht systematisch untersucht wurden, wurde das resultierende Bitumen mit Trichlorethen zurückgewonnen und die Viskositäten bestimmt. Die dynamischen Viskositäten im Temperaturbereich 100 °C bis 150 °C sind in analoger Darstellung zu den Raumdichten den Diagrammen des Bildes 4.2.8 zu entnehmen.

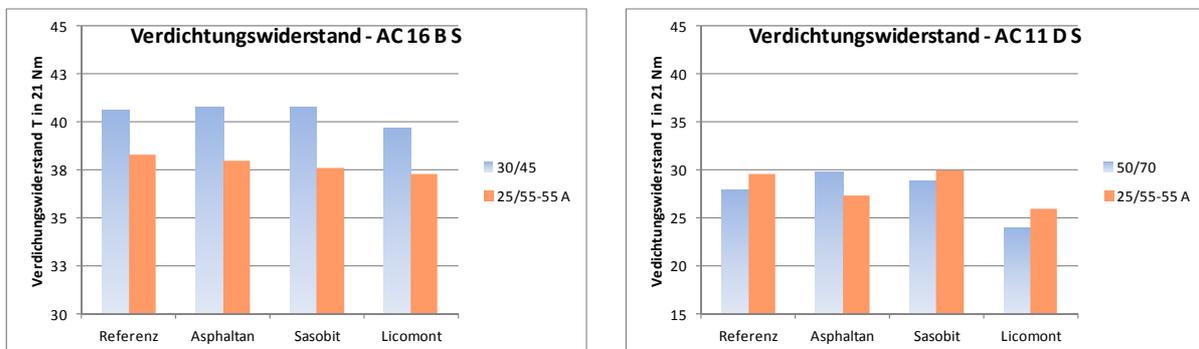


**Bild 4.2.8: Dynamische Viskositäten am rückgewonnenen Bindemittel der aus den Asphaltbindern AC 16 B S und Splittmastixasphalten mit und ohne Wachsmodifizierung im großtechnischen Maßstab an Asphaltmischwerken hergestellten Asphalte (Zusammensetzung der Asphaltvarianten, siehe Tabelle 4.2.5)**

Die festgestellten Viskositätsunterschiede bringen im Einzelfall „Temperaturgewinne“ in der Größenordnung bis zu 15 und 20 Kelvin. Bild 4.2.8 kann entnommen werden, dass die hier im Abkühlungstrend festgestellten Änderungen der dyn. Viskositäten mit denen des „Temperaturgewinns“ bei der Verdichtung der Marshall-Probekörper nicht korrespondieren und die Unterschiede in der Zusammensetzung offensichtlich dominieren.

#### 4.2.4 Verdichtungswiderstand

Während der Durchführung der im Abschnitt 4.2.2 beschriebenen Untersuchungen zum Einflusses der Verdichtungstemperatur auf die Raumdichte der Marshall-Probekörper wurden gleichzeitig die Verdichtungswiderstände  $T$  bei regelkonformen Verdichtungstemperatur von  $T_v = 135\text{ °C}$  bzw.  $T_v = 145\text{ °C}$  ermittelt. Den Histogrammen in Bild 4.2.9 ist unmittelbar zu entnehmen, dass sich die Verdichtungswiderstände einer Asphaltart durch die unterschiedliche Wachsmodifizierung nur marginal unterscheiden, insbesondere sind keine Unterschiede zur Referenz ohne Wachsmodifizierung erkennbar.



**Bild 4.2.9: Verdichtungswiderstand  $T$  der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**

Dieses Ergebnis überrascht insofern, dass Berichte aus der Praxis eine Verbesserung der Verdichtbarkeit zumindest während des Einbaus erwarten lassen. Offensichtlich können die Effekte im großtechnischen Maßstab bei der Asphaltmischgutherstellung und der Verdichtung im Laboratorium nicht nachgebildet werden.

Andererseits sind die in diesem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungen in sich plausibel und nachvollziehbar.

- Die dynamischen Viskositäten unterscheiden sich verhältnismäßig wenig. Äquiviskositätstemperaturen weisen Temperaturunterschiede von weniger als 10 Kelvin auf,
- die Mischwiderstände unterscheiden sich praktisch nicht (siehe Abschnitt 4.2.1)

- die Verdichtungswiderstände unterscheiden sich ebenfalls praktisch nicht.

Wird berücksichtigt, dass sich während der Asphaltmischgutherstellung und der Asphaltverdichtung die Bindemittelviskositäten aller Bindemittel gleichermaßen auf einem sehr niedrigen Niveau zwischen 0,5 und 0,8 Pas bewegen, so sind die Untersuchungsergebnisse nachvollziehbar und plausibel. Alle Bindemittel, auch die wachsmodifizierten, sind in diesem Temperaturbereich so flüssig, dass sich etwaige Viskositätsunterschiede auf die Verdichtungseigenschaften nicht auswirken.

### **4.3 Asphalt-Performance**

Die Untersuchungen zur Asphalt-Performance umfassen die Wasserempfindlichkeit (Haftverhalten), die Verformungseigenschaften mittels Spurbildungsversuch und mittels Druck-Schwellversuch, das Kälteverhalten mittels Zug- und Abkühlversuch sowie das Ermüdungsverhalten mittels Zug-Schwellversuch.

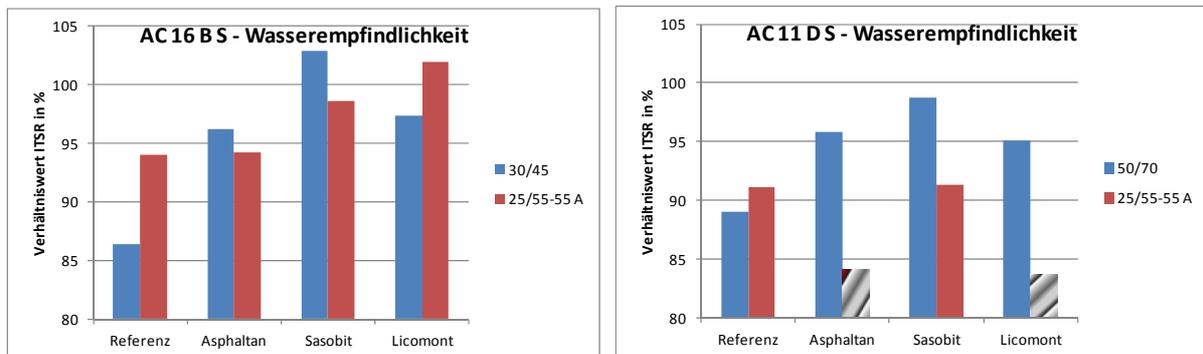
#### **4.3.1 Wasserempfindlichkeit**

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Wasserempfindlichkeit nach den TP Asphalt-StB, Teil 12 sind in Tabelle 4.3.1 aufgelistet und in Bild 4.3.1 histogrammisch veranschaulicht. Trotz der bekannten Schwäche dieses Versuchstyps, die mit dem Einfluss des Hohlraumgehaltes des Probekörpers zusammenhängen und mit den Tatsachen, dass bei der Prüftemperatur von  $T = +15\text{ °C}$  der gewünschte Zugbruch nicht realisiert werden kann, die Größe der Spaltzugfestigkeiten unberücksichtigt bleibt und unerklärlicherweise nach der Nasslagerung auch Zuwächse der Spaltzugfestigkeit festgestellt werden können, gestatten die Ergebnisse tendenzielle Aussagen.

Beim Asphaltbinder wird bei keiner Variationsstufe ein ungünstiger Einfluss durch die Wachsmodifizierung festgestellt. Unabhängig von der Art des verwendeten Bindemittels, Straßenbaubitumen oder Polymermodifiziertes Bitumen, werden in allen Fällen größere ITSR-Werte festgestellt.

**Tabelle 4.3.1: Wasserempfindlichkeit (Haftverhalten) mittels Änderung der Spaltzugfestigkeit (ITSR)**

Variante	Wachsart	Hohlraum- gehalt	Spaltzug- festigkeit trocken	Spaltzug- festigkeit nass	Änderung	verblei- bend (ITSR)
		Vol.-%	MPa	MPa	%	%
AC 16 B S 30/45	Referenz	6,0	2,500	2,160	-13,4	86,4
	Asphaltan	6,0	2,534	2,437	-3,8	96,2
	Sasobit	5,6	2,591	2,667	+2,9	102,9
	Licomont	4,8	2,537	2,471	-3,6	97,4
AC 16 B S 25/55-55 A	Referenz	6,0	1,833	1,722	-6,0	94,0
	Asphaltan	4,9	2,084	1,964	-5,8	94,2
	Sasobit	4,6	2,015	1,987	-1,4	98,6
	Licomont	4,6	1,955	1,993	+1,9	101,9
AC 11 D S 50/70	Referenz	5,0	2,143	1,908	-11,0	89,0
	Asphaltan	4,8	2,270	2,176	-4,1	95,9
	Sasobit	3,3	2,458	2,425	-1,3	98,7
	Licomont	3,0	2,437	2,318	-4,9	95,2
AC 11 D S 25/55-55 A	Referenz	5,2	2,073	1,889	-8,9	91,1
	Asphaltan	4,4	2,903	2,442	-15,9	84,1
	Sasobit	3,8	3,015	2,753	-8,7	91,3
	Licomont	4,0	2,947	2,467	-16,3	83,7



**Bild 4.3.1: Wasserempfindlichkeit (ITSR) der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**

Bei den überprüften Asphaltdeckschichtvarianten trifft diese Aussage mit zwei Ausnahmen ebenfalls zu. Die Ausnahme bilden die Asphaltan- und die Licomont-Abmischungen mit PmB. In diesen beiden Fällen (in Tabelle 4.3.1 kursiv gedruckt und in Bild 4.3.1 grau schraffiert markiert) werden gegenüber der Referenz ohne Wachsmodifizierung kleinere ITSR-Werte gefunden. Eine Begründung hierfür kann

nicht gegeben werden. Wiederholungsprüfungen sind nicht mehr möglich, da die Baustoffproben verbraucht sind.

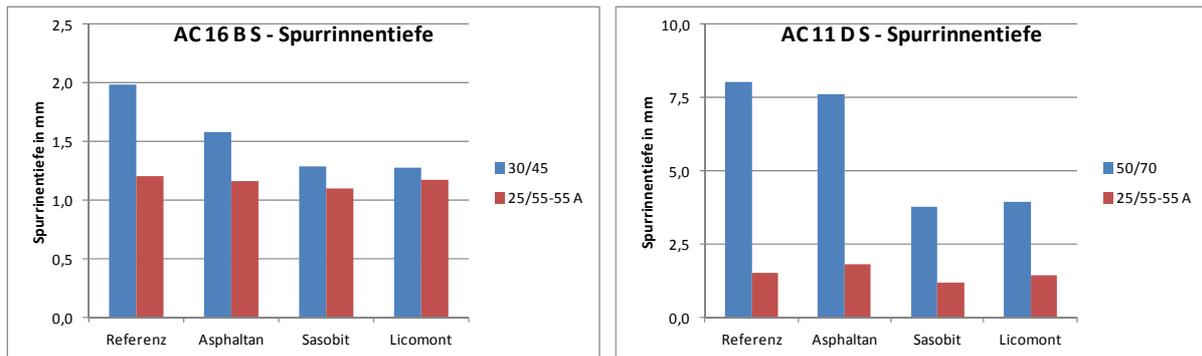
#### 4.3.2 Verformungseigenschaften

Die Ergebnisse zu den Spurbildungsversuchen und den Druck-Schwellversuchen enthalten Tabelle 4.3.2 und die Bilder 4.3.2 und 4.3.3.

**Tabelle 4.3.2: Ergebnisse der Spurbildungsversuche an Asphalt-Probepplatten und der Druck-Schwellversuche an Marshall-Probekörpern, die mit einer Verdichtungstemperatur von  $T_v=105\text{ °C}$  und  $T_v=135\text{ °C}$  (bzw.  $145\text{ °C}$ ) verdichtet wurden**

Variante	Wachsart	SBV	Druck-Schwellversuch - Prüftemperatur $T=+50\text{ °C}$					
			$T_v=105\text{ °C}$			$T_v=135\text{ °C}$ (30/45; 50/70) $T_v=145\text{ °C}$ (25/55-55 A)		
		Spurrinnentiefe	Dehnungsrate $\varepsilon_w^*$	Dehnung im WP $\varepsilon_w$	n	Dehnungsrate $\varepsilon_w^*$	Dehnung im WP $\varepsilon_w$	n
		mm	$\text{‰}\cdot 10^{-4}/n$	$\text{‰}$	-	$\text{‰}\cdot 10^{-4}/n$	$\text{‰}$	-
AC 16 B S 30/45	Referenz	2,0	47,9	11,70	1.126	22,8	9,37	1.606
	Asphaltan	1,6	15,7	12,45	3.151	3,2	10,23	7.484
	Sasobit	1,3	1,6	10,37	10.000	1,6	8,87	9.266
	Licomont	1,3	2,3	10,73	9.267	2,0	10,30	10.000
AC 16 B S 25/55-55 A	Referenz	1,2	47,3	13,66	1.276	3,5	11,00	8.184
	Asphaltan	1,2	7,7	14,1	6.901	1,1	7,87	10.000
	Sasobit	1,1	4,8	12,3	7.351	0,9	8,2	6.901
	Licomont	1,2	42,2	14,03	1.641	0,9	8,47	10.000
AC 11 D S 50/70	Referenz	8,0	60,6	8,8	686	40,3	10,0	966
	Asphaltan	7,6	22,0	9,5	1.601	1,0	8,6	10.000
	Sasobit	3,8	1,1	8,2	10.000	0,8	7,2	10.000
	Licomont	3,9	59,1	9,00	691	0,9	7,60	10.000
AC 11 D S 25/55-55 A	Referenz	1,5	12,9	12,9	3.791	0,9	7,6	10.000
	Asphaltan	1,8	0,9	7,7	10.000	0,7	7,3	10.000
	Sasobit	1,2	1,2	9,4	10.000	0,7	7,3	10.000
	Licomont	1,5	11,3	12,8	4.601	0,6	6,5	10.000

SBV: Spurbildungsversuch Luftbad/Gummirad/60°C



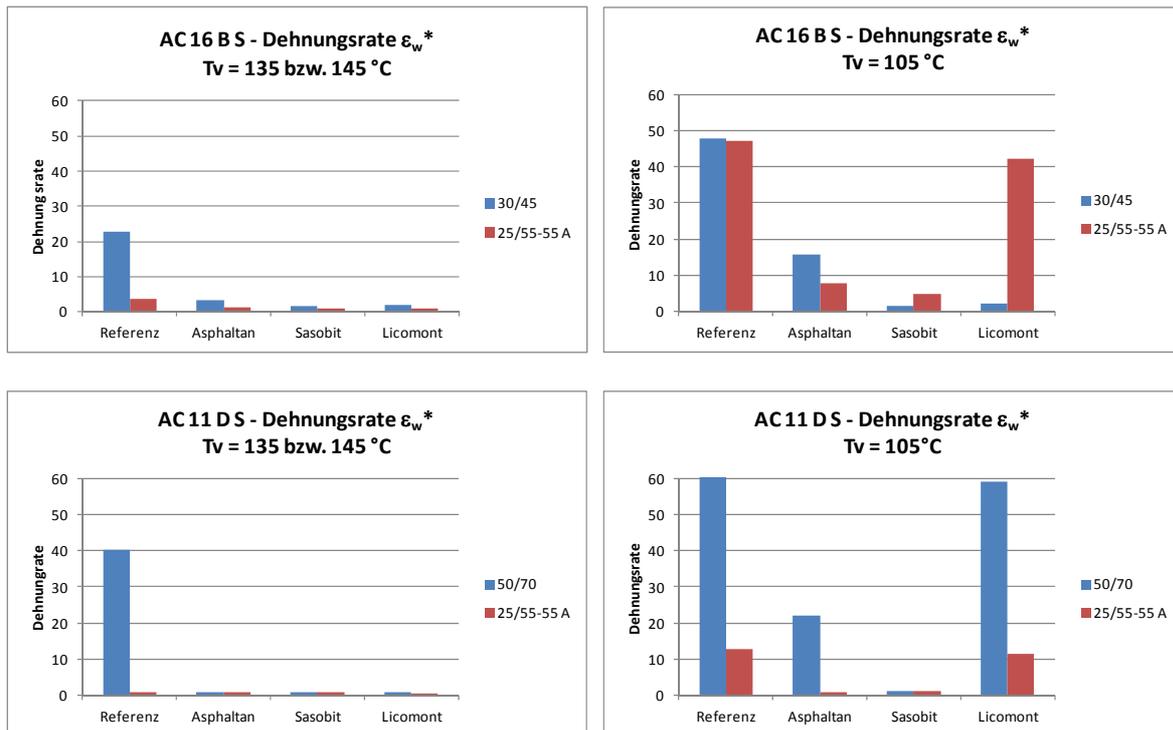
**Bild 4.3.2: Spurrinntiefe der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**

Im Anhang A4.1 sind die Ergebnisse der Druck-Schwellversuche vollständig dokumentiert.

Die Spurbildungsversuche wurden bei einer Temperatur von  $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  im Luftbad durchgeführt.

Ausgewertet wurde die Spurrinntiefe nach 10.000 Überrollungen. Bild 4.3.2 ist unmittelbar zu entnehmen, dass durch die Wachszugabe die Spurrinnenbildung verringert wird. Dieser Einfluss ist sowohl beim Asphaltbinder als auch beim Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten bei der Verwendung von Straßenbaubitumen vergleichsweise groß und bei der Verwendung von PmB vernachlässigbar. Hier wird ein etwaiger Einfluss durch die Verfahrenspräzision überdeckt. Bei den Asphaltvarianten mit PmB ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Spurrinntiefe des Referenzasphaltes bereits auf einem sehr niedrigen (verformungsresistenten) Niveau angesiedelt ist und kaum noch Potenzial für eine weitere Verformungsbegünstigung vorhanden ist.

Der Druck-Schwellversuch wurde jeweils an Probekörpern durchgeführt, die sowohl mit einer regelkonformen Verdichtungstemperatur (bei Straßenbaubitumen  $T_v = 135 \text{ }^\circ\text{C}$  und bei PmB  $T_v = 145 \text{ }^\circ\text{C}$ ) als auch mit einer reduzierten Verdichtungstemperatur von  $T_v = 105 \text{ }^\circ\text{C}$  verdichtet wurden.



**Bild 4.3.3: Dehnungsrate im Wendepunkt aus dem Druck-Schwellversuch der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**

Als aussagefähige Kenngröße des Verformungsdiagrammes gilt die Dehnungsrate  $\epsilon_w^*$  im Wendepunkt. Hinsichtlich der Dehnungsraten ist festzustellen, dass diese durch die Wachsmodifizierung in den meisten Fällen kleiner werden und der Einfluss bei der Verwendung von PmB kleiner ist als bei der Verwendung von Straßenbaubitumen.

In den meisten Fällen ist die Dehnungsrate an den bei einer Temperatur von  $T_v = 105$  °C verdichteten Probekörpern deutlich größer, als die an den bei der Referenztemperatur verdichteten. Wird also eine Asphaltprobe bei einer um 20 Kelvin (Straßenbaubitumen) bzw. 30 Kelvin (PmB) reduzierter Verdichtungstemperatur hergestellt, so ist mit einer deutlichen Reduzierung (Verschlechterung) der Verformungsbeständigkeit zu rechnen.

#### 4.3.3 Kälteeigenschaften

Die Rissempfindlichkeit gegenüber Kälteangriff wurde mittels Zugversuchen bei vier Temperaturen und Abkühlversuchen an allen Varianten überprüft.

Die Ergebnisse sind Grafiken, in denen die Zugfestigkeiten bzw. die kryogenen Spannungen in Abhängigkeit von der Prüftemperatur dargestellt sind. Diese Bilder werden durch Tabellen ergänzt, in denen ausgewählte Kennwerte und die dominanten Kennwerte, nämlich die Bruchspannung und die zugehörige Bruchtemperatur aus dem Abkühlversuch und die maximale Zugfestigkeitsreserve einschließlich der zugehörigen Temperatur notiert sind.

Die Ergebnisblätter sind im Anhang A4.2 abgelegt.

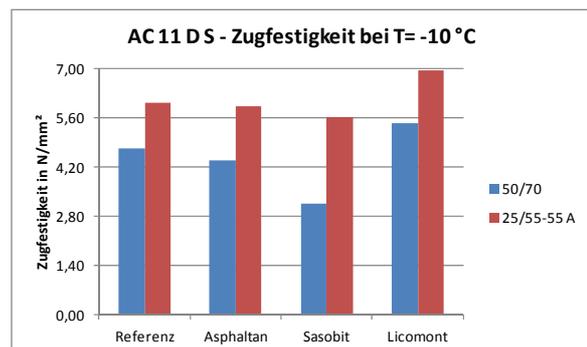
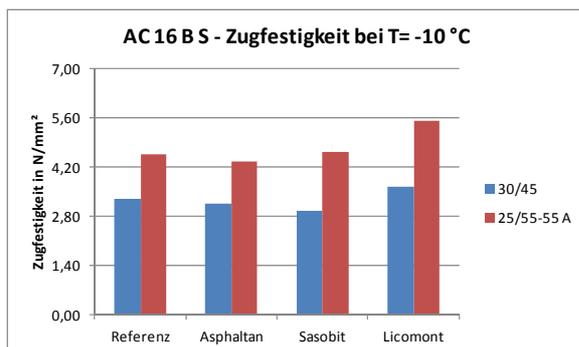
Kriterien für die Beurteilung der Kälteeigenschaften sind mehrere Kenngrößen, die miteinander verknüpft sind und sich kaum isoliert darstellen lassen.

- Hohe Zugfestigkeiten begünstigen den Risswiderstand gegenüber Kälteangriffen.
- Tiefe Temperaturen der maximalen Zugfestigkeit zeigen günstiges Kälteverhalten an.
- Eine hohe Bruchspannung im Abkühlversuch steht für günstiges Kälteverhalten.
- Eine tiefe Bruchtemperatur im Abkühlversuch zeigt ein günstiges Kälteverhalten an.
- Das gleiche gilt auch für die Zugfestigkeitsreserve. Die maximale Zugfestigkeitsreserve soll möglichst groß sein, die zugehörige Temperatur möglichst klein (tief).

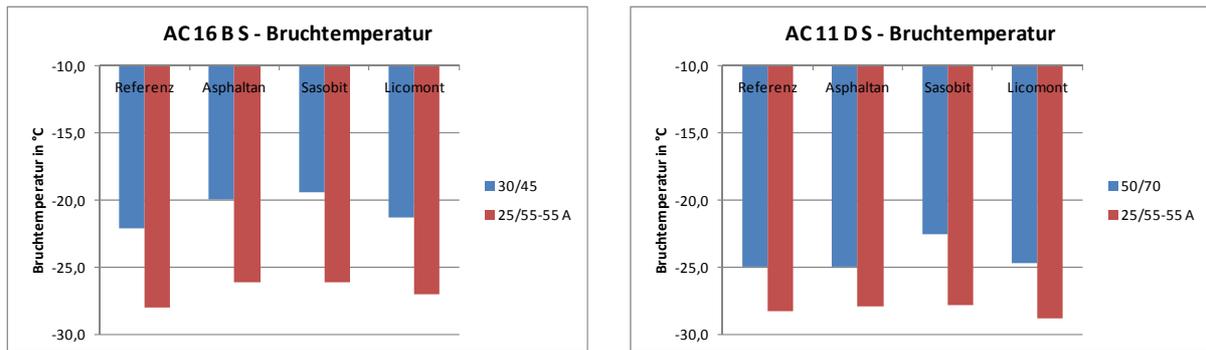
Der Einfachheit halber sind ausgewählte Kenngrößen der Untersuchungen zum Kälteverhalten in Tabelle 4.3.3 übertragen und die Zugfestigkeiten bei  $T = -10\text{ °C}$  aus den Zugversuchen und die Bruchtemperaturen aus den Abkühlversuchen in den Bildern 4.3.4 und 4.3.5 histografisch dargestellt.

**Tabelle 4.3.3: Ausgewählte Kennwerte aus den einaxialen Zugversuchen und den Abkühlversuchen zur Ansprache der Kälteeigenschaften**

Variante	Wachsart	Zugversuch	Abkühlversuch		Zugfestigkeitsreserve	
		Zugfestigkeit bei T= -10 °C	Bruchspannung $\sigma_{\text{Bruch}}$	Bruchtemperatur $T_{\text{Bruch}}$	$\beta_{\text{max}}$	$T_{\text{max,res}}$
		MPa	MPa	°C	MPa	°C
AC 16 B S 30/45	Referenz	3,312	3,360	-22,1	3,483	+0,5
	Asphaltan	3,158	2,799	-20,0	2,991	+0,2
	Sasobit	2,967	3,135	-19,4	3,229	+3,0
	Licomont	3,631	3,171	-21,3	3,323	-1,8
AC 16 B S 25/55-55 A	Referenz	4,548	4,000	-28,0	3,869	-9,2
	Asphaltan	4,352	3,917	-26,1	3,510	-8,8
	Sasobit	4,620	4,156	-26,1	3,740	-8,0
	Licomont	5,502	4,162	-27,0	4,676	-9,2
AC 11 D S 50/70	Referenz	4,735	4,012	-25,0	4,167	-7,5
	Asphaltan	4,398	4,036	-25,0	3,617	-5,6
	Sasobit	3,159	3,955	-22,6	3,930	-5,0
	Licomont	5,446	4,190	-24,7	4,668	-7,9
AC 11 D S 25/55-55 A	Referenz	6,020	5,276	-28,3	5,122	-9,7
	Asphaltan	5,930	5,056	-27,9	4,944	-9,1
	Sasobit	5,623	5,246	-27,8	4,463	-8,8
	Licomont	6,968	5,313	-28,8	5,973	-9,8



**Bild 4.3.4: Zugfestigkeit bei T= -10 °C aus dem einaxialen Zugversuch der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**



**Bild 4.3.5: Bruchtemperatur aus dem Abkühlversuch der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**

Bei einer summarischen Betrachtung hinsichtlich der Einflüsse der viskositätsverändernden Zusätze auf das Kälteverhalten ist zwischen der Art des Basisbitumens, PmB oder Straßenbaubitumen, und zwischen den einzelnen Wachsarten (Asphaltan und Sasobit auf der einen, Licomont auf der anderen Seite) zu unterscheiden,

- Der Einsatz von PmB gegenüber Straßenbaubitumen begünstigt das Kälteverhalten. Die Werte für die Zugfestigkeiten und für die Bruchspannungen steigen, die Bruchtemperaturen liegen auf einem deutlich niedrigeren (günstigeren) Niveau.
- Bei der Verwendung von Montanwachs (Asphaltan) und FT-Wachs (Sasobit) und PmB werden, wenn überhaupt, nur marginale Unterschiede festgestellt, die in keinem Fall signifikant sind. Die Zugfestigkeiten und die Bruchtemperaturen liegen auf vergleichbarem Niveau.
- Beim Straßenbaubitumen sind mit Ausnahme der Licomont-Modifikation die Unterschiede nicht zu übersehen, die Zugfestigkeiten werden kleiner, die Bruchtemperaturen steigen an, im Einzelfall sogar deutlich, das bedeutet, dass das Kälteverhalten ungünstig beeinflusst wird. Die gleiche Aussage trifft auch für die maximale Zugfestigkeitsreserve zu.
- Insgesamt gesehen nimmt das Amidwachs (Licomont) in der hier gewählten Zugabemenge von 3 % gegenüber dem Montanwachs (Asphaltan) und dem FT-Wachs (Sasobit) eine Sonderstellung ein. Dieser viskositätsverändernde Zusatz wirkt sich nur an ganz wenigen Stellen nachteilig auf die Kälteeigenschaften aus. Meist werden günstigere Kälteeigenschaften ausgewiesen. Gegenüber der Referenz sind die Zugfestigkeiten bei  $T = -10 \text{ °C}$  in allen Fällen

#### 4.3.4 Ermüdungseigenschaften

Die Ermüdungseigenschaften werden mit Hilfe des Zug-Schwellversuchs bei einer Temperatur von  $T = -10 \text{ °C}$  bei Anlegen der dieser Temperatur zugehörigen kryogenen Spannung als Unterspannung angesprochen. Die Oberspannung ergibt sich als Summe der aus der kryogenen Spannung abgeleiteten Unterspannung  $\sigma_u$  und der mechanogenen Spannung  $\sigma_m$ , welche für die Asphaltbinder mit 1,60 MPa und für die Asphaltdeckschichtvarianten mit 2,00 MPa angesetzt wurde.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen, die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch, sind in Tabelle 4.3.4 zusammengestellt und in Bild 4.3.6 histografisch veranschaulicht.

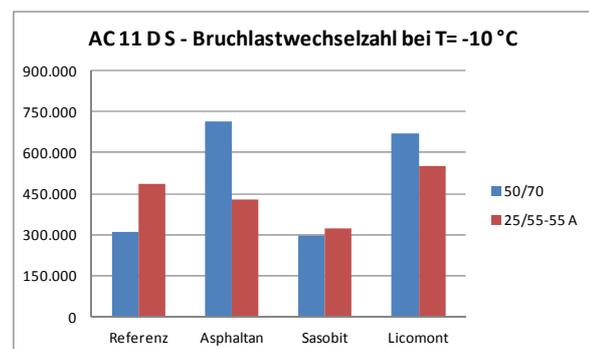
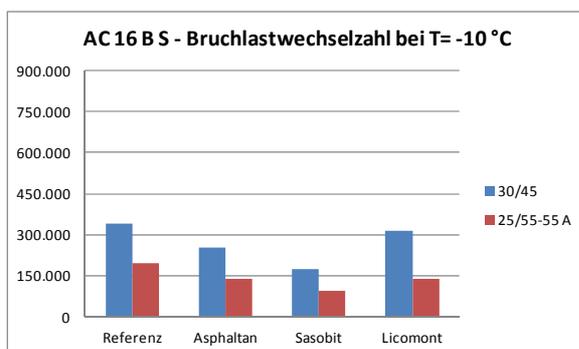
Die Interpretation der Untersuchungsergebnisse wird dadurch erschwert, dass sich in einigen Fällen nach einer Lastwechselzahl von etwa 750.000 immer noch kein Bruch einstellte und der Versuch aus laborökonomischen Gründen abgebrochen werden musste. In diesen Fällen steht als Wert  $n > 750.000$ , der dann zur Mittelwertbildung herangezogen wurde.

Bild 4.3.6 ist zunächst zu entnehmen, dass die Asphaltbindervarianten im tiefen Temperaturbereich trotz der geringeren mechanogenen Spannung deutlich weniger Lastwechsel bis zum Bruch ertragen, also weniger ermüdungsbeständig sind, als die Asphaltdeckschichtvarianten.

Beim Einsatz von Montanwachs und FT-Wachs sinken die Lastwechselzahlen sowohl bei der Variante mit Straßenbaubitumen als auch bei der PmB-Variante. Die Ermüdungseigenschaften werden also ungünstig beeinflusst. Der Asphaltbindervariante mit dem Amidwachs wird praktisch die gleiche Lastwechselzahl zugewiesen wie dem Referenzasphalt.

**Tabelle 4.3.4: Ermüdungsverhalten im Zug-Schwellversuch bei T= -10°C: Ertragbare Anzahl der Lastwechsel bis zum Bruch**

Mischgutvarianten und gewählte Spannungen		Referenz	Art der Wachsmodifikation		
			Montanwachs	FT-Wachs	Amidwachs
AC 16 B S 30/45	1	281.940	98.899	58.714	111.044
	2	546.604	297.104	234.521	381.005
	3	198.739	356.807	223.591	455.294
	i.M.	342.430	250.937	172.275	315.781
Spannungen in MPa	$\sigma_u$	0,84	0,98	1,22	0,92
	$\sigma_m$	1,60	1,60	1,60	1,60
AC 16 B S 25/55-55 A	1	105.726	108.534	156.631	181.817
	2	221.428	47.211	76.355	108.961
	3	259.681	264.111	45.355	121.957
	i.M.	195.811	139.952	92.780	137.578
Spannungen in MPa	$\sigma_u$	0,69	0,86	0,94	0,84
	$\sigma_m$	1,60	1,60	1,60	1,60
AC 11 D S 50/70	1	287.405	645.262	389.934	513.579
	2	364.398	750.000	232.406	>750.000
	3	271.513	750.000	270.027	>750.000
	i.M.	307.772	715.087	297.456	671.193
Spannungen in MPa	$\sigma_u$	0,39	0,65	0,70	0,53
	$\sigma_m$	2,00	2,00	2,00	2,00
AC 11 D S 25/55-55 A	1	387.827	469.906	320.841	578.222
	2	271.894	373.454	269.443	553.752
	3	794.048	439.561	379.564	516.498
	i.M.	484.590	427.640	323.283	549.491
Spannungen in MPa	$\sigma_u$	0,57	0,79	0,81	0,68
	$\sigma_m$	2,00	2,00	2,00	2,00



**Bild 4.3.6: Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch aus dem Zug-Schwellversuch der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphaltmischgutvarianten**

Bei der Asphaltdeckschichtvariante wird gegenüber der Referenz für die Modifikation mit Montanwachs und FT-Wachs eine geringere Bruchlastwechselzahl festgestellt. Die Modifikation mit Amidwachs führt dagegen zu einer höheren Bruchlastwechselzahl, die Ermüdungseigenschaft wird also in diesem Fall günstig verändert.

Wegen der teilweise großen Streuungen der Einzelwerte lassen sich die Prüfergebnisse mit Verfahren der mathematischen Statistik nicht absichern, ein Umstand, der bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse zu berücksichtigen ist.

Absichern lassen sich die Aussagen erst, wenn die Anzahl der Wiederholungsprüfungen erhöht und die Versuche bei mehreren Temperaturen durchgeführt werden.

#### 4.3.5 Zusammenfassung der Untersuchungen zur Asphalt-Performance

Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Gebrauchseigenschaften der Asphaltbinder und Asphaltbetone für Asphaltdeckschichten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Haftverhalten, ausgedrückt als ITSR-Wert wird in den meisten Fällen durch die Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel begünstigt.
- Der Verformungswiderstand wird durch die Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel begünstigt. Diese Aussage stützt sich auf die bei einer Prüftemperatur von  $T = +60 \text{ °C}$  durchgeführten Spurbildungsversuche und auch auf die bei einer Temperatur von  $T = +50 \text{ °C}$  durchgeführten Druck-Schwellversuche. Mittels Druck-Schwellversuch hat sich gezeigt, dass durch die Reduzierung der Verdichtungstemperatur um 20 Kelvin (Straßenbaubitumen) bzw. 30 Kelvin (PmB), die Verformungsempfindlichkeit teilweise erheblich steigt.
- Der Einsatz von Montanwachs und FT-Wachs wirkt sich meistens ungünstig auf das Kälteverhalten aus. Zugfestigkeiten und Bruchspannungen werden kleiner, Bruchtemperaturen größer. Dieser Einfluss ist bei Verwendung von Straßenbaubitumen 30/45 bzw. 50/70 als auch bei der Verwendung von

25/55-55 A zu beobachten. Das Amidwachs übt praktisch keinen ungünstigen Einfluss auf das Kälteverhalten aus. Im Einzelfall sind sogar Vorteile auszumachen.

- Durch die Additivierung der Asphaltbindervarianten mit Montanwachs und FT-Wachs werden die Ermüdungseigenschaften nachteilig beeinflusst. Die Additivierung von Amidwachs (Licomont) beeinflusst die Ermüdungseigenschaften der Asphaltbindervarianten praktisch nicht. Bei den Asphaltdeckschichtvarianten werden bei mehreren der überprüften Fälle durch die Verwendung von viskositätsverändernden Zusätzen ebenfalls Nachteile hinsichtlich der Ermüdungseigenschaften festgestellt. Die Asphaltdeckschichtvarianten mit FT-Wachs reagieren indifferent, für die Asphaltgemische mit Amidwachs werden gegenüber der Referenz bei tiefen Temperaturen (hier  $T = -10\text{ °C}$ ) sogar bessere Ermüdungseigenschaften erkannt.

#### **4.4 Einbauprojekt Berliner Straße**

Die Untersuchungen im großtechnischen Maßstab wurden von der Stadt Braunschweig in das Deckenprogramm 2009 eingestellt, das Asphaltmischgut von der Hastrabau-Wegener GmbH & Co. KG hergestellt und von der Hastrabau NL Braunschweig in die Berliner Straße der Stadt Braunschweig eingebaut. Die Erprobungsstrecke umfasst einen Asphaltbinder AC 16 B S und einen Splittmastixasphalt SMA 11 S mit PmB 25/55-55 A zum einen ohne Wachs, zum anderen mit FT-Wachs (Sasobit).

Die Zusammensetzung der Asphaltgemische und die erzielten Verdichtungsgrade und Hohlraumgehalte können den Kontrollprüfungsberichten entnommen werden. Die wichtigsten Kennwerte sind in Tabelle 4.4.1 übertragen.

Die Ergebnisse zur Extrahierbarkeit des Bitumens wurden bereits im Abschnitt 4.1 eingegliedert und bereits dort diskutiert.

**Tabelle 4.4.1: Einbauprojekt Berliner Straße: Zusammensetzung, Hohlraumgehalte der Marshall-Probekörper, Verdichtungsgrade und Hohlraumgehalte der eingebauten Schicht**

Variante	Bm.- gehalt	EP RuK	Füller	Splitt > 2 mm	H <sub>bit</sub>	k (Bohrk.)	H <sub>bit</sub> (Bohrk.)
	M.-%	°C	M.-%	M.-%	Vol.-%	%	Vol.-%
AC 16 B S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	4,2	66,2	7,5	64,5	4,0	100,7	3,3
AC 16 B S 25/55-55 A mit FT-Wachs (Sasobit)	4,6	76,2	7,7	68,3	4,7	102,4	2,4
SMA 11 S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	6,2	61,2	10,3	72,0	1,6	100,2	1,4
SMA 11 S 25/55-55 A mit FT-Wachs (Sasobit)	6,1	79,0	10,8	71,8	1,8	99,4	2,4
Anmerkung	Bei den angegebenen Werten zur Zusammensetzung handelt es sich um Durchschnittswerte mehrerer Asphaltanalysen an Asphaltmischgut und an wiedererwärmten Asphalt-Probekörpern. Sie weichen daher von den Zahlenwerten der Kontrollprüfungen (siehe Anhang A5.1) ab.						

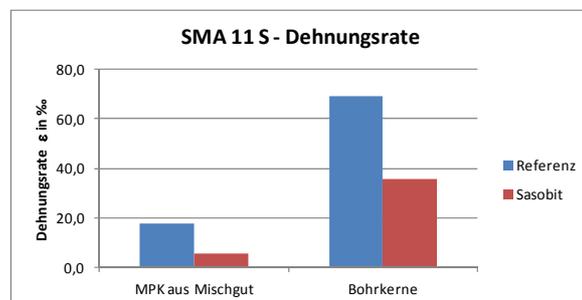
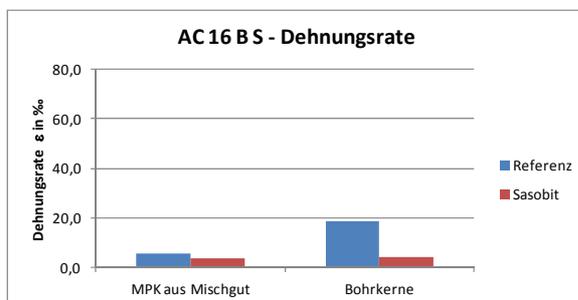
Die Untersuchungen im Rahmen des Einbauprojektes erstreckten sich auf den Einfluss der Zugabe von FT-Wachs auf die Verformungseigenschaften, Kälteeigenschaften und Ermüdungseigenschaften.

Die Gebrauchseigenschaften wurden an Asphalt-Probekörpern ermittelt, die aus während des Einbaus entnommenem Asphaltmischgut hergestellt wurden, aber auch an Bohrkernproben, die nach zweijähriger Liegedauer im Frühsommer 2011 aus der Asphaltbefestigung entnommen wurden.

Die Verformungseigenschaften wurden mittels Druck-Schwellversuch bei einer Prüftemperatur von  $T = +50 \text{ °C}$  angesprochen, die Verformungsdiagramme sind im Anhang A5.2 abgelegt. Die wichtigsten Kennstellen aus diesen Verformungsdiagrammen, die Dehnungsrate  $\dot{\epsilon}_w^*$ , die Dehnung im Wendepunkt  $\epsilon_w$  und die Anzahl der Belastungszyklen  $n$  im Wendepunkt sind in Tabelle 4.4.2 und für die Dehnungsrate in einem Histogramm (siehe Bild 4.4.1) zusammengefasst.

**Tabelle 4.4.2: Ergebnisse des Druck-Schwellversuchs an mit einer Verdichtungstemperatur von  $T_v=145\text{ °C}$  verdichteten Marshall-Probekörpern aus Asphaltmischgut und an Bohrkernproben nach Einbau und Verdichtung**

Variante	Seite	Druck-Schwellversuch - Prüftemperatur $T= +50\text{ °C}$					
		MPK aus Asphaltmischgut			Bohrkernproben nach Einbau und Verdichtung		
		Dehnungsrate $\epsilon_w^*$	Dehnung im WP $\epsilon_w$	Lastzyklen n	Dehnungsrate $\epsilon_w^*$	Dehnung im WP $\epsilon_w$	Lastzyklen n
		$\text{‰}\cdot 10^{-4}/n$	$\text{‰}$	-	$\text{‰}\cdot 10^{-4}/n$	$\text{‰}$	-
AC 16 B S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	1	5,3	14,3	10.000	17,05	27,6	10.000
	2	7,7	12,6	6.301	15,34	27,6	10.000
	3	3,3	10,0	8.401	23,81	39,0	10.000
	i.M	5,43	12,3	8.234	18,73	31,40	10.000
AC 16 B S 25/55-55 A mit FT-Paraffin (Sasobit)	1	3,1	12,9	10.000	4,24	21,5	10.000
	2	4,6	11,8	7.651	4,07	22,3	10.000
	2	-	-	-	3,99	23,4	10.000
	i.M	3,85	12,4	8.825	4,10	22,40	10.000
SMA 11 S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	1	19,3	20,3	3.751	68,7	111,0	10.000
	2	19,8	21,2	3.751	69,4	126,6	10.000
	3	13,9	21,6	4.951	-	-	-
	i.M	17,67	21,0	4.151	69,1	118,8	10.000
SMA 11 S 25/55-55 A mit FT-Paraffin (Sasobit)	1	9,3	28,0	10.000	38,29	68,5	10.000
	2	4,4	22,0	8.401	32,93	62,4	10.000
	3	3,6	23,2	10.000	-	-	-
	i.M	5,77	24,4	10.000	35,61	65,5	10.000



**Bild 4.4.1: Dehnungsrate im Wendepunkt aus dem Druck-Schwellversuch der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphalte, Asphaltbinder (links) und Splittmastixasphalt (rechts)**

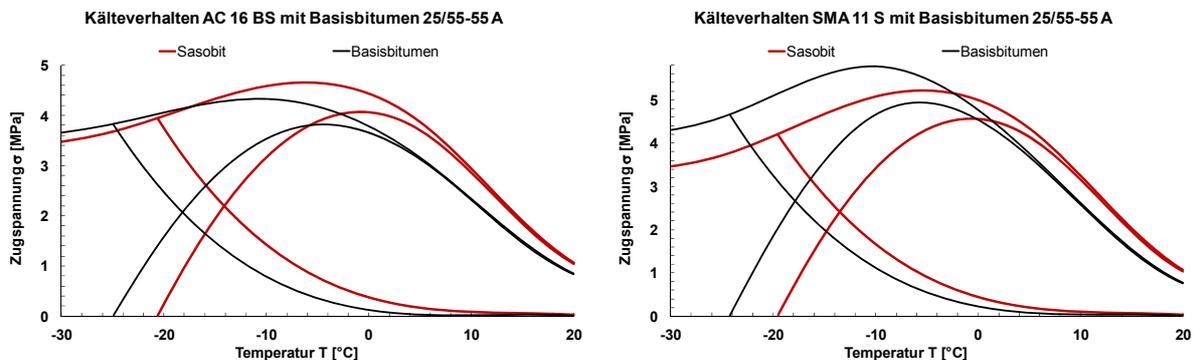
Die Dehnungsrate gilt als aussagefähige Kenngröße für die Beurteilung der Verformungseigenschaften. Kleine Dehnungsraten stehen für günstige, größere Dehnungsraten für ungünstiges Verformungsverhalten.

Bild 4.4.1 ist zu entnehmen, dass in plausibler Weise der Asphaltbinder verformungsbeständiger ist als der SMA und dass die Dehnungsraten am Marshall-Probekörper die Asphalte deutlich steifer beurteilen, als die Dehnungsraten an den aus der Straße entnommenen Bohrkernproben.

Die wachsmodifizierten Asphalte zeichnen sich in allen Fällen gegenüber den Referenzasphalten ohne Wachs durch geringere Dehnungsraten aus, was auf eine bessere Verformungsbeständigkeit hinweist.

Die Untersuchungen zum Kälteverhalten, dies sind die Ergebnisse der Zugversuche und der Abkühlversuche, sind im Anhang A5.3 grafisch und tabellarisch beigefügt.

In Bild 4.4.2 sind die Verläufe der Zugfestigkeiten und der kryogenen Spannungen in Abhängigkeit von der Prüftemperatur für die Referenz ohne Wachs (schwarz) und für die wachsmodifizierten Asphalte (rot) jeweils für den Asphaltbinder und für den SMA 11 S in ein Diagramm eingezeichnet.



**Bild 4.4.2: Verläufe der Zugfestigkeiten und kryogenen Spannungen in Abhängigkeit von der Temperatur an Asphalt-Probepplatten aus dem Asphaltmischgut, Asphaltbinder (links) und Splittmastixasphalt (rechts)**

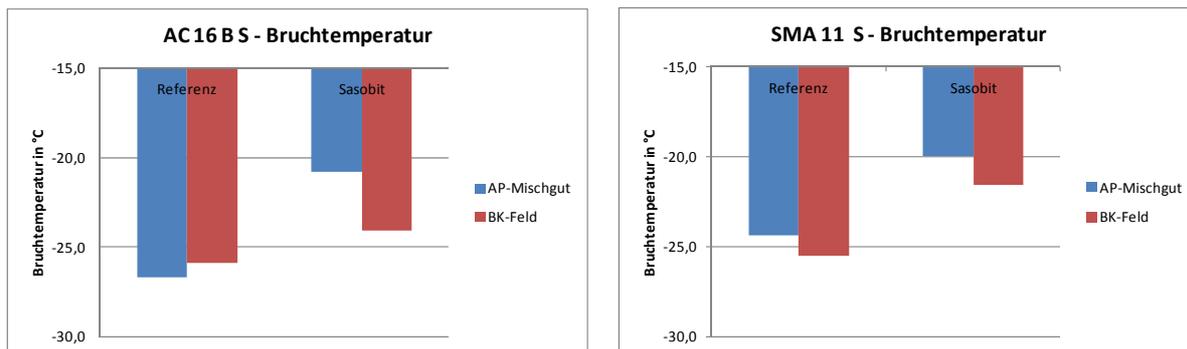
Der Betrachter erkennt sofort, dass die jeweils roten Kurven in Bereiche höherer Temperaturen verschoben werden. Das heißt, dass sich durch die Wachsmodifizierung ein ungünstiges Kälteverhalten einstellt.

**Tabelle 4.4.3: Ergebnisse des Zug- und Abkühlversuche**

Art der Probe	Variante	Zugversuch	Abkühlversuch		Zugfestigkeitsreserve	
		Zugfestigkeit bei T= -10°C	$\sigma_{\text{Bruch}}$	T <sub>Bruch</sub>	$\beta_{\text{max}}$	T <sub>max, res</sub>
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	°C	N/mm <sup>2</sup>	°C
Asphalt-Probepplatte aus Mischgut	AC 16 B S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	4,328	4,264	-26,7	3,818	-4,4
	AC 16 B S 25/55-55 A mit FT-Wachs (Sasobit)	4,585	3,927	-20,8	4,063	-0,8
	SMA 11 S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	5,771	4,608	-24,4	4,933	-5,7
	SMA 11 S 25/55-55 A mit FT-Wachs (Sasobit)	5,081	4,277	-20,0	4,559	-0,6
Bohrkernprobe nach Einbau	AC 16 B S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	3,438	3,048	-25,9	3,003	-6,0
	AC 16 B S 25/55-55 A mit FT-Wachs (Sasobit)*	(6,112)	(4,938)	(-24,1)	(5,226)	(-7,5)
	SMA 11 S 25/55-55 A ohne Wachs (Referenz)	5,477	4,439	-25,5	4,758	-8,2
	SMA 11 S 25/55-55 A mit FT-Wachs (Sasobit)	4,346	3,768	-21,6	4,098	-2,1

*/\* Ergebnisse wegen offensichtlicher Fehlmessungen bei der Interpretation nicht berücksichtigt*

Die Bruchtemperaturen im Abkühlversuch sind für die Probekörper aus Asphaltmischgut und aus Bohrkernproben in Bild 4.4.3 vergleichend gegenübergestellt. Danach steigen die Bruchtemperaturen in allen Fällen durch die Modifizierung mit FT-Wachs (Sasobit) an, d.h., das Kälteverhalten von Asphalten wird durch Modifikation mit FT-Wachs ungünstig beeinflusst.



**Bild 4.4.3: Bruchtemperaturen aus den Abkühlversuchen der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphalte, Asphaltbinder (links) und Splittmastixasphalt (rechts).**

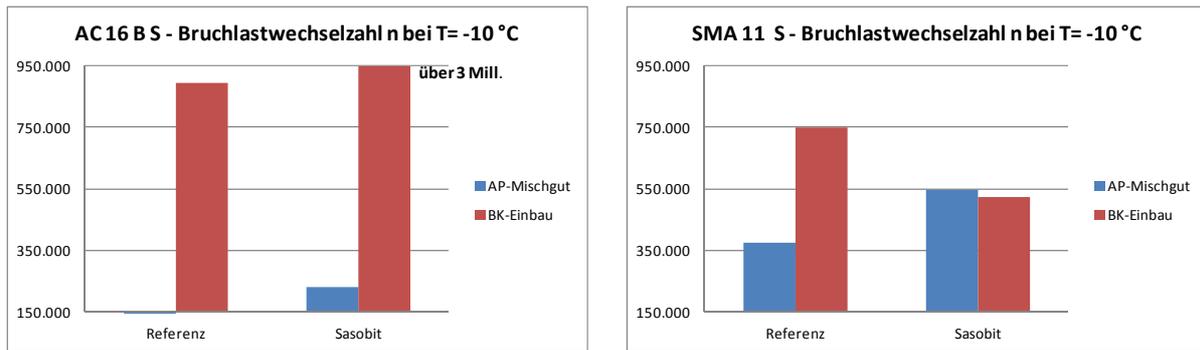
Die Ergebnisse der Zug-Schwellversuche sind in Tabelle 4.4.4 aufgelistet und in Bild 4.4.5 veranschaulicht. Leider konnten für den Asphaltbinder ohne Wachs wegen Materialmangels keine Asphalt-Probekörper hergestellt werden, so dass hierfür keine Daten vorgelegt werden können.

Die Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten bei tiefen Temperaturen der aus der Asphaltbinderschicht entnommenen Bohrkernproben sind nicht interpretierbar, da die gewählten mechanogenen Spannungen nicht oder erst im extrem hohen Lastwechselbereich zum Bruch geführt haben. Rückstellproben für weitere Untersuchungen waren verbraucht.

Die Ermüdungseigenschaften des Splittmastixasphaltes, festgestellt an Probekörpern aus Asphalt-Probekörperplatte und aus Bohrkernproben der eingebauten und verdichteten SMA-Schicht widersprechen sich insofern, dass der wachsmodifizierten Asphaltmischgutprobe gegenüber der Referenz ein besseres Ermüdungsverhalten zugesprochen wird, die wachsmodifizierte Ausbauprobe gegenüber der Referenz jedoch ungünstiger abschneidet.

**Tabelle 4.4.4: Ermüdungseigenschaften mittels Zug- Schwellversuch bei T= -10 °C - Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch und gewälte Spannungen  $\sigma_u$  und  $\sigma_m$**

Art der Probe	Variante	Serie	ohne Wachs	mit FT-Wachs (Sasobit)
			Lastwechselzahl n [-]	Lastwechselzahl n [-]
Asphalt-Probeplatte aus Mischgut	AC 16 B S 25/55-55 A	1	fehlt	250.741
		2		308.901
		3		130.161
		Mittelwert	229.934	
		$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ] $\sigma_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,77 1,60	1,42 1,60
	SMA 11 S 25/55-55 A	1	301.174	> 2 Mill
		2	463.469	297.056
		3	362.274	597.597
		Mittelwert	375.274	548.218
		$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ] $\sigma_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,73 2,00	1,12 2,00
Bohrkernprobe nach Einbau	AC 16 B S 25/55-55 A	1	768.577	4.455.876
		2	168.577	-
		3	1.744.299	1.737.916
		Mittelwert	893.818	3.096.896
		$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ] $\sigma_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,50 1,60	1,10 1,60
	SMA 11 S 25/55-55 A	1	> 750.000	> 750.000
		2	> 750.000	470.707
		3	> 750.000	348.570
		Mittelwert	750.000	523.092
		$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ] $\sigma_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,45 2,00	0,60 2,00



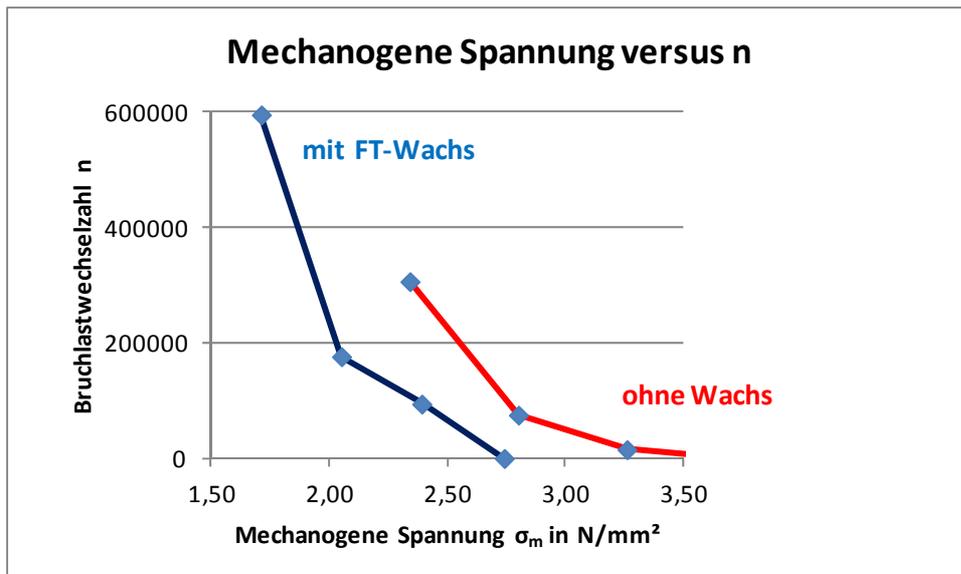
**Bild 4.4.4: Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch aus den Zug-Schwellversuchen der mit und ohne Wachsmodifizierung hergestellten Asphalte**

Um diesen Widerspruch zu klären, wurden aus Rückstellproben des SMA weitere Asphalt-Probepplatten hergestellt und wiederholt Ermüdungsversuche bei systematischer Variation der mechanogenen Spannung als Prozentwert zur Zugfestigkeitsreserve durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 4.4.5 und Bild 4.4.5 zusammengefasst.

**Tabelle 4.4.5: Ergebnisse der Zug- Schwellversuche bei systematischer Variation der mechanogenen Spannung für den SMA 11 S aus dem Einbauprojekt**

Variante	Versuchsbedingungen			Ergebnis
	$\sigma_{kro} = \sigma_u$	$\sigma_m$	$\sigma_{ges}$	Lastwechselzahl n
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	[-]
SMA 11 S	1,12	2,34	3,46	306.852
25/55-55 A	1,12	2,80	3,92	75.612
ohne Wachs (Referenz)	1,12	3,26	4,38	15.743
	1,12	3,73	4,85	908
SMA 11 S	1,62	1,71	3,33	595.932
25/55-55 A	1,62	2,05	3,67	176.878
mit FT-Wachs (Sasobit)	1,62	2,39	4,01	94.749
	1,62	2,74	4,36	513



**Bild 4.4.5: Einfluss der Größe der mechanogenen Spannung auf die ertragbaren Lastwechsel bis zum Bruch aus dem Zug-Schwellversuch des SMA 11 S aus dem Einbauprojekt**

Bild 4.4.5 kann in einem konkreten Beispiel entnommen werden, dass für den Fall, dass einer asphaltspezifischen kryogenen Unterspannung eine mechanogene schwellende Spannung von 2,50 N/mm<sup>2</sup> aufgelegt wird, der nicht wachsmodifizierte Asphalt-Probekörper nach etwa 200.000 Lastwechseln und der mit FT-Wachs modifizierte Asphalt-Probekörper nach etwa 60.000 Lastwechseln bricht.

Das heißt, dass die Zugabe eines FT-Wachses das Ermüdungsverhalten eines Splittmastixasphaltes bei einer tiefen Temperatur von  $T = -10 \text{ °C}$  nachteilig verändert.

Zusammenfassend ist für die Untersuchungen im großtechnischen Maßstab festzustellen:

- Bei einem vergleichbaren Verdichtungsmanagement wurde bei dem wachsmodifizierten Asphaltbinder ein etwas kleinerer Hohlraumgehalt und bei dem Splittmastixasphalt ein etwas größerer Hohlraumgehalt realisiert. Die Unterschiede im Hohlraumgehalt sind mit 0,9 Vol.-% bzw. 1,0 Vol.-% aber sehr gering und nicht signifikant. Ein systematischer Einfluss auf das Verdichtungsergebnis ist nicht erkennbar. Bei dieser Feststellung ist zu berücksichtigen, dass der Einbau bei optimalen Bedingungen im Sommer vorgenommen wurde.
- Die Modifizierung mit Wachs führt zu deutlich geringeren Dehnungsraten im Druck-Schwellversuch. Die Zugabe eines viskositätsverändernden Additivs -

- Durch die Modifikation mit FT-Wachs wird das Kälteverhalten sowohl des Asphaltbinders als auch des SMA ungünstig beeinflusst. Die Temperaturen der maximalen Zugfestigkeit, der maximalen Zugfestigkeitsreserve und die der Bruchspannung verschieben sich in allen Fällen auf ein höheres, ungünstigeres Niveau.
- Eine belastbare Aussage zum Ermüdungsverhalten des Asphaltbinders kann nicht abgegeben werden, da abgesicherte Daten fehlen. Das Ermüdungsverhalten des Splittmastixasphaltes wird durch die Modifizierung mit FT-Wachs zumindest tendenziell ungünstig beeinflusst.

## **5 Zusammenfassung**

Die Herstellung von Gussasphalt mit viskositätsverändernden Zusätzen bzw. viskositätsveränderten Bindemitteln ist aus Gründen des Arbeitsschutzes in der Zwischenzeit zum Regelfall geworden, um eine Verarbeitungstemperatur im Temperaturbereich unterhalb von 230 °C zu realisieren.

Im Verlaufe der Bearbeitung dieses Forschungsprojektes von der Erarbeitung einer Projektskizze, der Formulierung und Begründung des Forschungsprojektes bis zur Formulierung des Schlussberichtes sind fast sechs Jahre vergangen. Während dieser Zeit hat sich auch der Anspruch verändert, der an Walzasphalte bei Verwendung von viskositätsverändernden Zusätzen bzw. viskositätsveränderten Bindemitteln gestellt wird.

Anfangs gingen die Asphalttechnologen davon aus, dass die Asphaltverdichtung im Felde auf einem niedrigeren Temperaturniveau erfolgen kann. Erst später wurde erkannt, dass das Verdichtungsfenster, also die zur Verdichtung zur Verfügung stehende Zeitspanne nicht beliebig verschoben werden kann. Im Regelfall bleibt die untere, asphaltspezifische Verdichtungstemperatur unverändert, so dass das Verdich-

tungsfenster sogar kleiner wird, wenn die Verdichtung bei einer niedrigeren Temperatur beginnt.

Dies hängt damit zusammen, dass die Wachse im Bereich unterhalb der Temperatur des Erstarrungsintervalls höher viskos sind als das Bitumen und dass in diesem Zusammenhang, je nachdem, ob ein Erstarren oder ein Schmelzen vorliegt, Temperaturen zwischen 70 °C und 140 °C genannt werden.

In dem unteren Bereich der Verdichtungstemperatur erschwert die Anwesenheit von Wachsen die Verdichtung.

Die Begriffe „viskositätsmindernd“ oder „viskositätsabsenkend“ werden deshalb verlassen und stattdessen die Begriffe „viskositätsveränderte Bindemittel“ und „viskositätsverändernde organische Zusätze“ verwendet.

Die Herstellung von Walzasphalt mit viskositätsverändertem Bindemittel bzw. mit viskositätsverändernden organischen Zusätzen erlaubt sicherlich eine Reduzierung der Verdichtungstemperatur um ein bestimmtes Maß.

Im Bereich der Verdichtungstemperatur von 130 °C bis 150 °C führt die Anwesenheit von Wachsen zu einer etwas höheren Raumdichte und somit auch auf einen etwas geringeren Hohlraumgehalt, so dass der Vorteil darin zu sehen ist, dass die Verdichtung auch bei widrigem Wetter gut gelingt und die Verdichtungstemperatur auch im unteren Bereich liegen kann.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes sollten Überlegungen angestellt werden, inwieweit die Verwendung von organischen Additiven im Rahmen der Erstprüfung bzw. im Eignungsnachweis Änderungen der Verfahrensweise nach den TP Asphalt-StB erforderlich machen.

Auch sollten systematische Untersuchungen zur physikalischen Wirkungsweise der viskositätsverändernden Zusätze im Bitumen, der Alterungsneigung und der Wirkung der Zusätze auf die wichtigsten Asphalteigenschaften durchgeführt werden.

Schließlich sollte überprüft werden, inwieweit im Rahmen der Kontrollprüfung Besonderheiten zu beachten sind.

Ausgewählt wurden für die Untersuchungen die drei wichtigsten viskositätsverändernden organischen Zusätze, nämlich Montanwachs, FT-Wachs und Amidwachs, die in einer Menge von jeweils 3 M.-% mit Straßenbaubitumen 50/70 und 30/45 sowie mit PmB 25/55-55 A vermischt wurden.

Hinsichtlich der Bindemittleigenschaften wurde festgestellt:

- Je nach verwendeter Wachsart steigen die Erweichungspunkte Ring und Kugel erheblich und sinken die Werte für die Penetration. Die für Straßenbaubitumen sonst übliche Korrelation Erweichungspunkt Ring und Kugel/ Penetration geht für diese Produktkombinationen weitgehend verloren.
- Die Brechpunkte nach Fraaß steigen bei Verwendung von Straßenbaubitumen bei unterschiedlich starken Einflüssen der Wachsarten unterschiedlich stark an; bei PmB ist keine Veränderung nachweisbar. Das Verfahren Brechpunkt nach Fraaß ist zur Beurteilung der Kälteeigenschaften weniger geeignet.
- Zur Beurteilung der Kälteeigenschaften von wachsmodifiziertem Bindemittel sind Kennwerte aus dem BBR-Versuch besser geeignet als der Brechpunkt nach Fraaß. Die Ergebnisse des BBR-Versuches weisen den Abmischungen mit Wachsen gegenüber dem Basisbitumen ein ungünstigeres Kälteverhalten zu.
- Die im KD-Versuch ermittelten Maximalkräfte und Formänderungsarbeiten steigen durch die Wachsmodifizierung an.
- Der EP RuK ist zur Ansprache der Eigenschaften nach Alterung des resultierenden Bindemittels ungeeignet. Ein Alterungseffekt wird durch den Erweichungspunkt Ring und Kugel bei der Verwendung von Straßenbaubitumen nicht und bei der Verwendung von PmB nur eingeschränkt angezeigt.
- Der komplexe Schermodul aus der DSR-Analytik steigt nach der RTFOT&PAV-Alterung beim wachsmodifizierten Straßenbaubitumen stärker an als beim Basisbitumen, womit eine höhere Alterungsempfindlichkeit begründet wird.

- Die Kurven für die dynamischen Viskositäten im Temperaturbereich zwischen +10 °C und +150 °C unterscheiden sich je nach Wachsart im Abkühl- und im Erwärmungstrend erheblich.
- Die Temperaturen zur Erzielung gleicher Viskositäten unterscheiden sich im Bereich der Verdichtungstemperatur ( $T_v = 135$  °C bei Bitumen bzw.  $T_v = 145$ °C bei PmB) je nach Wachsart und Bindemittelart und -sorte in einer Größenordnung bis zu höchstens 10 Kelvin.
- Im Bereich der Einbautemperatur ist bei vergleichbaren Temperaturen der Einfluss der Bitumenart (Straßenbaubitumen bzw. Polymermodifiziertes Bitumen) auf die dynamische Viskosität erheblich größer als der Einfluss einer Wachsmodifizierung.
- Beim Umgang mit viskositätsverändernden organischen Zusätzen sind Kenntnisse über den Verlauf der Viskositätskurven hilfreich.
- Aus Gemischen wachsmodifizierter Bindemittel mit Trichlorethen lässt sich das Lösemittel abdestillieren, die physikalischen Eigenschaften bleiben weitgehend erhalten.
- Aus Asphalt lässt sich wachsmodifiziertes Bindemittel extrahieren und destillieren, die physikalischen Eigenschaften werden weitgehend wiedergefunden, sofern die Extraktionsdauer lang genug ist. Vom Hersteller des Wachsproduktes sind grundsätzlich Hinweise für die Extraktion und Destillation anzufordern und zu beachten.
- Das Lösemittel Toluol ist für die Extraktion wachsmodifizierter Bindemittel ungeeignet.
- Die Adhäsion zwischen Bindemittel und Gesteinskörnung wird durch die Wachsmodifizierung meist begünstigt, in keinem Fall nachteilig beeinflusst.

Bei der Asphaltherstellung und der Herstellung von Marshall-Probekörpern wurde festgestellt:

- Bei der Herstellung von Walzasphalt im Laboratorium werden mit den im Laboratorium üblicherweise eingesetzten Labormischern durch die Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel nur marginal Vorteile festgestellt.
- Ein Einfluss viskositätsveränderter Bindemittel auf den Verdichtungswiderstand, festgestellt an Marshall-Probekörpern nach den TP Asphalt-StB 07, Teil 10 B, kann nicht nachgewiesen werden.
- Ein Einfluss auf die Raumdichte des Marshall-Probekörpers bei Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel ist erkennbar. Meist werden durch die Wachsmodifizierung tendenziell etwas größere Raumdichten und damit etwas geringere Hohlraumgehalte gefunden. Die Unterschiede liegen jedoch meist innerhalb der Verfahrenspräzision des Bestimmungsverfahrens für die Raumdichte bzw. für den Hohlraumgehalt.
- Tendenziell wirkt sich die Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel bei Asphaltbindern auf die Höhe der Raumdichte etwas stärker aus; weniger bei der Verdichtung von Asphaltdeckschichtmaterial (AC 11 D S, SMA 11 S).
- Die Reduzierung der maßgebenden Verdichtungstemperatur im Laboratorium zur Gewinnung einer Referenzraumdichte kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse - abweichend vom Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt - nicht empfohlen werden.

Hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften der Walzasphalte wurde festgestellt:

- Die Wasserempfindlichkeit der Asphaltgemische wird durch die Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel verringert, das Haftverhalten wird also begünstigt.
- Die Verformungseigenschaften bei Gebrauchstemperaturen werden durch Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel verbessert.
- Bei der Verwendung von Montanwachs und FT-Wachs werden die Kälteeigenschaften nachteilig beeinflusst, ohne aber für die Nutzungsdauer in einen kritischen Bereich zu fallen. Bei der Verwendung von Amidwachs werden in

einigen Fällen je nach betrachteter Asphaltmischgutart und Art des Basisbitumens die Kälteeigenschaften günstig beeinflusst.

- Bei der Beurteilung der Ermüdungseigenschaften bei der hier im Laborversuch angewendeten tieferen Temperatur von  $T = -10 \text{ °C}$  muss zwischen den Wachsarten und den Asphaltarten unterschieden werden.
  - o Mit Ausnahme der Asphaltvarianten mit Amidwachs werden die Ermüdungseigenschaften tendenziell ungünstig beeinflusst.
  - o Beim SMA 11 S des Einbauprojektes werden für die Variante mit FT-Wachs ungünstigere Ermüdungseigenschaften festgestellt.

## **6 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen für KMU**

Der wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Nutzen für KMU ergibt sich aus den folgenden Vorschlägen zur Umsetzung der Ergebnisse:

- Vom Hersteller bzw. Lieferanten des viskositätsverändernden organischen Zusatzes bzw. des viskositätsveränderten Bindemittels sind Erklärungen zu den Extraktionsbedingungen abzugeben, sofern diese von den TP Asphalt-StB abweichen. Darüber hinaus sind vom Hersteller die dyn. Viskositäten des viskositätsveränderten Bindemittels bzw. des viskositätsverändernden organischen Zusatzes in Verbindung mit dem Basisbitumen im Temperatursweep anzugeben.
- Im Rahmen der Erstprüfung ist die Bestimmung der dynamischen Viskosität des viskositätsveränderten Bindemittels im Abkühl- und im Erwärmungstrend hilfreich.
- Dem Hersteller und dem Einbauer des wachsmodifizierten Asphaltes, sollte der Viskositätsverlauf des Bindemittels in der Abkühlphase bekannt sein. Der Erstarrungsbereich des viskositätsveränderten Bindemittels ist unterschiedlich. Daher kann das zeitliche Einbaufenster beschränkt sein und die Verdich-

tungsarbeit beim Einbau beeinflusst werden. Der Lieferant des viskositätsveränderten Bindemittels bzw. des viskositätsverändernden organischen Zusatzes sollte den Bereich der Erstarrungstemperaturen angeben.

- Die Alterungsneigung des viskositätsveränderten Bindemittels kann mittels RTFOT&PAV überprüft werden. Als physikalisches Prüfverfahren ist die DSR-Analytik anzuwenden. Der Erweichungspunkt Ring und Kugel ist zur Beurteilung der Alterungsneigung nicht sinnvoll.
- Die Kälteempfindlichkeit des einzusetzenden viskositätsveränderten Bindemittels sollte statt mittels Brechpunkt nach Fraaß mittels BBR-Analytik überprüft werden.
- Die Kälteeigenschaften der wachsmodifizierten Asphalte für Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichten sind nach DIN EN 12697-46 zu überprüfen.
- Die Ermüdungseigenschaften des wachsmodifizierten Asphalt sind nach DIN EN 12697-46 bei mindestens drei Temperaturen zu überprüfen.
- Die Verformungseigenschaften des wachsmodifizierten Asphalt sind nach den TP Asphalt-StB zu überprüfen.
- Im Rahmen der Erstprüfung sind die Marshall-Probekörper aus wachsmodifiziertem Asphalt in Abweichung zum Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt mit der dem Basisbitumen zugehörigen, regelkonformen Verdichtungstemperatur zu verdichten, bei Straßenbaubitumen mit  $T_v = 135 \text{ °C}$ , bei PmB mit  $T_v = 145 \text{ °C}$ .

## 7 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Zur Sicherstellung des Transfers der in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse, wurden bereits im Verlaufe der Projektbearbeitung intensive Kontakte zur Wirtschaft und zu Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) gepflegt. Teilergebnisse wurden in den folgenden Gremien der FGSV vorgestellt und diskutiert:

AA 7.2 „Bindemittel“, AK 7.2.1 „Bitumen und modifizierte Bitumen“, AA 7.3 „Bauweisen“, 7.3.7 „Temperaturabsenkung“, AA 7.6 „Prüfverfahren“, AK 7.6.4 „Laboratoriumstechnik“.

Auf der Homepage des Deutschen Asphaltverbandes (DAV) wurde auf das Forschungsprojekt aufmerksam gemacht, woraus sich Anfragen und Diskussionen im Dialog ergaben. Anlässlich der Deutschen Asphalttage 2012 wurde eine Plakatwand erstellt und mit Tagungsteilnehmern die hierauf dargestellten Ergebnisse diskutiert. Diese Plakatwand wurde auch im Zuge der ISBS-Veranstaltung „Offenes Labor“ einem internationalen Publikum präsentiert. Teilergebnisse des Forschungsprojektes wurden anlässlich der Sitzung der in Niedersachsen aktiven Prüffellenleiter (Januar 2012) und im Februar/März 2012 auch den Bauleitern zweier Geschäftsbereiche der Niedersächsischen Straßenbauverwaltung vorgestellt.

Teilergebnisse des Forschungsprojektes fließen in die TP Asphalt-StB, Teile 1 und 3 (Bindemittelgehaltsbestimmung und Bindemittelrückgewinnung) und in das „Merkblatt für die Konzeption und die Erstprüfung von Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen“ (M KEP) ein. Im AK „Temperaturabsenkung“ werden die Ergebnisse auf der nächsten Sitzung im September 2012 vorgestellt und dabei geklärt, in welchem Umfang Änderungen im „Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt“ (M TA) vorzunehmen sind.

Es ist vorgesehen, die Ergebnisse des Forschungsprojektes in den einschlägigen Fachzeitschriften „Straße und Autobahn“, „asphalt“ und in den österreichischen Schriften „fsv-aktuell STRASSE“ und „GESTRATA Journal“ zu publizieren. Ein paper für die 5th eata conference 2013 der European Asphalt Technology Association ist in Vorbereitung.

Anlässlich des Deutschen Straßenkongresses 10/2012 wird zu den dort ausstellenden Herstellern von viskositätsverändernden Zusätzen und viskositätsveränderter Bindemittel der Kontakt gesucht und die Ergebnisse des Forschungsprojektes besprochen.

Vorträge werden für die Asphaltstraßentagung 2013 und für VSVI-Veranstaltungen der Landesverbände vorbereitet. Für die VSVI-Niedersachsen ist das Thema „Viskositätsveränderte Asphalte“ im Rahmen der Veranstaltung „Fahrbahnbefestigung“ bereits eingestellt.

Braunschweig, 30. April 2012

(Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Renken)

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Radenberg, M. 2004. Möglichkeiten und Grenzen der Temperaturabsenkung bei Herstellung und Einbau von Walzasphaltnischgut. Schlussbericht, Forschungsprojekt i. A. der Arbeitsgemeinschaft industrielle Forschung (AiF). Nr. 12551 N/1. Essen.
- [2] Opel, A. 2008. Herstellung von Niedrigtemperaturasphalt (Walzasphalt) unter Verwendung von Schaumbitumen: „Schaumbitumen-Heißmischgut“. Schlussbericht, Forschungsprojekt i. A. der Arbeitsgemeinschaft industrielle Forschung (AiF). Nr. 14749 N. Neubiberg.
- [3] Arand, W., Zander, U. und Büchler, S. 1998. Schonende Wiedererwärmung von Asphaltnischgut zur Herstellung von Asphaltprobekörpern für mechanisch/physikalische Prüfungen – Festlegung der Rahmenbedingungen. Schlussbericht, Forschungsprojekt i. A. der Arbeitsgemeinschaft industrielle Forschung (AiF). Nr. 10.276.
- [4] Arnold, J. 2004. Asphalteinbau bei kalter Witterung – Verbesserung der Verdichtbarkeit durch den Einsatz von Bindemitteln mit viskositätsabsenkenden Additiven. Bitumen, Nr. 4. S. 173 –175.
- [5] Barthel, W., von Devivre, M., Marchand, J. P. 2004. Niedrigtemperaturasphalt mit Zeolith – Erfahrungen im In- und Ausland. asphalt, Nr. 8, S. 14 – 19.
- [6] BASt Bundesanstalt für Straßenwesen. 2008. Erfahrungssammlung über die Verwendung von Fertigprodukten und Zusätzen zur Temperaturabsenkung von Asphalt. Bergisch Gladbach.
- [7] Hase, M., Oelkers, C. 2006a. Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 47, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach.
- [8] BASt Bundesanstalt für Straßenwesen. 2006b. Nachuntersuchungen an ausgesuchten Streckenabschnitten zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von TA-Asphalten. Wahlstedt.
- [9] BASt Bundesanstalt für Straßenwesen. 2006c. Absenkung der Produktions- und Verarbeitungstemperatur von Asphalt durch Zugabe von Bitumenverflüssigern. Zwischenbericht, BMVBS Nr. 07.203/2002/CRB
- [10] BASt Bundesanstalt für Straßenwesen, Landesbetrieb Straßenbau NRW, IFTA GmbH. 2005. Dokumentation der Erprobungsstrecke BAB 1 „Modifizierte Zusätze im Splittmastixasphalt“. Bergisch Gladbach.
- [11] Bommert, F. 2002. Einfluss von Wachsen auf den Schichtenverbund und die Haftung des Abstreusplittes bei Gussasphalt, Teil 1: Mechanische Laboruntersuchungen. Schlussbericht. Forschungsprojekt AP 01 351 i. A. der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch Gladbach.
- [12] Burndorfer, M. 2007. Gebrauchsverhalten von mit Amidwachs modifizierten Bitumen. Diplomarbeit. Technischen Universität Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Wien.
- [13] Damm K.-W., Abraham, J., Butz, T., Hildebrand G. und Riebesehl, G. 2002. Asphaltverflüssiger als „intelligenter Füller“ für den Heißeinbau – ein neues Kapitel in der Asphaltbauweise. Bitumen, Nr.1 und 2.

- [14] Damm, K.-W. Bielenberg, B., Radenberg, M. 2006. Nachuntersuchungen an ausgesuchten Streckenabschnitten zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von TA-Asphalten. Schlussbericht, Forschungsprojekt FE 89.0161/2005/AP i. A. der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch Gladbach.
- [15] Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). 19.10.2010. <http://idw-online.de/pages/de/news37371>
- [16] Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaften e.V. 2001. Organisation Ziele Initiativen. Frankfurt am Main.
- [17] Edwards, Y. 2005. Influence of Waxes on Bitumen and Asphalt Concrete Mixture Performance. Dissertation. KTH Stockholm. Stockholm.
- [18] Feil, H. Nolle, B. Reiter, R. 2004. Temperaturabsenkung bei Asphaltdeckschichten - Erprobungsstrecke „Rutesheim 2000“ auf der BAB A8. Straße + Autobahn, Nr. 5, S. 249 –256.
- [19] FGSV. 2008a. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt ZTV Asphalt-StB 07. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [20] FGSV. 2008b. Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen TL Asphalt-StB 07. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [21] FGSV. 2007. TP Asphalt-StB, Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [22] FGSV. 2011. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt (M TA). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [23] FGSV. 2005. Merkblatt für das Verdichten von Asphalt (M VA). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [24] FGSV. 2005. Arbeitspapier Nr.: 27/4, Prüfung des Verarbeitungsverhaltens von DSK-Mischgut mit dem Handrührtest. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [25] FGSV. 1998. Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [26] FGSV. 1994. Technische Prüfvorschrift Verhalten von Asphalt bei tiefen Temperaturen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- [27] Fritsche, H. 1999. Einfluss der Viskosität des Bitumens auf die Raumdichte von Asphalt bei konstanter Verdichtungsarbeit und vorgegebener Verdichtungstemperatur. Asphalt, Nr. 6, S 18 – 26.
- [28] Gesprächskreis Bitumen. 2009. [www.gisbau.de/bitumen.html](http://www.gisbau.de/bitumen.html)
- [29] Großhans, D. Mieth, A. Schwarz, M. Sieber, R. 2001. Die Anwendung von Asphaltan B in Asphaltdeck- und -binderschichten. asphalt, Nr. 2, S. 10 – 18.
- [30] Großhans, D., Schwäbe, A. Abraham. 2002. Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Splittmastixasphalt durch Zusatz eines Montanwachsproduktes. Straße und Autobahn, Nr. 4, S. 191 – 196.

- [31] Heidenlabor. 2008. Gutachten Nr. 09/2008 Objekt B 202 Ortsdurchfahrt Hohn: Shell Mexphalte 45 S, Nachuntersuchungen an ausgewählten Streckenabschnitten zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von TA-Asphalten. Roggentin
- [32] Heidenlabor. 2008. Bericht: B202, OD Hohn Kamerafahrt vom 15.11.07 FWD-Messung vom 20.12.07. Roggentin
- [33] Hoinkis, J., Lindner, E. 2007. Chemie für Ingenieure. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- [34] Mortimer, C. Müller, U. 2007. Chemie: Das Basiswissen der Chemie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- [35] Radenberg, M. 2007. Temperaturabsenkung bei Asphalt - Grundlagen und Erfahrungen. TIEFBAU, Nr. 5.
- [36] Radenberg, M. 2005. Zwischenbilanz und Ausblick, Temperaturabsenkung bei Herstellung und Einbau von Asphalt. asphalt, Nr. 4.
- [37] Renken, P. 1982. Die Verdichtbarkeit von Walzasphaltemischen in Theorie und Praxis. Teil I: Verdichtungsindex K und Teil II: Der Verdichtungsgrad k und seine Bedeutung innerhalb des Verdichtungsprozesses. Die Asphaltstraße - Das stationäre Mischwerk 16.
- [38] Schmidt, Hans. 2003. Temperaturabsenkung im Asphaltstraßenbau. Die Verfahren beim Walzasphalt. asphalt, Nr. 2.
- [39] Wagner, M. Wistuba, M. Blab, R. 2008. Low viscous asphalt mixes - a critical review of FT paraffin modified mix properties using performance-based test methods. Proc., Transport Research Arena, April 21-24, 2008, Ljubljana, Slovenia.
- [40] Wagner, M. 2006. Gebrauchsverhalten von mit Fischer-Tropsch Paraffinen modifizierten, niederviskosen Bitumen und Asphaltbetonen. Diplomarbeit, Technischen Universität Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Wien
- [41] Wiermann, K. 2004. Temperaturabsenkende Zusatzstoffe / Herstellungsverfahren für Asphalt. Studienarbeit, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.
- [42] Renken, P. 2011. Erprobung eines Verfahrens zur Beurteilung der Alterungsneigung von Bindemitteln am Gestein und Schaffen eines Bewertungshintergrundes für Offenporige Asphaltdeckschichten. Schlussbericht, Forschungsprojekt FE 07.0224/2008/BGB i.A. des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Technische Universität Braunschweig, Institut für Straßenwesen, Braunschweig.

# Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Technische Universität Braunschweig, Institut für Straßenwesen (ISBS)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **15589 N**

***Walzasphalte mit viskositätsabsenkenden Additiven - Entwicklung und Optimierung der  
Eignungs- und Kontrollprüfungsverfahren und Bestimmung der Einflüsse auf die  
performance-orientierten Asphalteigenschaften***

(Bewilligungszeitraum: 01.09.2008 - 29.02.2012)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutsches Asphaltinstitut (DAI) e.V.

Braunschweig, 30. April 2012

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Renken

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)  
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages