

## **Beschreibung zum Forschungsantrag**

# **- Wiedervorlage -**

*Ergänzungen / Änderungen sind blau markiert*

### 1. Forschungsthema

## **Beeinflussung der Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit des Schichtenverbundes bei Anwendung viskositätsverändernder organischer Zusätze im Asphalt**

### 2. Wirtschaftliche Relevanz für KMU

#### 2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Damit alle Schichten einer Asphaltbefestigung bei der Lastabtragung als Einheit wirken und Relativverschiebungen zwischen den Schichten vermieden werden, wird die Herstellung eines bestmöglichen Schichtenverbundes angestrebt. In der Regel besteht das Asphaltpaket einer Straße aus einer Asphaltdeck-, einer Asphaltbinder- und einer Asphalttragschicht, die großen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Die Schichten des Asphaltpaketes werden sowohl in vertikaler Richtung durch Radlasten als auch in horizontaler Richtung durch Brems- und Beschleunigungslasten belastet. Zusätzlich wirken witterungsbedingte Beanspruchungen. Die entstehenden Schubbeanspruchungen an und zwischen den Schichtengrenzflächen müssen durch bautechnische Maßnahmen so aufgenommen werden, dass horizontale Relativverschiebungen der Schichtgrenzflächen weitestgehend ausgeschlossen werden. Hierfür ist ein intakter Schichtenverbund notwendig. Bei teilweise gestörtem oder fehlendem Schichtenverbund wird die Tragwirkung der gesamten Befestigung verändert, so dass es zu einer Reduktion bzw. zu einem Verlust der Tragfähigkeit, vorzeitiger Materialermüdung, ggf. zum kompletten Lösen des Verbundes mit der Folge der Entstehung von Schäden und zu einer deutlich kürzeren Nutzungsdauer der Gesamtbefestigung kommen kann.

Seit geraumer Zeit werden aus der Praxis vermehrt Probleme mit nicht anforderungsgemäßem Schichtenverbund zwischen den Schichten von Asphaltbefestigungen ge-

meldet. Es wird vermutet, dass der herzustellende Schichtenverbund durch die viskositätsverändernden Zusätze, welche in den Asphaltsschichten aus einbautechnischen Gründen verwendet werden, gestört wird. Dabei stellt sich die Frage, ob sich diese Zusätze während des Transportes und des Einbaus separieren, an der Oberfläche und / oder an der Schichtgrenze anreichern und damit die Adhäsion zwischen Bitumenemulsion, Bindemittel und Gesteinskörnungsoberflächen und den Schichtenverbund stören.

Diese viskositätsverändernden organischen Zusätze (Wachse) werden zur Absenkung der Herstellungs- und Verarbeitungstemperatur von Asphalten im Straßenbau immer häufiger eingesetzt. Aus Gründen des Arbeitsschutzes ist die Herstellung von Gussasphalt mit viskositätsverändernden Zusätzen bzw. viskositätsveränderten Bindemitteln zum Regelfall geworden, um eine Verarbeitungstemperatur im Temperaturbereich unterhalb von 230°C zu ermöglichen (WISTUBA / RENKEN 2012). Bei Walzasphalt konnte beobachtet werden, dass die zur Verdichtung verfügbare Zeitspanne (Verdichtungs-fenster) nicht beliebig verlängert werden kann. Im Bereich der Verdichtungstemperatur von 130°C bis 150°C erleichtert die Anwesenheit von viskositätsverändernden Zusätzen die Verdichtung auch bei widrigem Wetter. Unterhalb des Kristallisationsbereiches der viskositätsverändernden Zusätze ist keine weitere Verdichtung mehr möglich.

Das beschriebene Problem mit den viskositätsverändernden Zusätzen erfordert zwingend eine Durchführung systematischer experimenteller Untersuchungen. Im beantragten Forschungsprojekt werden die Auswirkungen der viskositätsverändernden Zusätze auf den Schichtenverbund untersucht. Anhand der Forschungsergebnisse wird angestrebt, realitätskonforme Prognosen zu ermöglichen und Lösungen zur Neutralisierung des möglichen negativen Einflusses der viskositätsverändernden Zusätze auf die Verbundwirkung zu finden. Dadurch kann die Dauerhaftigkeit der Straßenbefestigungen langfristig verbessert werden.

## 2.2 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

Der dauerhaft gute Verbund hat eine sehr große Bedeutung für die Lebensdauer von Asphaltstraßen. Die Forschungsergebnisse werden vor allem in die Weiterentwicklung der technischen Regelwerke TP Asphalt-StB, Teil 48 (Entwurf 2013) und RDO Asphalt 09 für den Asphaltstraßenbau einfließen. Hiermit ist eine unmittelbare Nutzung der Erkenntnisse für KMU möglich.

Insbesondere bei Schadensfällen infolge mangelhaften Schichtenverbunds ist eine realitätsnähere Beurteilung des Gebrauchsverhaltens und der Ausführungsqualität von

Asphaltbefestigungen zu ermöglichen. Mit den Forschungsergebnissen wird den mittelständischen privaten Prüflaboren sowie den mittelständischen Straßenbaufirmen eine umfassende Methode zur Beurteilung der Verbundwirkung und zur Vermeidung von Schäden zur Verfügung gestellt. Die möglichen Konsequenzen eines Einsatzes von viskositätsverändernden Zusätzen im Asphalt und die daraus resultierenden Risiken können dabei in Form einer Reduzierung der Nutzungsdauer einer Asphaltbefestigung abgeschätzt werden. Auf Grundlage dieser Untersuchungen können die Wirksamkeit und die Dauerhaftigkeit des Schichtenverbundes quantitativ ermittelt werden

### 3. Wissenschaftlich-technischer Ansatz

#### 3.1 Stand der Forschung und Entwicklung

##### *3.1.1 Viskositätsverändernde Zusätze vs. Schichtenverbund*

Zu dem beantragten Forschungsthema sind bislang keine aussagekräftigen wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt. In einem Forschungsprojekt der BAST hat BOMMERT (2002) die Wirksamkeit von Zusätzen auf die Verarbeitungseigenschaften und die Auswirkungen unter anderem auf den Schichtenverbund untersucht. Zur Beurteilung des Schichtenverbundes wurde der direkte Abscherversuch nach Leutner angewendet. Der Autor stellte fest, dass die Verzahnung von den mit den Zusätzen Romonta N, Asphaltan A und Sasobit modifizierten Gussasphalten und der Asphaltbinderschicht bei einer Temperatur von 220°C deutlich geringer ist, als bei 240°C. Bommert schlussfolgerte, dass die geringere Verzahnung die Ursache für geringere Scherfestigkeiten sei. Durch visuelle Beurteilung der Scherflächen konnte Bommert keine Hinweise auf eine Anreicherung der Zusätze an der Schichtgrenze finden. Die Untersuchung von Bommert beschreibt zwar den Einfluss der Zusätze auf die Verklebung der Schichten, jedoch nur in unzureichender Weise den Einfluss auf den unter allen auftretenden Bedingungen wirksamen Verbund zwischen den Asphaltsschichten. In einem Baubericht publiziert ARNOLD (2004) Empfehlungen zur Verbesserung der Verdichtbarkeit durch den Einsatz von Bindemitteln mit viskositätsverändernden Zusätzen.

WISTUBA UND RENKEN (2012) führten unter anderem systematische Untersuchungen zur physikalischen Wirkungsweise der viskositätsverändernden Zusätze im Bitumen, der Alterungsneigung und der Wirkung der Zusätze auf die wichtigsten Asphalteeigenschaften durch. Es wurden drei viskositätsverändernde organische Zusätze ausgewählt, die in einer Menge von jeweils 3 M.-%, bezogen auf das jeweilige Bindemittel, mit verschiedenen Bindemitteln vermischt wurden. Die Autoren stellten fest, dass die

Adhäsion zwischen Bindemittel und Gesteinskörnung beim Asphaltbindermischgut durch die Modifizierung der Zusätze meist begünstigt wird. Bei den untersuchten Splittmastixasphalten konnten jedoch keine Vorteile durch Modifizierung der Zusätze festgestellt werden. Durch die Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel wird der Verformungswiderstand begünstigt. Darüber hinaus wurde berichtet, dass sich der Einsatz von Montanwachs und Fischer-Tropsch-Wachs (FT-Wachs) häufig ungünstig auf das Kälteverhalten auswirkt und durch den Einsatz des Amidwachses ein negativer Einfluss auf das Kälteverhalten vermieden werden kann. Bei den Ermüdungsversuchen stellten die Autoren fest, dass durch die Zugabe von Montanwachs und FT-Wachs die Ermüdungseigenschaften der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichtvarianten nachteilig beeinflusst werden. Die Ermüdungseigenschaften der Asphaltbindervarianten werden durch Zugabe von Amidwachs (Licomont) praktisch nicht beeinflusst. Im Projekt wurden jedoch keine Untersuchungen zu der Auswirkung der Zusätze auf den Schichtenverbund durchgeführt.

### *3.1.2 Prüfverfahren zur Untersuchung des Schichtenverbundes*

#### Statische Versuche

In Deutschland basiert die Beurteilung des Schichtenverbundes einer Asphaltbefestigung zurzeit auf den Ergebnissen des statischen Abscherversuches nach TP Asphalt-StB Teil 80 (FGSV 2007). Die zur Abscherung notwendige Kraft wird als Kriterium für die Beurteilung des erzielten Schichtenverbundes herangezogen. Aus dem Kraft-Weg-Diagramm wird die Höchstkraft als maximale Scherkraft  $F_{\max}$  entnommen und als Versuchsergebnis zusammen mit dem Scherweg angegeben.

Gegenwärtig werden weltweit viele unterschiedliche Geräte für statische Abscherversuche verwendet. Die Verfahren sind alle ähnlich, aber mit abweichenden Prüfbedingungen (LEUTNER 1979, RAAB / PARTL 1999, SHOLAR U.A. 2004, UZAN U.A. 1978, CANESTRARI / SANTAGATA 2005, WEST U.A. 2005, MOHAMMAD U.A. 2005, MOHAMMAD U.A. 2012). Mit diesen Prüfverfahren können die in der Straßenbefestigung herrschenden Beanspruchungen infolge einer wiederholten Belastung jedoch nicht simuliert werden. Somit sind die statischen Abscherversuche für die Ableitung von Materialparametern, die für die rechnerische Dimensionierung von Asphaltbefestigungen zur Berücksichtigung der Verbundwirkung sowie für eine Prognose der Nutzungsdauer der Straßenbefestigung benötigt werden, nicht geeignet.

## Dynamische Versuche

Zur Prüfung von Asphaltprobekörpern unter realitätsnahen Bedingungen wurden Prüfgeräte entwickelt, mit denen es möglich ist über zyklische Lasten Scherbeanspruchungen unter Zusammenwirkung mit Normallasten in die Probekörper einzuleiten. Die Geräte können teilweise sowohl für statische als auch dynamische Versuche verwendet werden (z. B. ROMANOSCHI / METCALF 2002, DE BONDT 1999, CRISPINO U.A. 1997, HARRIGAN 1994, SANDERS U.A. 1999, WELLNER / ASCHER 2007). Diese Prüfvorrichtungen unterscheiden sich hinsichtlich des Prüfablaufs, der Belastungsart, der Prüftemperatur und der Normalspannung.

Im Rahmen des IGF-Vorhabens Nr. 13589 BR/1 „Untersuchungen zur Wirksamkeit des Haftverbundes und dessen Auswirkung auf die Lebensdauer von Asphaltbefestigungen“ (WELLNER / ASCHER 2006) wurde ein neues Prüfverfahren entwickelt, das eine deutlich realitätsnähere Prüfung der Verbundwirkung sowie die Bestimmung von Eingangsparmetern für die rechnerische Dimensionierung ermöglicht.

Das Prüfverfahren nach WELLNER / ASCHER (2006) wurde in dem an der Professur für Straßenbau der TU Dresden und im ISBS der TU Braunschweig bereits abgeschlossenen IGF-Vorhaben Nr. 17634 BG „Zyklische Schersteifigkeits- und Scherermüdungsprüfung zur Bewertung und Optimierung des Schichtenverbundes in Straßenbefestigungen aus Asphalt“ weiterentwickelt. Für die Versuche wurde eine verbesserte, neu entwickelte Prüfvorrichtung verwendet (Abbildung 1).



**Abbildung 1: Probekörper (links), geschlossene Prüfvorrichtung mit eingebautem Probekörper (Mitte) und Modell der Prüfvorrichtung (rechts)**

Die Scherkraft bzw. der Scherweg wird auf den Probekörper über den vertikal beweglichen Träger A, und die Normalkraft über den horizontal beweglichen Träger B aufgebracht (Abbildung 1, rechts). Die sinusförmige Scherwechselbelastung des Probekörpers erfolgt weggeregelt. Der vertikale Scherweg wird mit Hilfe von zwei Messsensoren, die an dem vertikal beweglichen Träger A befestigt sind, gemessen. An Träger B

befinden sich noch zwei Messsensoren, die seine horizontale Bewegung erfassen (Abbildung 1, Mitte).

Der Versuchsablauf zur Bestimmung der Schersteifigkeit nach WELLNER / HRISTOV (ENTWURF 2014) ist in Abbildung 2 dargestellt. Da er voll automatisiert ist, ist keine manuelle Umstellung nötig.

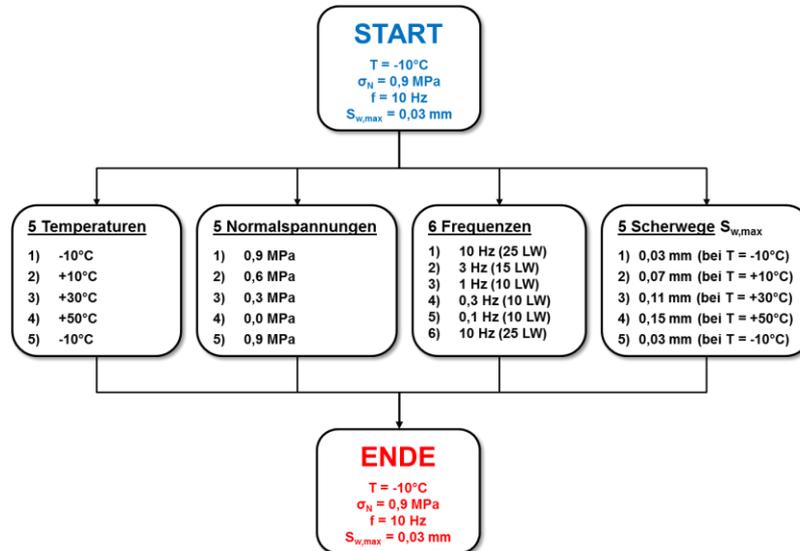


Abbildung 2: Prüfablauf

Die aus der Scherspannung, dem Scherweg und dem Abstand zwischen den Stahl-schalen resultierende Schersteifigkeit (rote Linie) wird als Funktion systematisch variiert Beanspruchungsbedingungen von Frequenz, Normalspannung und Prüftemperatur bestimmt (Abbildung 3).

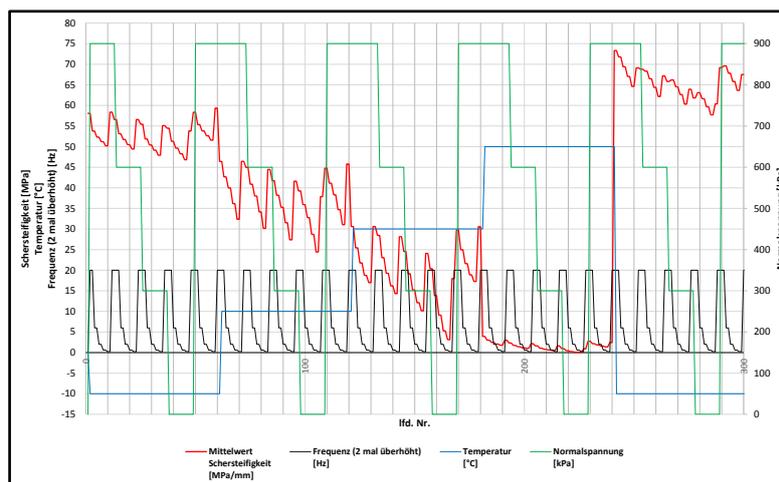


Abbildung 3: Beispiel für die Änderung der Schersteifigkeit bei verschiedenen Frequenzen, Normalspannungen und Prüftemperaturen

Im Ergebnis können komplexe Schersteifigkeitsmoduln ( $G^*$ ) in Abhängigkeit von Normalspannung, Temperatur und Frequenz als Eingangswerte für die rechnerische Dimensionierung bestimmt werden (Abbildung 4). Es wurde festgestellt, dass die Verteilung der Werte der experimentell bestimmten Schersteifigkeit am besten mit Hilfe einer Sigmoidfunktion approximiert werden kann. Die Masterfunktion wurde wie folgt ermittelt:

$$G_s = G_{s,\min} + \frac{(G_{s,\max} - G_{s,\min})}{1 + e^{(m \cdot a + b)}} \quad (1)$$

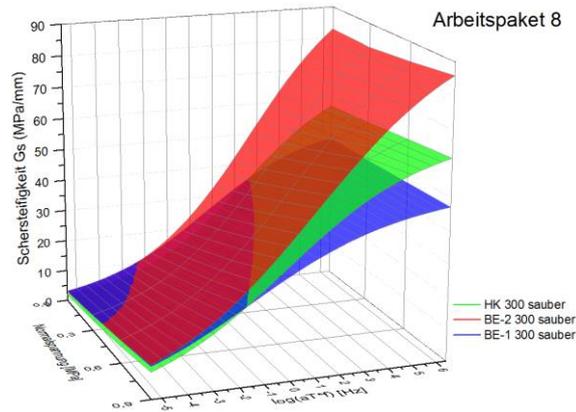
mit:

$m$  Temperatur-Frequenz-Äquivalenz [Hz]

$$m = \log(f \cdot \alpha_T) = \log \left( f \cdot \frac{1}{e^{-\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T+273.15} - \frac{1}{T_R+273.15} \right)}} \right)$$

$G_{s,\min}$	minimale Schersteifigkeit [MPa/mm]
$G_{s,\max}$	maximale Schersteifigkeit [MPa/mm]
$\alpha_T$	Verschiebungsfaktor [-]
$f$	Frequenz [Hz]
$T$	Temperatur [°C]
$T_R = 20^\circ\text{C}$	Referenztemperatur [°C]
$E_a$	Aktivierungsenergie [J/mol]
$R$	universelle Gaskonstante [J/mol·K]
$a$	Regressionsparameter, abhängig von der Normalspannung [-]
$b$	Regressionsparameter, abhängig von der Normalspannung [-]

Somit ist die Beurteilung der Verbundwirkung bezüglich der Auswirkung auf die Dauerhaftigkeit der Straßenbefestigung mit Hilfe von Prognoserechnungen auf der Grundlage realitätsnaher Annahmen für das Verhalten der Baustoffe und der Straßenbefestigung möglich. Außer der Schersteifigkeit kann mit der neu entwickelten Prüfvorrichtung auch die Ermüdung in der Schichtengrenze bei unterschiedlichen Temperaturen, Normalspannungen, Frequenzen und Scherwegen bestimmt werden.



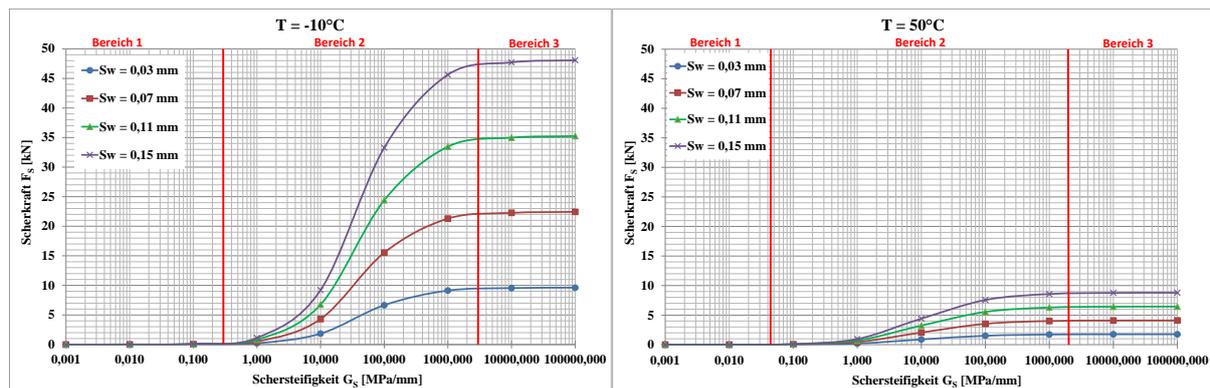
**Abbildung 4: Flächenfunktionen zum Vergleich von verschiedenen Bitumenemulsionsarten, berechnet mit Gleichung (1)**

Mit Hilfe von FE-Simulationen können auch Regressionen zur analytischen Bestimmung der Schersteifigkeit bei unterschiedlichen Scherkräften und Scherwegen abgeleitet werden.

Der funktionale Zusammenhang zwischen der Scherkraft  $F_s$ , dem Scherweg  $s_w$  und der Schersteifigkeit  $G_s$  ist mit Gleichung 2 dargestellt, in der  $a$ ,  $b$  und  $c$  die Regressionsparameter sind.

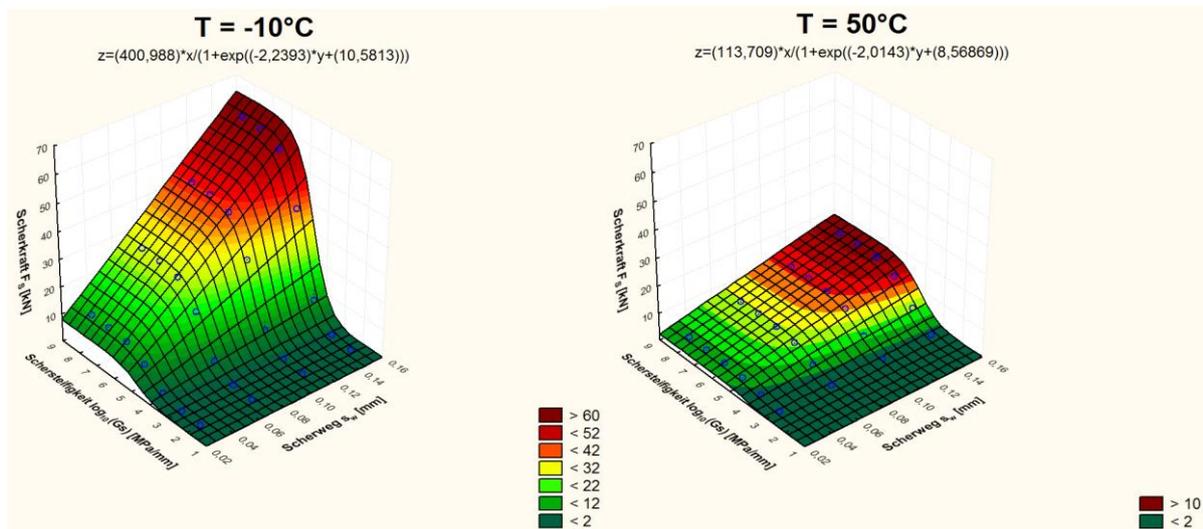
$$F_s = \frac{a \cdot s_w}{1 + e^{(b \cdot G_s + c)}} \quad (2)$$

Abbildung 5 zeigt die Masterfunktionen für vier Scherwege bei zwei extremen Temperaturen von  $-10^\circ\text{C}$  und  $50^\circ\text{C}$ .



**Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Scherkraft und Schersteifigkeit bei vier Scherwegen bei  $-10^\circ\text{C}$  und  $50^\circ\text{C}$**

In Abbildung 6 sind die berechneten Flächenfunktionen zur Bestimmung der Abhängigkeit der Scherkraft  $F_s$  von dem Scherweg  $s_w$  und der Schersteifigkeit  $G_s$  dargestellt.



**Abbildung 6: Flächenfunktionen, bestimmt mit Gleichung (2) für -10°C und 50°C**

Derzeit ist kein weiteres Prüfverfahren bekannt, mit dem die Wechselwirkungen aus wiederholter Verkehrsbelastung, Beschleunigungs- und Bremsvorgängen und witterungsbedingten Einwirkungen auf den Schichtenverbund so umfangreich und detailliert geprüft werden kann. Mit dem präsentierten Verfahren kann deshalb die Auswirkung von viskositätsverändernden Zusätzen auf den Schichtenverbund unter sehr realitätsnahen Bedingungen untersucht werden. Dabei kann festgestellt werden, ob und in welchem Maße der Schichtenverbund durch den Einsatz von Zusätzen in den eingeklebten Asphaltsschichten gestört wird.

### 3.2 Arbeitshypothese

Asphaltbefestigungen werden i.d.R. schichtenweise eingebaut. Durch einen Zeitversatz beim Einbau der einzelnen Schichten kommt es häufig dazu, dass neue Schichten auf eine stark abgekühlte Unterlage aufgebracht werden. Es wird vermutet, dass beim Aufbringen der neuen Schicht, diese beim Einbau im Kontaktbereich mit der Unterlage soweit abgekühlt wird, dass die Zusätze nicht mehr viskositätsmindernd sondern viskositätssteigernd wirken und daher einen Anstieg des Verdichtungswiderstandes des unteren Teils der einzubauenden Schicht zur Folge haben. Die Temperatur kann dabei auch in den Temperaturbereich unterhalb des Kristallisationsbereiches des viskositätsverändernden Zusatzes absinken. Deshalb wird der untere Teil der neuen Schicht vermutlich nicht vorschriftsmäßig verdichtet. Die damit einhergehenden höheren Hohlraumgehalte verringern die Kontaktfläche zwischen den beiden Schichten. Hierin wird eine der Ursachen für die schlechte Verklebung bzw. Störung des Schichtenverbundes

gesehen. Es ist ebenfalls denkbar, dass die im Bitumen vorhandenen Zusätze die Eigenschaften der zur Herstellung des Schichtenverbundes eingesetzten Bitumenemulsion ungünstig verändern.

Das Untersuchungsprogramm in diesem Forschungsprojekt ist so aufgestellt, dass alle möglichen Kombinationen der Wechselwirkung zwischen Asphaltgemischen, viskositätsverändernden Zusätzen und Bitumenemulsionen systematisch erfasst werden können. Die Ergebnisse der verschiedenartigen Untersuchungen werden zeigen, ob und in welchem Maße ein Einfluss vorhanden ist. Mit der neu entwickelten Prüfvorrichtung und dem neuen umfangreichen Verfahren zur zyklischen Prüfung des Schichtenverbundes werden sowohl für die Wissenschaft als auch für die Industrie wichtige Erkenntnisse gewonnen, die Aufschluss zum Mechanismus des Schichtenverbundes, zu den relevanten Einflussparametern und zur zusätzlichen Reduktion des baulichen Risikos bezüglich des zu geringen Schichtenverbundes geben.

#### 4. Lösungsweg

##### 4.1 Bearbeitungsschritte und Personaleinsatz

Alle Versuche werden mit mindestens 3-fach Belegung durchgeführt.

#### **Arbeitspaket 1: Beschaffung von Material, Herstellung der Teststrecke, Herstellung der Probekörper und Entnahme von Bohrkernen**

Zunächst erfolgt die Beschaffung der notwendigen Baustoffe zur Herstellung der Asphaltmischgüter sowie Bitumenemulsionen zur Erzeugung des Schichtenverbundes. Um die Einbaubedingungen realitätsnah zu simulieren, muss eine Teststrecke für die unterschiedlichen Varianten gebaut werden. Aus dieser Teststrecke, die mit einem konventionellen Asphaltfertiger eingebaut sowie mit entsprechenden Walzen verdichtet wird, werden die notwendigen Bohrkern gezogen. Im Laboratorium werden Asphaltplatten mit verschiedenen Verbundvarianten und Asphaltmaterialien mittels eines Walzsektor-Verdichtungsgerätes hergestellt und daraus Bohrkern entnommen. Die Herstellung von Probekörpern bzw. die Bohrungen werden während der Projektlaufzeit fortwährend weitergeführt.

*Dauer: 24 Monate*

## **Arbeitspaket 2: Vergleich zwischen den Schersteifigkeiten des Schichtenverbundes bei Asphaltsschichten ohne und Asphaltsschichten mit viskositätsverändernden Zusätzen**

In diesem Arbeitspaket sollen die Unterschiede zwischen den Schersteifigkeiten des Schichtenverbundes bei Asphaltsschichten ohne und Asphaltsschichten mit viskositätsverändernden Zusätzen bei ansonsten identischen Einbaubedingungen festgestellt und analysiert werden. Dafür werden die im Labor hergestellten Probekörper verwendet. Für die Prüfung der Schersteifigkeiten des Verbundes werden zwei Schichtkombinationen untersucht. Diese Verbundvarianten sind Kombinationen aus Deckschicht (DS) und Binderschicht (BS) mit den Eigenschaften (**m** – mit viskositätsverändernden Zusätzen) und (**o** – ohne viskositätsverändernden Zusätzen).

### **Umfang (ohne viskositätsverändernde Zusätze):**

- 2 Verbundvarianten

*Summe: 6 Versuche*

*Dauer: 1 Monat*

### **Umfang (mit viskositätsverändernden Zusätzen):**

- 3 viskositätsverändernde Zusätze (Sasobit, Amidwachs, Romonta N)
- 4 Verbundvarianten (DS<sub>m</sub>/BS<sub>m</sub>, DS<sub>m</sub>/BS<sub>o</sub>, DS<sub>o</sub>/BS<sub>m</sub>, DS<sub>m</sub>/TS<sub>o</sub>)

*Summe: 36 zyklische Scherversuche*

*Dauer: 3 Monate*

## **Arbeitspaket 3: Einfluss der Probekörperherstellung im Labor auf den Schichtenverbund im Vergleich zu in situ hergestelltem Schichtenverbund**

Da bisher die Unterschiede in der Verbundwirkung zwischen labortechnisch hergestellten Probekörpern und aus der Straße gezogenen Bohrkernen bei Anwendung von Zusätzen nicht bekannt ist, sollen in diesem Arbeitspaket Asphaltprobekörper, die im Labor hergestellt werden, mit aus der Teststrecke entnommenen Bohrkernen verglichen werden. Dabei ist das Additiv, mit dem die größte Abweichung aus Arbeitspaket 2 festgestellt wurde, anzuwenden.

### **Umfang (Labor):**

- 2 Verbundvarianten
- 1 vollständig ohne viskositätsverändernde Zusätze
- 1 vollständig mit viskositätsverändernden Zusätzen

*Summe: 12 Versuche*

*Dauer: 1 Monat*

### **Umfang (Teststrecke):**

- 2 Verbundvarianten
- 1 vollständig ohne viskositätsverändernde Zusätze
- 1 vollständig mit viskositätsverändernden Zusätzen

*Summe:  $\geq 12$  zyklische Scherversuche*

*Dauer:  $\geq 1$  Monat*

### **Arbeitspaket 4: Untersuchung der Auswirkung verschiedener Zusätze auf den mit unterschiedlichen Bitumenemulsionsarten und –mengen hergestellten Schichtenverbund und statische Abscherversuche nach Leutner**

Der Einfluss unterschiedlicher Zusätze auf die in den ZTV Asphalt-StB 07/13 angegebenen zwei Bitumenemulsionsarten C60BP1-S und C40BF1-S wurde bisher nicht untersucht. Es sind ebenfalls keine Erkenntnisse über die Auswirkung der Zusätze auf die Verbundwirkung bei unterschiedlicher Dosierung der Bitumenemulsionen vorhanden. Aus den oben genannten Gründen wird in diesem Arbeitspaket der Schichtenverbund durch Variation der Bitumenemulsionsart und –menge bei unterschiedlichen Temperaturen, Normalspannungen, Frequenzen und Scherwegen geprüft und analysiert. Die Ergebnisse werden mit den im derzeit gültigen Technischen Regelwerk verankerten und mit Anforderungswerten belegten Ergebnissen der statischen Versuche verglichen.

### **Umfang (zyklische Versuche):**

- 1 Verbundvariante (Asphaltdeckschicht – Asphaltbinderschicht)
- 2 Bitumenemulsionsarten (C60BP1-S und C40BF1-S)
- 3 Bitumenemulsionsmengen (z.B. 200 g/m<sup>2</sup>, 300 g/m<sup>2</sup>, 400 g/m<sup>2</sup>)
- 3 viskositätsverändernde Zusätze

*Summe: 54 zyklische Scherversuche*

*Dauer: 5 Monate*

### **Umfang (statische Versuche):**

- 1 Verbundvariante (Asphaltdeckschicht – Asphaltbinderschicht)
- 2 Bitumenemulsionsarten (C60BP1-S und C40BF1-S)
- 3 Bitumenemulsionsmengen (z.B. 200 g/m<sup>2</sup>, 300 g/m<sup>2</sup>, 400 g/m<sup>2</sup>)
- 3 viskositätsverändernde Zusätze (Sasobit, Amidwachs, Romonta N)

*Summe: 54 statische Abscherversuche*

*Dauer: 1 Monat*

### **Arbeitspaket 5: Einfluss der verschiedenen viskositätsverändernden Zusätze bei unterschiedlichen Bindemittelsorten im Asphalt auf den Schichtenverbund**

Die Bindemittleigenschaften bei Zugabe von verschiedenen Zusätzen wurden in verschiedenen Projekten bzw. Gutachten bereits beschrieben. Der Einfluss dieser Zusätze auf die Verbundwirkung ist jedoch nicht untersucht worden. In dem beantragten Forschungsprojekt werden unter Variation der viskositätsverändernden Zusätze die zwei im Straßenbau gebräuchlichsten Bindemittelsorten (50/70 und 25/55-55) verwendet. Dabei wird nur die Verbundvariante Asphaltdeckschicht–Asphaltbinderschicht untersucht, bei der die drei viskositätsverändernden Zusätze in beiden Schichten eingesetzt werden können.

**Umfang:**

- 1 Verbundvariante (Asphaltdeckschicht – Asphaltbinderschicht)
- 2 Bindemittelsorten (50/70 und 25/55-55)
- 3 viskositätsverändernde Zusätze (Sasobit, Amidwachs, Romonta N)

*Summe: 18 zyklische Scherversuche*

*Dauer: 2 Monate*

**Arbeitspaket 6: Einflüsse der eingesetzten Menge von viskositätsverändernden Zusätzen und der Temperatur der Unterlage auf den Schichtenverbund**

In der Praxis werden die Bindemittel mit 2 bis 3 M.-% Zusätzen, bezogen auf den Anteil des Bindemittels, modifiziert. In diesem Arbeitspaket soll geklärt werden, ob und in welchem Maße der Schichtenverbund bei diesen zwei Mengen und bei drei verschiedenen Temperaturen der Unterlage beeinflusst wird.

**Umfang:**

- 1 Verbundvariante (Asphaltdeckschicht – Asphaltbinderschicht)
- 2 Mengen an Zusätzen (2 und 3 M.-%)
- 3 Temperaturen (z.B. 0°C, 30°C und 60°C)
- 3 viskositätsverändernde Zusätze

*Summe: 54 zyklische Scherversuche*

*Dauer: 5 Monate*

**Arbeitspaket 7: Veränderung der Verbundwirkung infolge Ermüdung bei Asphaltsschichten ohne und mit viskositätsverändernden Zusätzen**

Die bei Asphaltgemischen auftretende Materialermüdung infolge wiederholter Belastung wurde hinsichtlich der Auswirkungen auf die Verbundwirkung im abgeschlossenen IGF-Vorhaben Nr. 17634 BG untersucht. Im beantragten Forschungsprojekt ist die

Veränderung der Verbundwirkung infolge Ermüdung bei Asphaltsschichten ohne und mit viskositätsverändernden Zusätzen zu untersuchen.

#### **Umfang:**

- 3 Normalspannungen
- 3 Belastungsamplituden
- 3 Temperaturen
- 1 Verbundvariante (Asphaltdeckschicht – Asphaltbinderschicht)
- 1 Bitumenemulsionsmenge
- 1 Variante ohne Zusätze + 2 Varianten mit viskositätsverändernden Zusätzen

*Summe: 243 zyklische Scherversuche*

*Dauer: 15 Monate*

#### **Arbeitspaket 8: Berechnung der Auswirkung von viskositätsverändernden Zusätzen auf die Dauerhaftigkeit der Asphaltbefestigung**

In diesem Arbeitspaket müssen zunächst die Steifigkeiten und das Ermüdungsverhalten der mit den untersuchten Zusätzen angereicherten Asphaltgemische mit Hilfe von Spaltzug-Schwellversuchen bestimmt werden. Mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programms werden die Varianten mit und ohne viskositätsbeeinflussende Zusätze numerisch berechnet: Dazu wird die durch LIU U.A. (2016) und LIU U.A. (2014) entwickelte FEM-Software SAFEM hinzugezogen. Dabei werden die funktionalen Zusammenhänge zwischen Scherkraft, Scherweg und Schersteifigkeitsmodul ermittelt und die Spannungsverteilungen und Verzerrungen in der Schichtengrenze und im Probekörper bestimmt. Mit Hilfe des Verfahrens zur rechnerischen Dimensionierung von Straßenbefestigungen analog zu den RDO Asphalt (2009) sollen anschließend die Auswirkungen der Verbundwirkung unter Verwendung von viskositätsveränderten Bindemitteln auf das Ermüdungsverhalten und das Risiko der Spurrinnenbildung der gesamten Asphaltbefestigung untersucht werden. Anhand der Ergebnisse der Berechnungen sollen Rückschlüsse auf die erforderliche Qualität des Schichtenverbundes gezogen werden.

*Dauer: 4 Monate*

#### **Arbeitspaket 9: Dokumentation der Ergebnisse**

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes werden in einem Schlussbericht zusammengefasst, der auch während der Projektlaufzeit kontinuierlich fortgeschrieben wird.

*Dauer: 3 Monate*

Eine Zusammenfassung aller wesentlichen Arbeitsschritte mit Angabe der jeweils verantwortlichen bzw. ausführenden Forschungsstelle(n) wird in Tabelle 1 geboten.

**Tabelle 1: Zusammenfassung Arbeitsschritte**

Arbeitspaket	Arbeitsschritte	Forschungsstelle	
		FS1 (TUD)	FS2 (RWTHA)
AP1	Organisation/Bereitstellung Asphaltmischgüter und Bitumenemulsionen; Verteilung der Materialien an FS1 und FS2	X	X
	Bau Teststrecke für AP3: Einbau ausgewählter Materialien im Versuchsstand der FS2; Variation Asphaltgemische, viskositätsverändernde Zusätze und Bitumenemulsionen		X
	Entnahme von Bohrkernen aus Teststrecke für AP3; Versand von Bohrkernen zu FS1		X
	Herstellung von Prüfkörpern aus Bohrkernen für AP3 (Bohren, Sägen, Schleifen, Vermessen, etc.)	X	
	Herstellung Asphaltplatten im Labor mittels Walzsegmentverdichter, Variation Asphaltgemische, viskositätsverändernde Zusätze und Bitumenemulsionen; Entnahme von Bohrkernen aus verklebten Asphaltplatten; Vorbereitung Prüfkörper für AP2 bis AP7 (Schleifen, Vermessen, etc.)	X	X
AP2	Zyklische Scherversuche (Variation viskositätsverändernder Zusätze und Verbund) * <sup>1</sup>	X	
AP3	Zyklische Scherversuche (Einfluss der Art der Probenherstellung) * <sup>1</sup>	X	
AP4	Zyklische Scherversuche (Variation viskositätsverändernder Zusätze, Bitumenemulsionsart und -menge) * <sup>1</sup>	X	
	Statische Scherversuche (Variation viskositätsverändernder Zusätze, Bitumenemulsionsart und -menge) * <sup>1</sup>	X	
AP5	Zyklische Scherversuche (Variation viskositätsverändernder Zusätze und Bitumensorte) * <sup>1</sup>	X	
AP6	Zyklische Scherversuche (Variation viskositätsverändernder Zusätze und deren Menge) * <sup>1</sup>	X	
AP7	Zyklische Scherversuche – Ermüdungsprüfung (Variation viskositätsverändernder Zusätze) * <sup>1</sup>		X
AP8	Modellierung; Prognoserechnung	X	X
AP9	Dokumentation der Ergebnisse; Berichte	X	X

\*<sup>1</sup> beinhaltet die Durchführung, Auswertung und Bewertung der Versuche

## 5. Umsetzbarkeit und Transfer der Ergebnisse

### 5.1 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Die Forschungsergebnisse können in der Straßenbaupraxis unmittelbar nach Projektende umgesetzt werden. Sie werden Straßenbauunternehmen, Prüflaboren, Bauleitungen und Verwaltungen helfen, einen hoch qualitativen Schichtenverbund bei Anwendung viskositätsverändernder Zusätze im Asphalt herzustellen bzw. in den Planungs- und Ausschreibungsunterlagen zu fordern. Dabei wird es möglich sein, realitätskonforme Prognosen zur Lebensdauer des Schichtenverbundes bei Verwendung bestimmter Zusätze in den Asphaltsschichten zu treffen. In diesem Zusammenhang können KMU, insbesondere Ingenieurbüros und Prüflaboratorien, Gutachten zur Abschätzung der Auswirkungen eines gestörten Schichtenverbundes auf die Nutzungsdauer von Asphaltbefestigungen infolge eingesetzter viskositätsverändernder Zusätze erstellen. Außerdem besteht auf der Grundlage dieser Forschungsarbeit die Möglichkeit der Vermeidung von vorzeitigen Schäden infolge gestörten Schichtenverbundes aufgrund des Einsatzes der Zusätze und der verbesserten Ursachenfindung bei Schadensbeurteilungen. Das Projekt wird signifikant zur Reduktion des Risikos beim Bau von Straßen mit neuen Baustoffen beitragen.

Die Forschungsergebnisse sollen sowohl in deutschen als auch in internationalen Fachzeitschriften im Rahmen von Kolloquien, Messen, Seminaren, Konferenzen und Kongressen sowie im Rahmen der Mitarbeit in den verschiedenen Gremien der FGSV vorgestellt werden. Sie sind bei der Neufassung bzw. Aktualisierung des Technischen Regelwerkes für den Straßenbau zu berücksichtigen. Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens werden bei der Weiterentwicklung der TP Asphalt-StB, Teil 48 (Entwurf) und der RDO Asphalt 09 einfließen. Die Leiter und Mitarbeiter des Projektes sind in den jeweiligen Ausschüssen aktiv.

## 6. Durchführende Forschungsstellen

### **Forschungsstelle 1**

Technische Universität Dresden  
Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau  
Professur für Straßenbau  
01062 Dresden  
Leiter der Forschungsstelle und Projektleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner

### **Forschungsstelle 2**

RWTH Universität Aachen  
Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen  
52074 Aachen  
Leiter der Forschungsstelle:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Oeser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner



Dresden, den 08.03.2018

## Anlage 1

### Literaturverzeichnis

ARNOLD, J. C.

Asphalteinbau bei kalter Witterung – Verbesserung der Verdichtbarkeit durch den Einsatz von Bindemitteln mit viskositätsverändernden Zusätzen

Bitumen, Heft 4, 2004

BOMMERT, F.

Untersuchungen an einer Beobachtungsstrecke mit Niedrigtemperatur-Gussasphalt, BAB 1 Euskirchen

Schlussbericht zum AP 02 352

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach, September 2003

BOMMERT, F.

Einfluss von Zusätzen auf den Schichtenverbund und die Haftung des Abstreusplittes bei Gussasphalt

Schlussbericht zum AP 01 351

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach, Dezember 2002

BONDT DE, A.H.

Anti-reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays

Ph.D. Thesis

Delft University of Technology, 1999

CANESTRARI, F. / SANTAGATA, E.

Temperature effects on the shear behaviour of tack coat emulsions used in flexible pavements

The International Journal of Pavement Engineering, Vol. 6, No. 1, March 2005, 39–46

CRISPINO, M. / FESTA, B. / GIANNATTASIO, P. / NICOLOSI, V.

Evaluation of the interaction between the asphalt concrete layers by a new dynamic test

8th International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements

Washington State University, Seattle, 1997, pp. 741-754

DAMM, K.-W.

Nachuntersuchungen an ausgesuchten Streckenabschnitten zur Beurteilung  
des Langzeitverhaltens von TA-Asphalten  
BAB A 8, Erprobungsstrecke Rutesheim  
Asphaltlabor Arno J.Hinrichsen GmbH &CoKG

DAMM, K.-W. / BIELENBERG / RADENBERG

Nachuntersuchungen an ausgesuchten Streckenabschnitten zur Beurteilung  
des Langzeitverhaltens von TA-Asphalten  
Abschlussbericht zum Forschungsprojekt FE 89.0161/2005/AP  
Wahlstedt, 2006

DAMM, K.-W. / EULITZ, H.-J.

Schichtenverbund bei Brückenbelägen mit Gussasphalt?  
Bitumen, Heft 3, 2004

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von  
Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07)  
Köln, 2007

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN

Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von  
Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt 09)  
Köln, 2009

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN

Begriffsbestimmungen im Straßenbau  
Teil: Straßenplanung und Straßenverkehrstechnik  
FGSV Verlag, Köln 1989

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN

Technische Prüfvorschriften für Asphalt  
TP Asphalt-StB, Teil 48: Zyklischer Schersteifigkeitsversuch  
Entwurf, Stand Januar 2013

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN

Technische Prüfvorschriften für Asphalt

TP Asphalt-StB, Teil 80 – Abscherversuch

Köln, 2007

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN

ALP A-StB Teil 4: Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner

Köln, 1999

HARRIGAN E. T. / LEAHY, R. B.

Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregate Mixes

SHRP Strategic Highway Research Program SHRP-A-415

Washington, DC 1994

HIRSCH, V. / JANNICKE, B. / RADENBERG, WEßELBORG, H.-H.

Dokumentation der Erprobungsstrecke BAB 1 „Modifizierende Zusätze im Splittmastixasphalt“, km 444+457 bis km 450+385, 2005

KISMET, Y.

Entwicklung eines Verfahrens für die Verwertung von Pulverlackrecyclaten

Technische Universität Berlin, 2012

KORN, S. / JOHANNSEN, K.

Nachuntersuchungen an ausgesuchten Streckenabschnitten zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von TA-Asphalten

B 202 Ortsdurchfahrt Hohn: Shell Mexphalte 45 S

Gutachten Nr. 09/2008

LIU, P. / WANG, D. / OESER, M. / CHEN, X.

Einsatz der Semi-Analytischen Finite-Elemente-Methode zur Analyse der Beanspruchungszustände von Asphaltbefestigungen"; Bauingenieur; Springer VDI-Verlag; 2014

LIU, P. / WANG, D. / OTTO, F. / HU, J. / OESER, M.

Evaluation of asphalt pavement bearing capacity using SAFEM"; 4th International Chinese European Workshop (CEW) on functional pavement design; 2016

MOHAMMAD, L. N. / ELSEIFI, M. A. / BAE, A. / PATEL, N. / BUTTON, J. / SCHEROCMAN, J. A.  
Optimization of Tack Coat for HMA Placement  
NCHRP REPORT 712  
TRB, 2012

MOHAMMAD, L. N. / WU, Z. / RAQIB, A.  
Investigation of the Behavior of Asphalt Tack Coat Interface Layer  
Louisiana Transportation Research Center, 2005

RAAB, C. / PARTL, M.N.  
Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen  
ASTRA-Project FA 12/94, 1999

ROMANOSCHI, S. A. / METCALF 2002  
Errors in Pavement Layer Moduli Backcalculation due to Improper Modeling of  
the Layer Interface Condition  
TRB, 2003

SANDERS, P.J. / BROWN, S. F. / THOM N. H.  
Reinforced asphalt for crack and rut control.  
7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa  
CAPSA, 1999

SHOLAR, G.A. / PAGE G.C. / MUSSELMAN, J.A. / UPSHAW, P.B. / MOSELEY, H.L.  
Preliminary Investigation of a Test Method to Evaluate Bond Strength of  
Bituminous Tack Coats  
Journal of the Association of Asphalt Pavement Technologists, 2004

UZAN, J. / LIVNEH, M. / ESHED, Y.  
Investigation of Adhesion Properties Between Asphalt Concrete Layers  
Asphalt Paving Technology, Vol.47, Proceedings of the Association of Asphalt  
Paving Technologists  
Technical Sessions, Feb. 1978

WELLNER, F. / ASCHER, D.

Untersuchungen zur Wirksamkeit des Haftverbundes und dessen Auswirkung auf die Lebensdauer von Asphaltbefestigungen

Schlussbericht zum AiF-Projekt Nr. 13589 BR/1

Dresden, 2007

WELLNER, F. / HRISTOV, B. / WISTUBA, M.

Zyklische Schersteifigkeits- und Scherermüdungsprüfung zur Bewertung und Optimierung des Schichtenverbundes in Straßenbefestigungen aus Asphalt

IGF-Vorhaben Nr. 17634 BG

Dresden, 2015

WELLNER, F. / WERKMEISTER, S. / ASCHER, D.

Auswirkung der Alterung und des Schichtenverbundes auf den Beanspruchungszustand von Asphaltbefestigungen

Straße + Autobahn, Heft 7, 2012

WEST, R. C. / ZHANG, J. / MOORE, J.

Evaluation of Bond Strength between Pavement Layers

NCAT Report 05-08, The Alabama Department of Transportation, 2005

WISTUBA, M. / RENKEN, P.

Walzasphalte mit viskositätsverändernden Zusätzen - Entwicklung und Optimierung der Eignungs- und Kontrollprüfungsverfahren und Bestimmung der Einflüsse auf die performance-orientierten Asphalteeigenschaften

Schlussbericht zum AiF-Projekt Nr. 15589 N

Braunschweig, 2012