

## Kriterien für die Dauerhaftigkeit von Asphaltsschichten – Untersuchungen zur Ansprache des Haftverhaltens

FA 7.254

Forschungsstellen: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)  
Ingenieurgesellschaft für Technische Analytik mbH, Bochum

Bearbeiter: Buscham, B. / Louis, H.-P. / Radenberg, M. / Twer, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Juni 2016

### 1 Problemstellung und Zielsetzung

Die hohe Bedeutung einer dauerhaften Adhäsion zwischen Bindemittel und Gestein liegt darin begründet, dass die Verdrängung des Bindemittelfilms von der Gesteinskörnung zu irreparablen Schäden mit progressiver Schadentwicklung führt. In der Literatur finden sich bereits zahlreiche Prüfverfahren zur Quantifizierung der Adhäsion, im Wesentlichen wird jedoch speziell das Haftverhalten in Form von bitumenumhüllter Gesteinskörnung erfasst. Ein geeignetes Verfahren zur gezielten Ansprache des Haftverhaltens von Asphalt besteht aktuell nicht.

Zielsetzung des Forschungsprojekts ist es, ein wirtschaftliches und einfaches Prüfverfahren zur quantitativen Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphaltmischgutkonzepten respektive zur Ansprache des Haftverhaltens an Asphaltprobekörpern zu evaluieren. Somit sollte die Möglichkeit geschaffen werden, im Rahmen von Asphaltuntersuchungen bereits während der Planungsbeziehungsweise der Bauausführungsphase eine quantitative Aussage über das Haftverhalten des Asphalts zu erhalten. Bei bestehendem Bewertungshintergrund und der sich daraus abgeleiteten Konsequenzen lassen sich dann Rückschlüsse hinsichtlich Qualitätssicherungsmaßnahmen ziehen, welche direkt die Gebrauchseigenschaften und die Dauerhaftigkeit von Asphaltstraßen verbessern können. Aktuell wird eine ausreichende und dauerhafte Verklebung der Asphaltkomponenten vorausgesetzt, ohne dass ein praktikables Prüfverfahren für die Beurteilung des Haftverhaltens von Asphaltprobekörpern hinreichend eruiert ist.

### 2 Theoretische Grundlagen und Stand der Kenntnisse

Zur Beschreibung des Haftverhaltens in Analogie zum Adhäsionsverhalten bestehen verschiedene Versagensbeziehungsweise Adhäsionstheorien, wobei stets zu berücksichtigen ist, dass die einzelnen Theorien differente Aspekte der komplexen Adhäsionswirkung erfassen. Die Adhäsion zwischen Bitumen und Gestein kann folglich nicht vollständig durch eine autonome Adhäsionstheorie erfasst werden, sondern stellt vermutlich stets ein Symposium verschiedener Theorien dar.

Sowohl die Mineralogie des Gesteins als auch die Zusammensetzung des Bitumens sowie die des Wassers spielen beim Haftungsprozess eine wichtige Rolle. Bedingt durch

unterschiedliche Hohlraumgehalte verschiedener Asphaltkonzepte kommt ein weiterer Einfluss hinzu. Die Faktoren auf die Adhäsion sind dementsprechend sehr vielfältig.

An der Anzahl von Adhäsions- und Versagenstheorien ist zu erkennen, dass das Adhäsionsverhalten von Bitumen und Gestein ein komplexes und vielschichtiges Phänomen ist. Unstrittig ist, dass der Einfluss von Wasser der maßgebende Faktor auf die Dauerhaftigkeit – hinsichtlich des Stripping-Verhaltens – ist. Vergleichbar mit der Vielzahl an Prüfverfahren, bestehen dementsprechend viele unterschiedliche Belastungsverfahren zur zeitraffenden Schädigung des Gesamtsystems "Asphalt" beziehungsweise der jeweiligen Probekörper. Dabei wird zum Teil individuell eine Wasserschädigung erzeugt, teilweise werden auch weitergehende Dauerhaftigkeitseffekte, wie beispielsweise verschiedene Alterungsprozesse (destillativ, oxidativ und strukturell), mit in die Konditionierung einbezogen.

Ausgangslage für die Definition eines geeigneten Konditionierungsverfahrens sind das Regelwerk [DIN EN 12697-12, 2008] zur Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern, die amerikanische Norm AASHTO T 283, welche den "Modified Lottman Test" beschreibt (AASHTO T 283, 2014) und die [DIN EN 12697-45, 2012], in welcher die SATS-Prüfung festgelegt ist.

### 3 Projektablauf

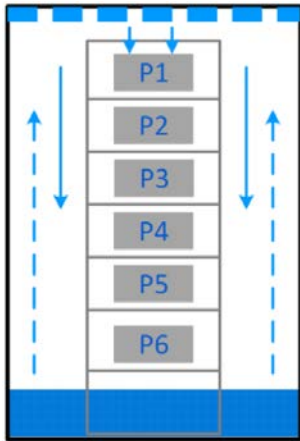
#### 3.1 Untersuchungsprogramm

Das Projekt ist in drei maßgebende Abschnitte unterteilt. Ziel der ersten Projektphase war die Bestimmung eines geeigneten Prüfverfahrens zur Quantifizierung des Haftverhaltens. Um möglichst differenzierbare Ergebnisse zu erhalten, wurden drei unterschiedliche Asphaltarten (PA 8, SMA 11 S und AC 16 BS) untersucht. Die Zusammensetzung bestand aus drei Gesteinssorten (Grauwacke, Quarzit und Diabas) sowie zwei möglichst haftkritischen Straßenbaubitumen (50/70 und 70/100).

Maßgebende Prüfverfahren in dieser Projektphase bildeten der Stripping-Test im Spurbildungsgerät, der Schüttelabriebversuch an Asphaltprobekörpern und der zentrische Zugversuch an Asphaltprobekörpern. Abschließende Erkenntnis der ersten Projektphase sollte die Auswahl des am besten geeigneten Prüfverfahrens zur Bestimmung des Haftverhaltens sowie die Definition der zugehörigen Randbedingungen sein.

Anhand der ausgewählten Prüfverfahren konnte im Rahmen der Projektphase 1 keine ergebnisorientierte Versuchsdurchführung ermittelt werden. Für weitere Untersuchungen in der Projektphase 2 wurde nach Rücksprache mit dem Betreuungsausschuss die modifizierte SATS-Prüfung in Anlehnung an [DIN EN 12697-45, 2012] ausgewählt.

Hierzu wurde ein modifiziertes Prüfgerüst entwickelt, welches die Möglichkeit bietet, zwei vollständige Prüferien innerhalb eines Konditionierungsvorgangs zu beanspruchen, wobei keine Probe im vollständig wassergesättigten Zustand beansprucht wird (Bild 1).

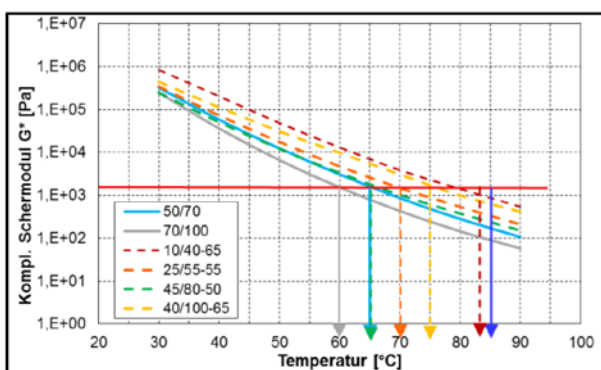


**Bild 1: Prinzip der modifizierten SATS-Konditionierung**

An den vorbereiteten Probekörpern erfolgte die Bestimmung der Raumdichte sowie die Bestimmung des Steifigkeitsmoduls vor der Konditionierung gemäß [AL Sp-Asphalt 09, 2009] bei 10 °C.

Im Anschluss an die Steifigkeitsprüfung erfolgte die Konditionierungsphase im Druckreaktor. Hierzu wurden die Probekörper vorab wassergesättigt und mit dem Trägergestell in den Druckreaktor eingebaut. Die Konditionierungsdauer betrug einheitlich 65 h, die Druckbeaufschlagung erfolgt durch eine konstante Belastung mit 2,1 MPa (21 bar). Die Temperatur wurde abhängig vom Bindemittel gewählt. Zur Gewährleistung einer viskoäquivalenten Steifigkeit des Bindemittels während der Konditionierung war vorab die Bestimmung des komplexen Schermoduls mittels Dynamischem Scherrheometer in Anlehnung an [DIN EN 14770, 2012] erforderlich. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde die Temperatur der Versuchsdurchführung gewählt (Bild 2).

Nach der Konditionierung wurde der Steifigkeitsmodul am getrockneten Probekörper bestimmt. Zur Prüfung wurden hierbei die identische Oberspannung sowie eine analoge Vorgehensweise wie bei den Versuchen vor der Konditionierung gewählt.



**Bild 2: Bestimmung der viskoäquivalenten Konditionierungstemperatur – Projektphase 2**

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte auf Basis des Steifigkeitsverhältnisses. Die Ermittlung des Steifigkeitsverhältnisses ( $CTR_R$ ) erfolgte als Quotient des Steifigkeitsmoduls nach der Konditionierung ( $CTR_C$ ) dividiert durch den Steifigkeitsmodul vor der Konditionierung ( $CTR_U$ ). Analog wurde die prozentuale Erhöhung der anfänglichen elastischen Dehnung bestimmt.

Anhand der in Projektphase 2 gewonnenen Erkenntnisse wurden in Projektphase 3 verschiedene Ansätze zur konzeptionellen Einflussnahme auf das Haftverhalten von Asphalt vorgesehen. Die folgenden Zusätze und Additive wurden für die Mischgutkonzeptionen vorgesehen:

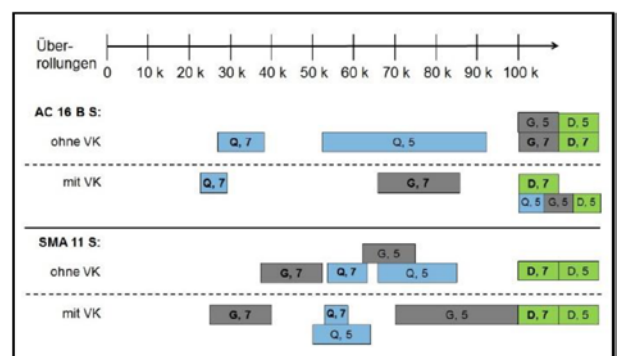
- Haftmittel: chemischer Haftverbesserer (Z.1), organischer Haftverbesserer (Z.2)
- Zusatz: Fischer-Tropsch-Wachs (Z.3)
- Füller: Kalksteinfüller, Rhyolithfüller
- Kalkhydrat: Ka<sub>20</sub>

## 4 Bewertung Projektphase 1 – Verfahrensdefinition

### 4.1 Bewertung des Stripping-Tests im Spurbildungsgerät

Mit dem Spurbildungsversuch soll neben der primären Ermittlung des Verformungswiderstands unter Auswahl geeigneter Randbedingungen auch Aussagen zur Affinität möglich sein. Grundgedanke dabei ist, dass nach einer charakteristischen Überrollungszahl der für das Verformungsverhalten typische degressive Spurrinnenverlauf durch ein progressiv verlaufendes Stripping-Verhalten überlagert wird [Hunter und Ksaibati, 2002; Solaimanian et al., 2003]. Diese charakteristische Überrollungszahl stellt sich demnach als Wendepunkt im Spurbildungsverlauf dar ("Stripping Inflection Point"), der analytisch festzustellen sein sollte und eine quantitative Aussage über die Affinität erlauben würde.

Im Projektverlauf konnte festgestellt werden, dass die Erhöhung der Beanspruchung auf 100 000 Überrollungen einen möglicherweise zielführenden Ansatz bietet, um einen Strippingeffekt respektive einen Verlust des Haftversagens zu provozieren. Durch die hohe Anzahl der Überrollungen konnte zum Teil bei bestimmten Probekörpern und Versuchsbedingungen ein Wendepunkt im Verlauf der Spurrinnenbildung festgestellt werden und ein deutlicher Stripping Inflection Point (SIP) ermittelt werden.



**Bild 3: Darstellung des Wendepunkts nach 100 000 Überrollungen**

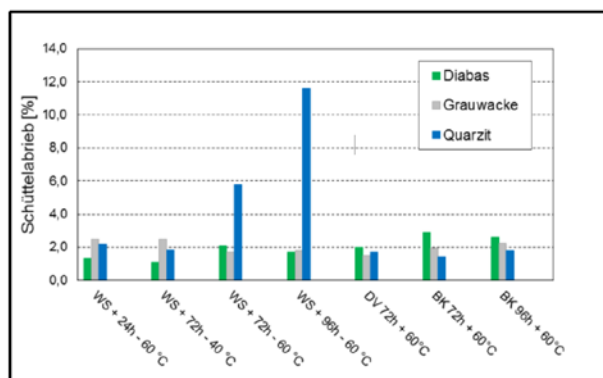
Obwohl grundsätzlich eine qualitative Tendenz des frühzeitigen Versagens bei der haftkritischen Gesteinssorte Quarzit auszumachen ist, scheint für eine quantitative und differenzierte Bewertung der Mischgutzusammensetzung dieses Verfahren in dieser Form aufgrund der Spannweite der Doppelbestimmungen sowie der Überschneidung von Messergebnissen (Quarzit, Grauwacke) nicht optimal geeignet zu sein. Asphaltvarianten mit einem guten Haftverhalten (Diabas) zeigen bei den durchgeführten Untersuchungen hingegen keinen Wendepunkt im Verlauf

der Spurrinnentiefe über 100 000 Überrollungen, was gegebenenfalls als ausreichend gutes Haftverhalten definiert werden könnte (Bild 3).

Somit bietet dieser Versuch einen möglichen Ansatz, das grundsätzliche Haftverhalten eines Asphaltes anhand einer quantifizierbaren Kenngröße zu bewerten.

## 4.2 Bewertung der modifizierten Schüttelabrieb-Prüfung

Die Variation der Probekörperherstellung bei identischer Mischgutzusammensetzung zeigt, dass druckverdichtete Marshall-Probekörper und Bohrkern aus Asphaltprobepplatten wesentlich geringere Ablösungserscheinungen aufweisen als Marshall-Probekörper. Dieser Effekt lässt sich auf das schlagende Verdichtungsprinzip der MPK-Herstellung zurückführen, wodurch gegebenenfalls einzelne Gesteinskörner zerstört werden und ein Auslösen aus der Asphaltmatrix begünstigt wird. Der deutlich erhöhte Hohlraumgehalt der druckverdichteten Marshall-Probekörper zeigt, dass dieser Effekt unabhängig vom Verdichtungsgrad des Probekörpers ist (Bild 4).



**Bild 4: Schüttelabrieb in Abhängigkeit von Konditionierungsart und Probekörperherstellung – AC 16 B S**

Sowohl eine deutliche Erhöhung der Konditionierungszeit auf bis zu zwei Wochen als auch die Erhöhungen der Überrollungen im Schüttelabrieb und die Reduzierung des Verdichtungsgrads auf  $k = 90 \%$  konnten keinen quantitativen Bewertungsansatz des Haftverhaltens generieren.

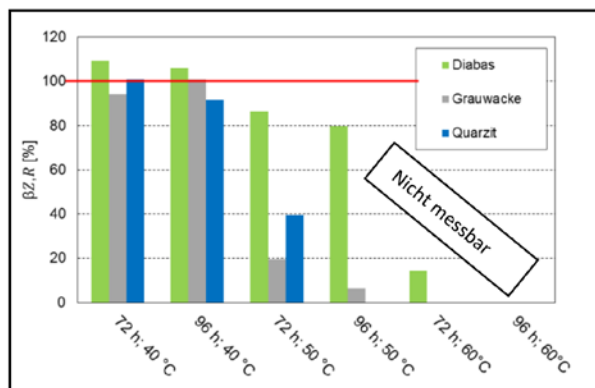
## 4.3 Bewertung des einaxialen Zugversuchs

In [DIN EN 12697-46, 2012] wird für den direkten Zugversuch eine Zuggeschwindigkeit (Dehngeschwindigkeit) in Abhängigkeit zur Probekörperlänge von  $0,625 \pm 0,025 \%$ /min gefordert. Dies entspricht bei einer Probekörperlänge von 160 mm einer Zuggeschwindigkeit von 1 mm/min. Da ein adhäsives und kein kohäsives Versagen bei der Prüfung angestrebt wird, ist eine zu hohe Prüftemperatur konträr zur Problemstellung, da die Gefahr des kohäsiven Materialversagens der Asphaltmatrix ansteigt. Um Synergieeffekte sowie eine erweiterte Bewertungsgrundlage der Ergebnisse zu ermöglichen, wurden die Versuche, in Anlehnung an Renken, Wistuba, Grönninger und Schindler [Renken et al., 2010], bei einer Temperatur von 5 °C und einer Zuggeschwindigkeit von 1 mm/min durchgeführt.

Die Auswertung des Verhältnisses der Zugfestigkeit nach der Konditionierung dividiert durch die Zugfestigkeit vor der

Konditionierung ( $\beta_{z,R}$ ) soll ein quantitatives Bewertungskriterium zur Charakterisierung des Haftverhaltens von Asphalt ermöglichen.

Grundlegend ist festzustellen, dass sich mit zunehmender Beanspruchung durch die statische Wasserlagerung eine Reduzierung der verbleibenden Zugfestigkeit einstellt (Bild 5). Eine klare und quantitative Abgrenzung des Haftverhaltens der verschiedenen Gesteinsorten lässt sich allerdings anhand der statischen Wasserlagerung auf Basis des Verhältnisses der Zugfestigkeiten nicht erfassen. Gleiches gilt für die Erweiterung der Konditionierung in Anlehnung an die SATS-Prüfung nach [DIN EN 12697-45, 2012].



**Bild 5:  $\beta_{z,R}$  in Abhängigkeit von der Konditionierungsart – AC 16 B S; B1 50/70**

Zur Erhöhung der Prozesssicherheit des Prüfverfahrens wurden verschiedenste Varianten der Prüfbedingungen durchgeführt. Aufgrund der hohen Spannweite der Prüfergebnisse nach der Konditionierung ist jedoch die Prozesssicherheit der Prüfung kritisch zu bewerten.

Die Versuchsergebnisse der Prüfungen, bei welchen die Montage der Adapterplatten nach der Konditionierung erfolgte, zeigen, dass der Einfluss des Zeitpunkts der Zugbeanspruchung nach der Konditionierung nicht zu vernachlässigen ist. Die Auswertung zeigte, dass der Verhältniswert der Zugfestigkeit bei den Serien, welche unmittelbar nach der Konditionierung geprüft wurden, unter 100 % lag, was bedeutet, dass sich die Zugfestigkeit aufgrund des Konditionierungsvorgangs reduziert hat. Die Prüfung nach 48 h, unter sonst gleichen Randbedingungen, führte hingegen zu einem Anstieg der Zugfestigkeit. Ein vergleichbarer Effekt wurde ebenfalls bei den weiterführenden Prüfserien festgestellt.

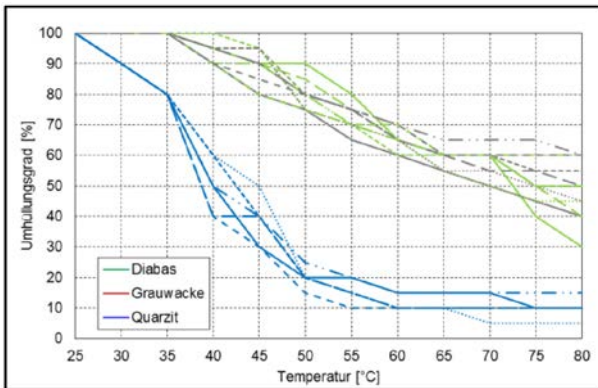
Eine hinreichende Differenzierung zwischen den einzelnen Prüfserien konnte somit nicht erreicht werden. Zur Abbildung sämtlicher Einflussparameter einer Mischgutkonzeption ist dies jedoch unabdingbar. Folglich muss das Ziel sein, die Gewichtung des Einflusses der Parameter "Mischgut", "Bindemittel" und "Gestein" möglichst optimal abzubilden.

## 4.4 Veränderung des Konditionierungsmediums

Eine konzentriertere Schädigung mittels statischer Wasserlagerung ist primär durch eine Steigerung der Temperatur und/oder eine Verlängerung der Einwirkzeit möglich. Eine Temperaturerhöhung  $> 60 \text{ °C}$  ist jedoch nicht zweckmäßig, da die Möglichkeit

plastischer Verformungen der Probekörper signifikant zunimmt. Interessant ist folglich ein Prüfmedium, welches einen beschleunigenden Effekt auf die Bindemittelablösung zur Folge hat und zeitgleich keine komplette Zerstörung der Asphaltmatrix herbeiführt, ohne die Materialkomponenten chemisch zu verändern.

Der Einfluss des Konditionierungsmediums wurde in Anlehnung an den Versuch zur Bestimmung der Haftgrenztemperatur bestimmt. Hierbei wurde der Einfluss verschiedener Auftaumittel und Zusätze auf das Haftverhalten der drei Gesteinssorten Diabas, Grauwacke und Quarzit untersucht.



**Bild 6: Abnahme des Umhüllungsgrads während des Versuchs zur Bestimmung der Haftgrenztemperatur**

Das Bild 6 zeigt eine klare Differenzierung zwischen den Gesteinssorten Diabas und Grauwacke gegenüber der Gesteins-Sorte Quarzit. Der Quarzit zeigt bei den untersuchten Varianten stets das kritischste Haftverhalten. Zwischen den Gesteinssorten Grauwacke und Diabas kann keine klare Differenzierung erfolgen. Tendenziell weisen die Kurvenverläufe auf ein vergleichbares Ablöseverhalten hin, sodass durch den Einsatz der verschiedenen Zusätze kein beschleunigtes Stripping-Verhalten gegenüber deionisiertem Wasser festgestellt werden konnte.

### 5 Bewertung Projektphase 2 – Haftverhalten typischer Asphalte

Zur Validierung des Prüfverfahrens und Schaffung eines Bewertungshintergrunds wurden 48 Mischgutkonzepte untersucht.

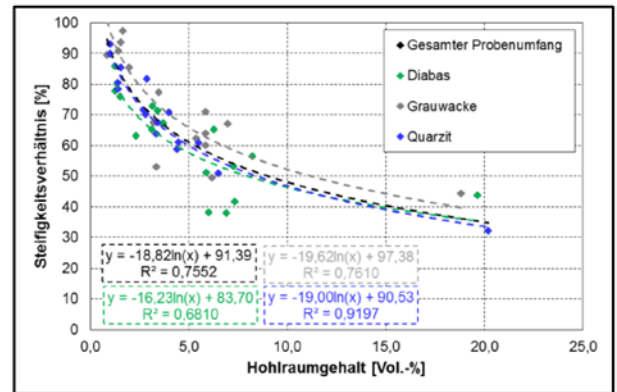
Grundlegend war zu klären, ob die modifizierte SATS-Prüfung die Ergebnisse der Voruntersuchungen bestätigt und ein geeignetes Werkzeug zur Simulation des frühzeitigen Haftversagens darstellt.

Der Vergleich des Steifigkeitsverhältnisses als separat betrachtetes Bewertungskriterium liefert keinen umfassenden Ansatz zur Bewertung des Haftverhaltens. Eine Bewertung anhand eines Einzelwerts ist folglich für eine quantifizierte Bewertung kein effektiver und nachhaltiger Ansatz.

Basierend auf der Grundgesamtheit der Untersuchungen der Projektphase 2 zeigt Bild 7 hingegen einen grundsätzlichen Zusammenhang zwischen dem Steifigkeitsverhältnis und dem Hohlraumgehalt bei Betrachtung aller Mischgutvarianten.

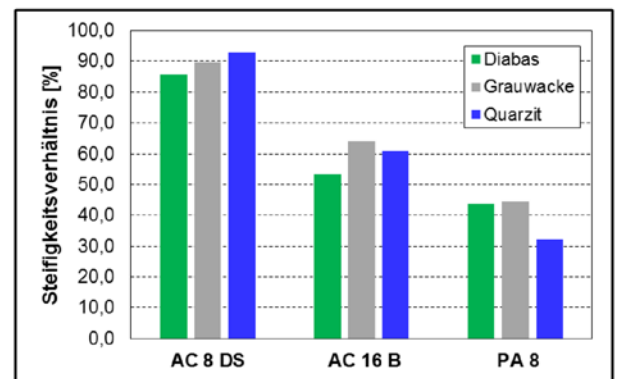
Dichte Mischgutkonzepte mit einem geringen Hohlraumgehalt sollten theoretisch ein besseres Haftverhalten und somit eine bessere Dauerhaftigkeit als hohlraumreiche Mischgutkonzepte aufweisen. Diese Theorie wird, unabhängig von der Gesteinsart,

grundsätzlich bestätigt. Erfolgt eine Unterteilung der Untersuchungsergebnisse nach Gesteinsarten, steigern sich in der Regel die Bestimmtheitsmaße für jede Gesteinssorte (Bild 7).



**Bild 7: Steifigkeitsverhältnis in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt unter Berücksichtigung der Gesteinsart**

Dem Verdichtungsgrad kann ebenfalls ein grundsätzlicher Einfluss auf das Steifigkeitsverhältnis zugeordnet werden. Dieser Einfluss ist allerdings eher sekundär, da sich ein reduzierter Verdichtungsgrad im erhöhten Hohlraumgehalt widerspiegelt. Folglich sind zwischen dem Hohlraumgehalt und dem Steifigkeitsverhältnis höhere Abhängigkeiten feststellbar als zwischen dem Verdichtungsgrad und dem Steifigkeitsverhältnis.



**Bild 8: Steifigkeitsverhältnis in Abhängigkeit von der Mischgut-Sorte**

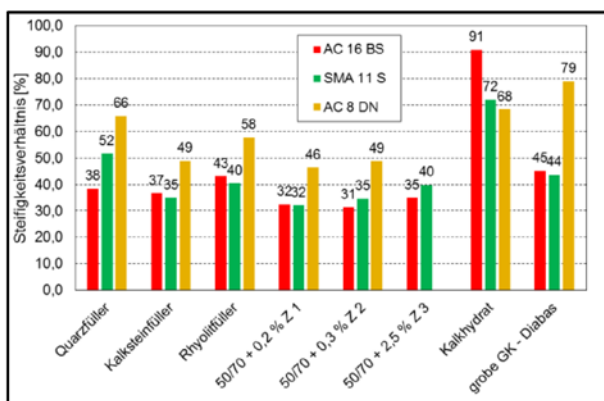
Die bisherigen Versuche zur Quantifizierung des Haftverhaltens scheiterten zum Teil bereits bei der Abgrenzung verschiedener Asphaltarten untereinander. Bild 8 zeigt deutlich, dass die separate Betrachtung des Steifigkeitsverhältnisses ohne die Berücksichtigung des Hohlraumgehalts herangezogen werden kann, um eine Differenzierung zwischen den einzelnen Mischgutsorten aufzuzeigen. Eine Unterscheidung zwischen den Gesteinssorten ist hier jedoch nicht zu erkennen. Diese Erkenntnis wurde durch die Betrachtung der Erhöhung der anfänglichen elastischen Dehnung bestätigt.

## 6 Bewertung Projektphase 3 – Optimierung des Haftverhaltens

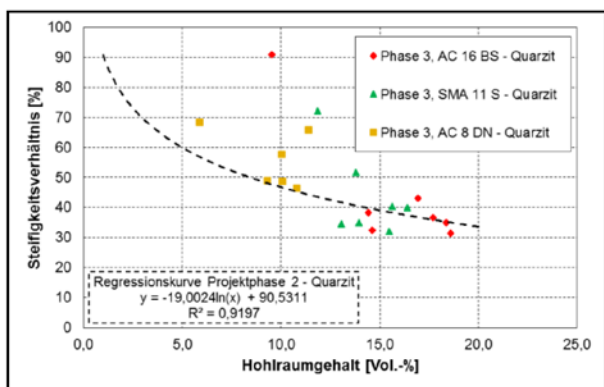
### 6.1 Bewertung der Ergebnisse der modifizierten SATS-Prüfung

Anhand der Untersuchungsergebnisse in Projektphase 2 wurde deutlich, dass der Hohlraumgehalt einen nicht zu vernachlässigenden Einflussfaktor darstellt. In Projektphase 3 sollte nunmehr der Einfluss verschiedener Additive und Zusätze auf das Haftverhalten analysiert werden. Die Beurteilung kritischer Asphaltzusammensetzungen, welche einen Hohlraumgehalt von ca. 10 bis 15 Vol.-% aufweisen, sollte den Ansatz zur Bewertung des Einflusses der Additive darstellen. Die grobe Gesteinskörnung der untersuchten Varianten bestand aus Quarzit. Exemplarisch wurde eine Serie ohne Zusätze mit Diabas geprüft.

Die hohlraumunabhängige Darstellung der Steifigkeitsverhältnisse in Bild 9 zeigt, dass die Untersuchungsserien keinen eindeutigen Rückschluss auf das Haftverhalten zulassen. Die Referenzserie, bestehend aus der Gesteinssorte Quarzit und Quarzfüller, zeigt unabhängig von der Mischgutsorte ein vergleichbares Steifigkeitsniveau zu den weiteren Prüfserien. Abzugrenzen sind die Prüfserien mit Quarzit und Kalkhydrat sowie die Prüfserie mit der groben Gesteinskörnung Diabas und Quarzfüller.



**Bild 9:** Steifigkeitsverhältnis in Abhängigkeit von der Additivierung/Substantivierung



**Bild 10:** Steifigkeitsverhältnis in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt der Projektphase 3

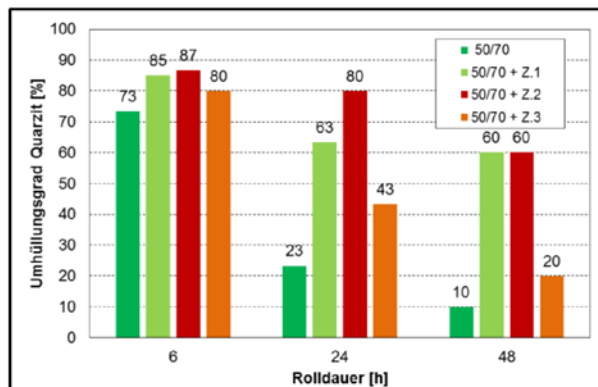
Die zusätzliche Berücksichtigung des Hohlraumgehalts ist in Bild 10 dargestellt. Als Bewertungsgrundlage wurde die Regressionskurve der Gesteinskörnung Quarzit aus Projektphase 2 herangezogen. Ein quantitativer Ansatz zur Bewertung des Haftverhaltens ist durch die Bewertung des Steifigkeitsverhältnisses in

Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt möglich. Befindet sich das Steifigkeitsverhältnis oberhalb der Regressionskurve, so wäre von einem verbesserten Haftverhalten der Mischgutkonzeption auszugehen.

Ein grundlegender Zusammenhang konnte auch im Rahmen dieser Untersuchungen nachgewiesen werden. Quantitative Aussagen zum Haftverhalten sind jedoch nicht möglich. Vielmehr bestehen noch weiterführende Fragestellungen zum Einfluss der Parameter der modifizierten SATS-Prüfung, welche bisher noch nicht ausreichend analysiert wurden, da die nunmehr gewonnenen Erkenntnisse zu einer Notwendigkeit der Betrachtung der ausstehenden Parameter führen.

### 6.2 Bewertung der Ergebnisse des Rolling-Bottle-Tests

Zusätzlich zu dem performance-orientierten Prüfverfahren der modifizierten SATS-Prüfung wurden die Einflüsse der Zusätze Z.1 bis Z.3 auf das Haftverhalten in Wechselwirkung mit den Gesteinssorten Diabas, Grauwacke und Quarzit durch die Prüfung mit dem Rolling-Bottle-Test gemäß [DIN EN 12697, Teil 11, 2012] analysiert.



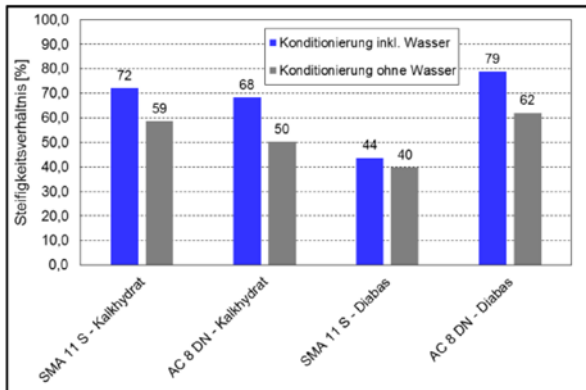
**Bild 11:** Umhüllungsgrad der Gesteinssorte Quarzit

Nach einer Rolldauer von sechs Stunden lassen die Ergebnisse noch keine klare Differenzierung erkennen. Die geringsten Umhüllungsgrade werden nach 24 und 48 h, wie erwartet, beim Quarzit erreicht (Bild 11). Bei den anderen beiden Gesteinssorten liegen die Umhüllungsgrade auf einem höheren Niveau. Es ist festzustellen, dass der chemische und der organische Haftverbesserer (Z.1 und Z.2) einen positiven Effekt auf haftkritische Gesteine (Quarzit) aufweisen. Mit zunehmendem Umhüllungsgrad des Gesteins ohne Additiv, ist eine Verringerung dieses Effekts feststellbar. Die geringsten Umhüllungsgrade werden nach 48 h erreicht, hier weisen auch die Additive den deutlichsten Einfluss auf.

### 6.3 Erweiterung Projektphase 3

Die Erkenntnisse der Projektphase 3, in Kombination mit den Ergebnissen der Projektphase 2, ließen den Schluss zu, dass eine quantitative und differenzierende Bewertung des Haftverhaltens anhand der durchgeführten Untersuchungen noch nicht möglich ist. Die Einflussfaktoren auf die SATS-Prüfung wurden bisher nicht in einer vollständigen Parameterstudie analysiert. Ein variiertes Druckregime oder auch ein deutlich abweichender

Füllstand des Wasserregimes wurden bisher noch nicht eruiert. Abschließend wurden vier Mischgutzusammensetzungen aus Projektphase 3, welche ein eher gutmütiges, vergleichsweise hohes Steifigkeitsverhältnis aufwiesen, ausgewählt und mittels SATS-Konditionierungsverfahren ohne den Einsatz von Wasser beansprucht. Somit erfolgte eine reine Temperatur- und Druckbeanspruchung. Ziel war es, den Einfluss der adhäsiven Anteile auf die Reduzierung der Steifigkeit von eventuell bestehenden druckabhängigen Komponenten zu trennen. Die Ergebnisse in Bild 12 zeigen ein systematisch geringeres Steifigkeitsverhältnis nach der Konditionierung der Proben ohne Wasser als nach der Konditionierung der Proben mit Wasser. Dieses Ergebnis wurde in dieser Form nicht erwartet.



**Bild 12: Vergleich der Steifigkeitsverhältnisse**

Zur Bewertung des Alterungsgrads wurde das Bindemittel nach TP Asphalt-StB extrahiert und rückgewonnen. Anschließend erfolgte die Bestimmung der komplexen Schermoduli. Das Bitumen zeigte eine deutliche Alterung in Form einer Steifigkeitszunahme auf, eine systematische Unterscheidung zwischen den zwei unterschiedlichen Konditionierungskonzepten konnte jedoch nicht ermittelt werden, sodass die Auswirkung der Druckbeaufschlagung einen dringenden Forschungsbedarf aufweist, welcher zukünftig fokussiert werden sollte.

## 7 Bewertung der Kriterien zur Ansprache des Haftverhaltens

Ein sicheres und praxisrelevantes Prüfverfahren zur quantitativen und schnellen Bewertung des Haftverhaltens von Asphaltmischgutkonzepten ist ein vielschichtiger und komplexer Ansatz, welcher eine systematische Betrachtung sämtlicher Einflussfaktoren auf ein Prüfverfahren erfordert. Im Rahmen der Untersuchungen konnte erfolgreich herausgestellt werden, welchen signifikanten Einfluss die Art der Vorkonditionierung auf das Haftverhalten bewirkt und welche umfassenden Ansätze für eine zielorientierte Quantifizierung des Haftverhaltens notwendig sind. Die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens zeigen weiter die Bedeutung einer systematischen und strukturierten Betrachtung des gesamten Mischgutkonzepts. Neben der Korngrößenverteilung, dem Bindemittelgehalt und einer ausreichenden Verdichtungsleistung während des Einbaus sind die Wahl der Gesteinskörnung und des Bindemittels von elementarer Bedeutung für eine dauerhafte Asphaltsschicht.

Mithilfe der Untersuchungen konnte gezeigt werden, welche Problematiken bei der Bestimmung des Adhäsionsverhaltens

respektive der Strippingneigung eines Mischguts bestehen. Sowohl der Rolling-Bottle-Test als auch der Versuch zur Bestimmung der Haftgrenztemperatur erweisen sich als qualitatives Mittel zur Bewertung der Interaktionen zwischen Bindemittel und Gestein. Die vollständigen Mischgutkomponenten sowie die sich daraus ergebenden volumetrischen Kennwerte können jedoch mithilfe dieser Prüfverfahren nicht erfasst werden. Generell ist es mit dem Rolling-Bottle-Test möglich, den Einfluss von haftverbessernden Zusätzen auf eine Bitumen-Gestein-Kombination mittels qualitativem Prüfverfahren zu quantifizieren. Die ausreichende Konditionierung der Probekörper vor der eigentlichen Versuchsdurchführung hat sich als unabdingbar für möglichst zielführende Ergebnisse erwiesen. Die Entwicklung eines robusten und quantitativen Prüfverfahrens zur Ansprache und Bewertung des Haftverhaltens von Asphaltzusammensetzungen bleibt hingegen zum jetzigen Zeitpunkt weiterhin aktueller Stand der Forschung. Der Einfluss der Mischgutzusammensetzung konnte anhand der Untersuchungsergebnisse qualitativ erfasst werden. So ist festzuhalten, dass die höchsten Steifigkeitsverhältnisse von dichten Mischgutkonzepten erreicht wurden. Dies bestätigt die Entwicklung hin zu dauerhaften und dichten Mischgutkonzepten, wie sie durch die Implementierung des [ARS 11/12] in die [ZTV Asphalt-StB 07, 2013] konsequent umgesetzt wird.

## 8 Literatur

- AL Sp-Asphalt: Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung (AL Sp-Asphalt), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2009
- ARS, Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2012: Änderungen und Ergänzungen des Technischen Regelwerkes Asphaltstraßen. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn, 2012
- AASHTO T283-14: Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage; American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 2014
- DIN EN 12697-11: Asphalt – Prüfverfahren für Heiasphalt, Teil 11 – Bestimmung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen; Beuth Verlag, Berlin, 2012
- DIN EN 12697-12: Asphalt – Prüfverfahren für Heiasphalt, Teil 12 – Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern; Beuth Verlag, Berlin, 2008
- DIN EN 12697-45: Asphalt – Prüfverfahren für Heiasphalt, Teil 45 – Alterungsprüfung an gesättigten Asphalt-Probekörpern (SATS-Prüfung); Beuth Verlag, Berlin, 2012
- DIN EN 12697-46: Asphalt – Prüfverfahren für Heiasphalt, Teil 46 – Widerstand gegen Kälterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen; Beuth Verlag, Berlin, 2012
- DIN EN 14770: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels – Dynamisches Scherrheometer (DSR); Beuth Verlag, Berlin, 2012

- Hunter, E.; Ksaibati, K.: Evaluating moisture susceptibility of asphalt mixes, Department Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming, Laramie, 2002
- Renken, P. et al.: Adhäsion von Bitumen am Gestein, Forschungsbericht Heft 1043 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2010
- ZTV Asphalt-StB: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt 2007, Ausgabe 2013, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2013