

## Ansprache des Tieftemperaturverhaltens von Bitumen mit dem DSR

### Festkörpereinspannung (SRF), PP04, Oszillation

Untersuchung des frequenzabhängigen Verhaltens von fünf Straßenbaubitumen bei tiefen Gebrauchstemperaturen mit der Festkörpereinspannung und der PP04



#### 1 Ziel und Zweck der Untersuchung

Die Bestimmung der Tieftemperatureigenschaften von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln für den Verkehrswegebau ist von hohem Interesse. Bei tiefen Gebrauchstemperaturen steigt die Steifigkeit des Bindemittels und die viskosen Eigenschaften werden reduziert. Die Entstehung eines Risses wird durch das vorwiegend elastische Verhalten und die hohe Steifigkeit des Bindemittels begünstigt. Je nach Verkehrsbelastung und Temperatur- bzw. Wettereinfluss können die Risse zu den umgangssprachlichen „Schlaglöchern“ führen. Folglich ist es von signifikanter Bedeutung die Reaktion des viskoelastischen Baustoffes Bitumen auf unterschiedliche mechanogene und kryogene Belastungen prüfen und beurteilen zu können.

Hierzu stehen national in Deutschland zwei standardisierte Verfahren zur Verfügung. Das ältere Verfahren stellt der Brechpunkt nach Fraaß dar, welcher die untere Grenze der Plastizitätsspanne repräsentiert. Mit dem Allgemeinen Rundschreiben 11/2012 vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung<sup>1</sup> etablierte sich das Biegebalken-Rheometer (BBR) aus der „AASHTO T 315“ der „American Association of State Highway and Transportation Officials“ in Europa. In Amerika wird das Verfahren zur Bestimmung der unteren Grenze des „Performance Grade“ genutzt, welche zehn Kelvin unterhalb der maßgeblichen Untersuchungstemperatur liegt.

Letzteres Verfahren zeigte in jüngsten Ringuntersuchungen ähnliche Schwächen in der Prüfpräzision (Standardabweichung des BBR = 1,8 K<sup>2</sup>) wie der Brechpunkt nach Fraaß.

In Amerika bewog dieser Sachverhalt zu einer Formulierung einer Entwurfsnorm, welche ein mit dem Dynamischen Scherrheometer (DSR) und einem 4 mm Platte:Platte – Messsystem (PP04) ein Alternativverfahren zur Untersuchung des Tieftemperaturverhaltens darstellen soll.

Gründe für die ungenügende Präzision bisheriger Prüfverfahren werden einerseits an dem nahezu ideal-elastischen Probekörperverhalten und andererseits an den irreversiblen Strukturveränderungen des Probekörpers vermutet. Diese Begebenheiten können mit einer Festkörpereinspannung (Solid Rectangular Fixture - SRF) im Dynamischen Scherrheometer berücksichtigt werden.

Tastversuche mit dem Dynamischen Scherrheometer und der Festkörpereinspannung, sowie der PP04 sollten zur Entwicklung eines Messkonzeptes führen, welches eine präzisere Ansprache des Tieftemperaturverhaltens mit äquivalenter Bewertung wie das BBR erlaubt. Sekundär sollte der Versuch unternommen werden eine Wiederholpräzision für die Messmethoden mit dem DSR abzuleiten.

#### 2 Proben und konventionelle Eigenschaften

Für die Tastversuche wurden fünf Straßenbaubitumen aus drei Raffinerien genutzt, da die Eigenschaften von polymermodifizierten Bitumen stark von der Art der Modifizierung abhängig sind. Nachfolgend ist die jeweilige Probenbezeichnungen und Herkunft der Bindemittel tabellarisch, anonymisiert mit den konventionellen Eigenschaften dargestellt.

Von der Bitumensorte 50/70 wurden drei Proben für die Untersuchungen hinzugezogen, da jene Sorte am häufigsten im Straßenbau verwendet wird<sup>3</sup>.

Tabelle 1: Proben und konventionelle Eigenschaften

Bitumensorte	30/45	50/70		70/100	
Raffinerie	K	K	B	N	K
Nadelpenetration bei 25°C [0,1 mm]	31	51	50	63	75
Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]	55,6	51,4	53,8	48,8	48,4
Brechpunkt nach Fraaß [°C]	-4	-5	-7	-6	-7

### 3 Durchführung der Messungen

Alle Untersuchungen mit dem DSR wurden im linear-viskoelastischen Bereich ohne signifikante strukturelle Verformungen bei einer Verformung von 0,05 % durchgeführt. Hierzu wurden vorab Amplitudensweeps zur Bestimmung der Linearviskoelastischen-Grenze an allen Proben durchgeführt.

Die Messungen mit der PP04 wurden gemäß der Entwurfsnorm der AASHTO<sup>4</sup> bei äquivalenten Prüftemperaturen wie bei den BBR-Messungen durchgeführt.

Das Messkonzept der Festkörpereinspannung ist wie in der AASHTO<sup>4</sup> beschrieben ein aus Temperatur- und Frequenzsweep kombinierte Prüfung. Die Prüftemperaturen (5, 0, -5, -10, -16 und -20°C) wurden diskontinuierlich mit einem Konvektionsofen des Typs CTD 180 eingestellt und an jene der BBR-Untersuchung angepasst. Ein Wechsel zwischen den Prüftemperaturen erfolgte mit einer Temperaturrate von 1 Kelvin je Minute mit einer anschließenden Temperatureinstellungszeit von 15 Minuten, welche für eine gradientenfreie Temperierung der Probe sorgt. Bei jeder Prüftemperatur wurde ein logarithmisch steigender Frequenzdurchlauf von 0,1 bis 10 Hz über 21 Messpunkte durchgeführt.

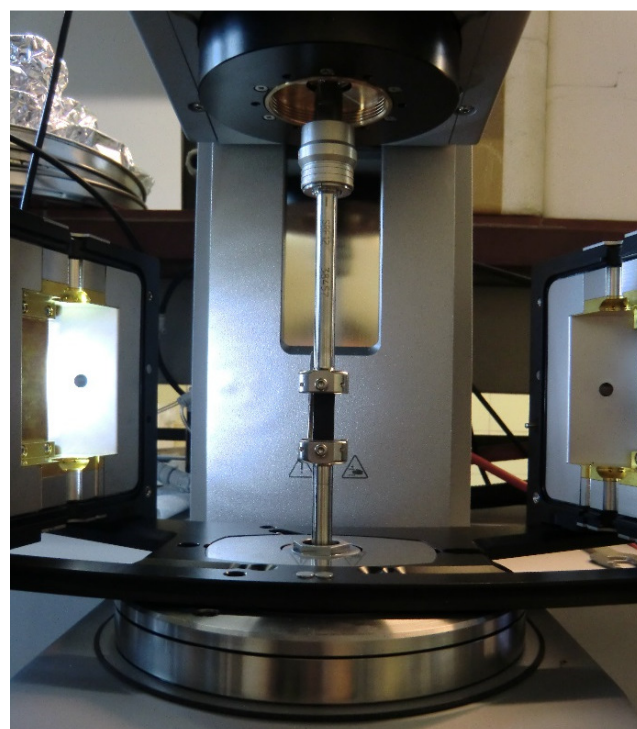


Abbildung 1: eingespannter Bitumenstab bei offenem Konvektionsofen (CTD 180)

Für die Untersuchung wurden Bitumenstäbe (3,6/8,8 mm) mit einer freien Einspannlänge von 22 mm genutzt, wie in Abbildung 1 zu sehen ist.

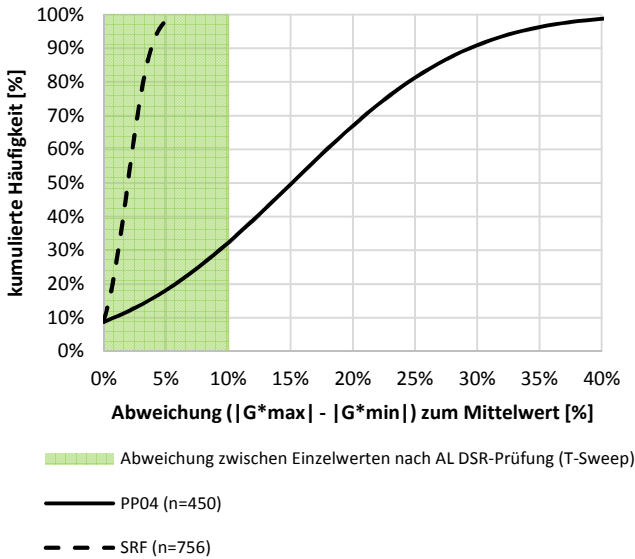
Zur Steuerung der Normalkraft und Sicherstellung einer einheitlichen Stabilität (labiles Hängen des Stabes durch Fließvorgänge) wurde eine konstante Normalkraft von 0,1 N angelegt, dies führte bei einem Temperaturanstieg über die gesamte Prüfung (25 K) zu Längenänderungen von maximal 0,167 mm bei den untersuchten Proben.

### 4 Untersuchungsergebnisse

#### 4.1 Wiederholpräzision der DSR-Messungen

Zur Betrachtung der Wiederholpräzision wurden mit der Festkörpereinspannung vier Messungen an einem Straßenbaubitumen 50/70 durchgeführt. Bei der PP04 wurden an jedem Bitumen mindestens zwei Messungen durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in nachfolgender Abbildung 2 mit den Anforderungen der AL DSR-Prüfung (T-Sweep)<sup>5</sup> gegenüber gestellt. Die Abweichungen zeigen keine Abhängigkeit zur Prüftemperatur oder Frequenz, sodass die kumulative Häufigkeit unabhängig von den Prüfparametern gebildet wurde.



**Abbildung 2:** Abweichung der Spannweiten des kompl. Schermoduls ( $|G^*|$ ) des SRF und PP04 - Messsystems

Die Messdaten sind in Abbildung 2 aufgearbeitet dargestellt und weisen entsprechend dem Kolmogorov-Smirnov-Test mit einem Signifikanzniveau von 95 % einen normalverteilten Charakter auf.

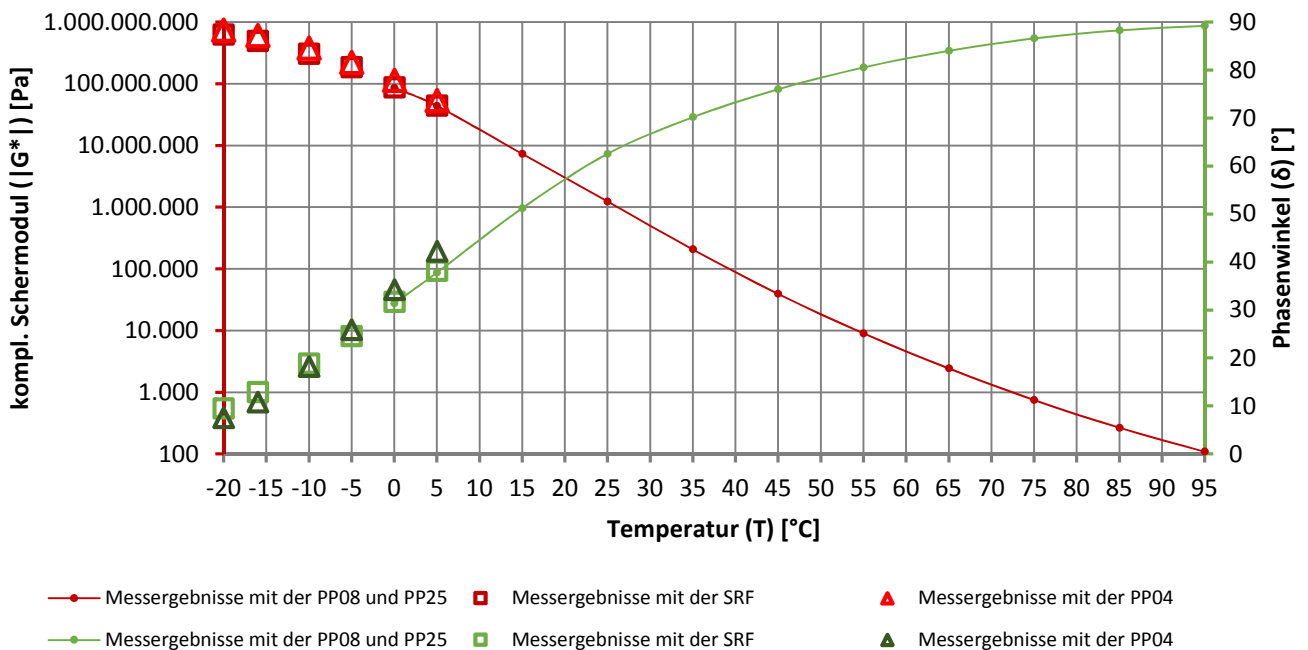
Bei beiden Verfahren ist mit 10 % Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass zwei Messungen zu identischen Messergebnissen führen. Messungen mit dem PP04 – Messsystem können mit 70 % Wahrscheinlichkeit mehr als 10 % und mit 95 %

Wahrscheinlichkeit um ca. 33 % voneinander variieren. Dem gegenüber können Einzelwerte der Festkörpereinspannung mit 95 % Wahrscheinlichkeit um ca. 4,5 % voneinander abweichen. Mit der Festkörpereinspannung erscheint es folglich möglich die zulässige Präzision für ein PP25-Messsystem bei einer Prüftemperatur von 60°C zu erfüllen.

Die Wiederholpräzision des PP04 – Messsystems deutet eher auf eine Zufallsbestimmung der Prüfwerte hin, sodass solange Einzelproben untersucht werden müssen, bis eine akzeptable Abweichung vorliegt. Dieses Verfahren wird bereits bei normierten Prüfverfahren (wie zum Beispiel den Zugversuchen gemäß der DIN EN 12697-46a) angewandt. Nach Ansicht des Verfassers ist dieses Vorgehen zur Charakterisierung von Baustoffen und Baustoffgemischen gänzlich ungeeignet.

#### 4.2 Messergebnisse des DSR

Zum allgemeinen Vergleich wurden Referenzmessungen in einem Temperaturbereich von 0 °C bis 95 °C bei einer Frequenz von 1,59 Hz mit den konventionellen Platte-Platte-Messsystemen (PP08 und PP25) entsprechend der DIN EN 14770<sup>6</sup> durchgeführt, wobei die Temperierung und Probenvorbereitung entsprechend der AL DSR-Prüfung (T-Sweep) durchgeführt wurde. Das Ergebnis der Messungen ist exemplarisch für das



**Abbildung 3:** Isochronen des Straßenbaubitumens 50/70 N bei 1,59 Hz gemessen mit variierenden Messsystemen

Straßenbaubitumen 50/70 N zuzüglich den Untersuchungen mit dem PP04 und SRF-Messsystem in Abbildung 3 dargestellt.

Der Phasenwinkel weist bei hohen Prüftemperaturen eine für Straßenbaubitumen typische asymptotische Annäherung an ein ideal-viskoses Verhalten auf.

Im Bereich der Prüftemperaturen bei 0 °C und 5 °C zeigen die variierenden Messsysteme ein unterschiedliches Verhalten auf. Während die Festkörpereinspannung ein äquivalentes Messwertniveau wie das PP08 - Messsystem aufweist weicht das Niveau mit dem PP04 - Messsystem hiervon ab und deutet auf ein deutlich viskoseres Verhalten hin. In den Überlagerungstemperaturen können Abweichungen von im Mittel 24 % bezogen auf den komplexen Schermodul und 3,6° bezogen auf den Phasenwinkel zwischen den Messsystemen PP04 und PP08 festgestellt werden. Dieser Effekt liegt ebenfalls bei den anderen Proben vor.

Auf eine Korrektur der Messwerte mit dem PP04 – System entsprechend dem Entwurf der AASHTO<sup>4</sup> wurde verzichtet, weil das gemessene Drehmoment nicht annähernd das maximal aufnehmbare Moment des DSR erreicht und somit von keiner Komplianz durch das Prüfgerät auszugehen ist.

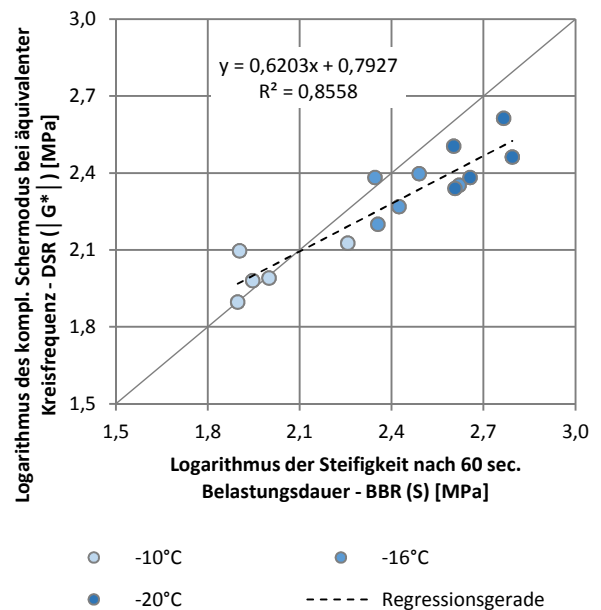
Insgesamt wird in Abbildung 3 deutlich, dass die Festkörpereinspannung zu vergleichbaren Ergebnissen bei Straßenbaubitumen führt wie die bereits standardisierten Messsysteme. Der Trend des Phasenwinkels und des kompl. Schermoduls lassen sich bei der Festkörpereinspannung wiederfinden. Die Abweichungen des PP04 – Messsystems werden in der Prüfkörpergeometrie vermutet, welche stark vom Trimmvorgang abhängig sind. Wobei eine Probe mit 4 mm Durchmesser und einer Höhe von 1,75 mm auch für geübte Nutzer sehr schwierig abzuscheren ist.

### 4.3 Beziehungen zwischen den Prüfverfahren

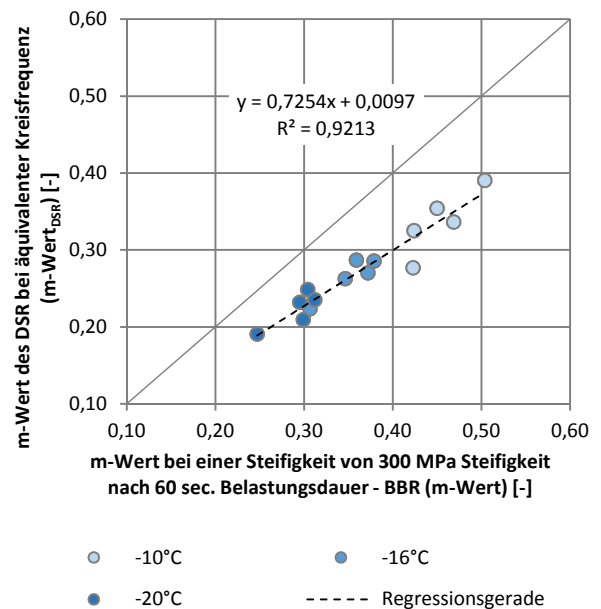
#### 4.3.1 PP04 und BBR

Entsprechend der AASHTO<sup>4</sup> können äquivalente Tieftemperaturparameter, wie jene der BBR-Prüfung, ermittelt werden, wenn das komplexe Schermodul bei einer Kreisfrequenz von 0,11 rad/s mittels einer polynomischen Regressionsfunktion abgelesen wird. Der m-Wert wird hierbei über die Regressionsparameter ermittelt. Nachfolgend sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 die Ergebnisse von allen Proben mit den äquivalenten Un-

tersuchungsergebnissen der BBR – Prüfung entsprechend der DIN EN 14771<sup>7</sup> unabhängig von der Prüftemperatur gegenübergestellt.



**Abbildung 4:** Regression zwischen der Steifigkeit des BBR nach einer Belastungszeit von 60 Sekunden und dem kompl. Schermodul des DSR – PP04 bei einer Kreisfrequenz von 0,11 rad/s von allen Proben bei drei Prüftemperaturen (n=25)



**Abbildung 5:** Regression zwischen dem m-Wert des BBR nach einer Belastungszeit von 60 Sekunden und dem berechneten Äquivalent des DSR – PP04 bei einer Kreisfrequenz von 0,11 rad/s von allen Proben bei drei Prüftemperaturen (n=25)



Der Vergleich beider Steifigkeiten in Abbildung 4 weist mit einem Bestimmtheitsmaß von 86 % eine hohe Korrelation auf. Das komplexe Schermodul weist im Mittel ein ca. 4 % niedrigeres Niveau auf als die Steifigkeit des BBR. Grund hierfür ist der physikalische Charakter der Messgrößen. Das komplexe Schermodul ist ein Widerstand gegen Torsion bei dynamisch oszillierender Belastung. Während die Steifigkeit des BBR analog dem E - Modul (Widerstand gegen Durchbiegung) anzusehen ist, welches bei einer statischen Belastung ermittelt wurde. Das anisotrope und amorphe Bitumen weist ein isotropes Verhalten auf. Für isotrope Baustoffe ist es typisch, dass der Widerstand gegen Torsion geringer ist als gegen Durchbiegung.

Die Beziehung zwischen den m-Werten ist mit einem Bestimmtheitsmaß von 92 % sehr hoch. Das Niveau der äquivalenten m - Werte des DSR sind im Mittel um ca. 25 % niedriger als jene des BBR.

Ausgehend von den Regressionsgeraden in Abbildung 4 und Abbildung 5 entspricht eine Steifigkeit des BBR von 300 MPa einem komplexen Schermodul von ca. 213 MPa und ein m – Wert von 0,300 ermittelt mit dem BBR ist bei einem Niveau von ca. 0,227 äquivalent zum DSR.

### 4.3.2 SRF und BBR

Entgegen dem Vergleich zwischen dem PP04 – Messsystem und dem BBR wurde ein eigener Ansatz über eine äquivalente mechanische Leistung gewählt, welche nachfolgend erläutert ist.

Als Datengrundlage wurden alle Belastungszeiten des BBR von allen Prüftemperaturen und Proben hinzugezogen. Zur Ermittlung einer Grundeinstellung des DSR, welche die charakteristischen Züge des Biegebalken-Rheometers wiedergibt, wurden kausale Vorüberlegungen getroffen, welche nachfolgend aufgelistet sind:

- einheitliche Frequenz für jede Belastungszeit: Die Prüfungen mit dem BBR erfolgen bei sechs aufeinanderfolgenden Belastungszeiten. Im DSR sollte jeder Belastungszeit eine Frequenz zugeordnet werden, welche direkt aus der Belastungszeit des BBR ableitbar ist.
- äquivalente Prüftemperatur: Die Prüftemperaturen des Dynamischen Scherrheometers sollen äquivalent zu den Prüftemperaturen des BBR sein.
- äquivalente mechanische Leistung: Eine gleiche Leistung bei unterschiedlichen Temperaturen und Belastungszeiten zwischen den BBR- und DSR-Kennwerten ist die Hauptbedingung der Regression.

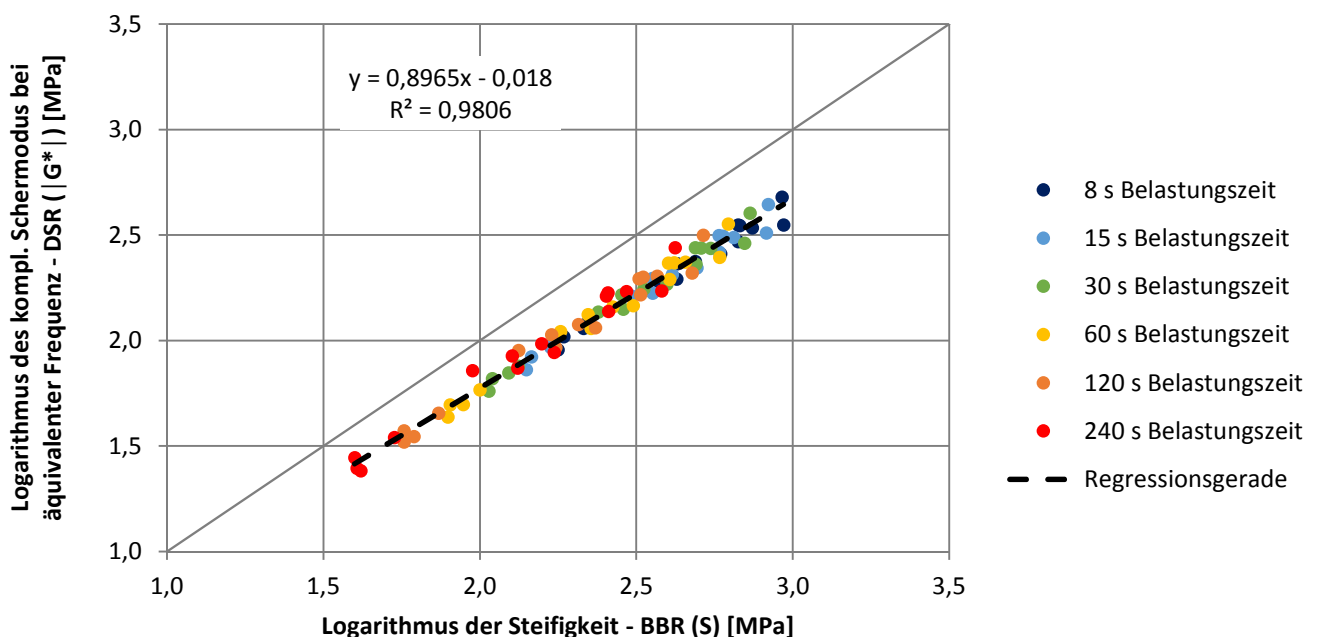


Abbildung 6: Regression zwischen der Steifigkeit des BBR und dem kompl. Schermodul des DSR – SRF bei einer äquivalenten Frequenz von allen Proben, Prüftemperaturen und Belastungszeiten (n=90)

- Art und Stärke des Zusammenhangs:  
Um eine Verzerrung oder Verschiebung von Anforderungswerten zu negieren, wurde eine lineare Regression mit einer hohen Korrelation als Ziel definiert.

Das Ergebnis der Betrachtung ist in Abbildung 6 dargestellt. Unabhängig von der Bitumensorte, der Belastungszeit und der Prüftemperatur konnte mit einem Bestimmtheitsmaß von 98 % eine sehr hohe Beziehung zwischen den Prüfmerkmalen gefunden werden. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Frequenz (f) des DSR und die Belastungsdauer (t) des BBR bei gleicher Prüftemperatur und Messungen im linear-viskoelastischen Bereich in folgender Beziehung zueinander stehen:

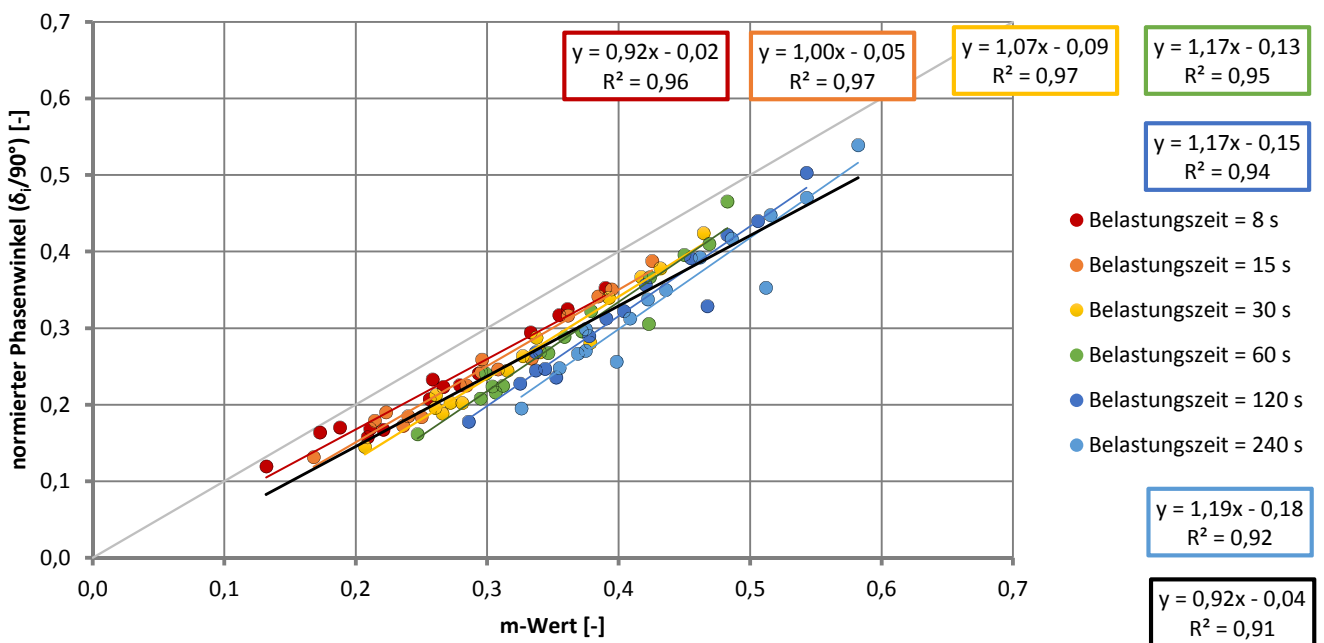
$$f = \frac{1}{2t}, \text{ in Hz}$$

Neben der Biegekriechsteifigkeit wird mit dem BBR die Kriechnachgiebigkeit bzw. das Fließverhalten über dem m-Wert beschrieben. Im kausalen Zusammenhang steht der Phasenwinkel des DSR, welcher im Allgemeinen die Relationen zwischen den viskosen und elastischen Verhalten wiedergibt. Dementsprechend müsste der Phasenwinkel mit zunehmenden m-Wert steigen. Zu vergleichbaren Schlussfolgerungen kommt auch Hagner<sup>8</sup>. Folglich wurden die korrespondierenden

Phasenwinkel und m-Werte in der Abbildung 7 gegenübergestellt. Die Phasenwinkel wurden vorab über das Maximum von 90° (ideal-viskoses Verhalten) normiert, um beide Kennwerte auf eine vergleichbare Maßeinheit zu führen.

Der Zusammenhang weist insgesamt mit einem Bestimmtheitsmaß von über 91 % eine sehr gute Korrelation auf. Bezogen auf die Belastungszeiten ist zu erkennen, dass die Stärke des Zusammenhangs mit zunehmender Belastungszeit schwächer wird. Der Grund hierfür wird in der Prüfmethode der beiden Verfahren vermutet. Mit zunehmender Belastungszeit reduziert sich die Biegekriechsteifigkeit. Somit ist von einem nichtlinearen Verhalten während der Prüfung auszugehen. Im Vergleich dazu wurden die Messungen mit dem DSR im Bereich des linear-viskoelastischen Verhaltens durchgeführt. Somit basiert die in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellte Regressionsfunktion auf einer einfachen Relation zwischen den Prüfmerkmalen.

Ausgehend von den Regressionsgeraden in Abbildung 6 und Abbildung 7 entspricht eine Steifigkeit des BBR von 300 MPa einem komplexen Schermodul von ca. 160 MPa und ein m-Wert von 0,300 unabhängig von der Belastungszeit oder Prüftemperatur einen Phasenwinkel von rund 21°.



**Abbildung 7:** Vergleich des normierten Phasenwinkels mit dem m-Wert unabhängig von der Sorte des Straßenbaubitumens, der Prüftemperatur und der Belastungsdauer über eine äquivalente mechanische Leistung (n=90)

### 4.3.3 Auswirkungen auf die resultierenden Ergebnisse

In der nachfolgenden Abbildung 8 wurde die Temperatur für Messungen mit dem SRF - System ( $|G^*| = 160 \text{ MPa}$ ,  $0,008 \text{ Hz}$ ), sowie für Messungen mit dem PP04 – System ( $|G^*| = 213 \text{ MPa}$ ,  $\omega = 0,11 \text{ rad/s}$ ) berechnet und mit dem Ergebnis des BBR ( $S = 300 \text{ MPa}$ ,  $60\text{s}$ ) verglichen. Der Darstellung wurden ebenfalls die Ergebnisse einer Sensibilitätsanalyse resultierend aus den Betrachtungen zur Wiederholpräzision hinzugefügt. Dabei wurde das komplexe Schermodul um  $\pm 5 \%$  bei den SRF- und  $\pm 16,5 \%$  bei den PP04-Messung im Bezug zum Mittelwert variiert, um die Auswirkungen im Vergleich zur möglichen Abweichung des BBR-Prüfverfahrens gemäß DIN EN 14771<sup>7</sup> zu verdeutlichen. Die Variationsspannweite des komplexen Schermoduls bei den SRF-Messungen entspricht der möglichen Abweichung gemäß der AL DSR-Prüfung (T-Sweep)<sup>5</sup>.

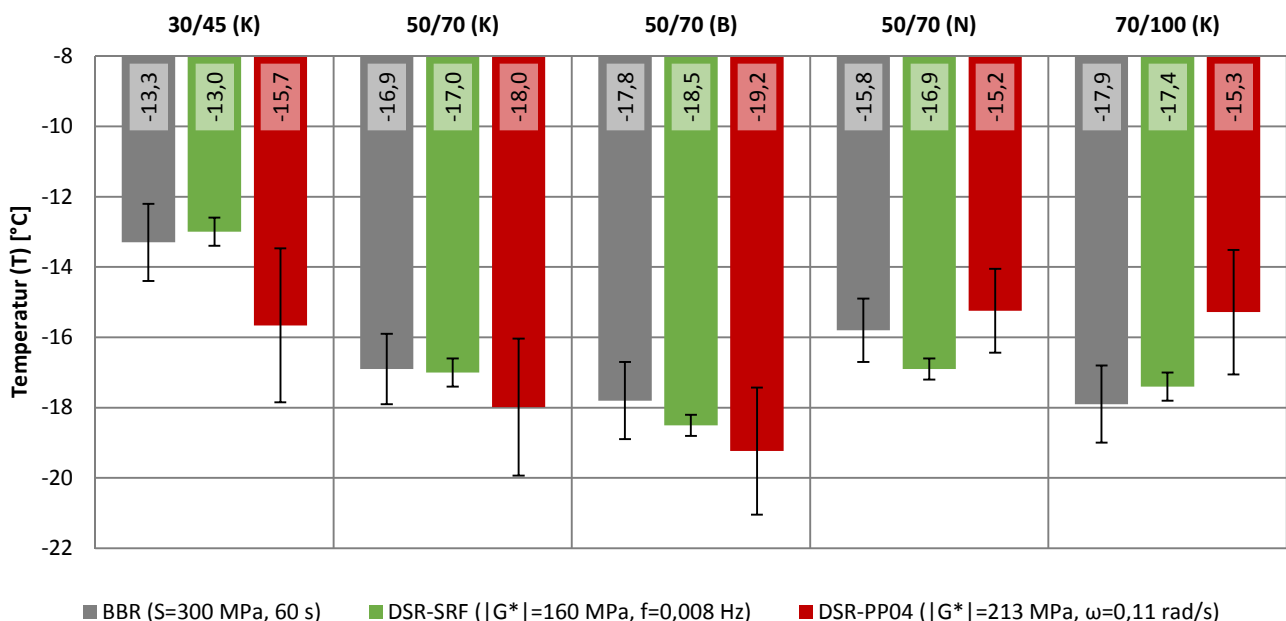
Insgesamt ist in Abbildung 8 zu erkennen, dass die resultierenden Temperaturen zwischen dem BBR und dem SRF –Messsystem gut korrelieren. Das PP04 – Messsystem zeigt zum Teil deutliche Abweichungen im Endergebnis. Ebenfalls ist anhand der Fehlerindikatoren die mögliche Abweichung unter Wiederholbedingungen der Ergebnisse erkennbar. Das SRF – Messsystem kann demzufolge zu Abweichungen von ca.  $\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

das BBR unter Berücksichtigung der in der Norm angegebenen Präzision um bis zu ca.  $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$  und das PP04 – Messsystem um bis zu ca.  $\pm 1,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Folglich ist abzuschätzen, dass die Wiederholpräzision im Vergleich zu den übrigen Prüfverfahren und in Bezug auf das Endergebnis mit einem DSR in Kombination mit einem SRF – Messsystem die reproduzierbarsten Ergebnisse liefert.

Ähnliche Schlussfolgerungen können über die Betrachtung der Temperaturen des m-Wertes bei einem Niveau von 0,300 bzw. den vergleichbaren Größen getroffen werden, wie in nachfolgender Abbildung 9 ersichtlich ist. Eine Sensibilitätsanalyse möglicher Abweichungen unter Wiederholbedingungen bei dem PP04 – Messsystem sind theoretisch nicht möglich. Grund hierfür ist die Ableitung des Kennwertes gemäß dem AASTHO Entwurf<sup>4</sup> über die Steigung des komplexen Schermoduls. Hier bedarf es einen größeren Umfang an Messungen.

### 5 Resümee

Die Untersuchungsmethodik mit dem DSR und einer Festkörperkonfiguration führt im Vergleich zu den Biegebalken-Rheometer zu vergleichbaren Ergebnissen, welche eine deutliche Steigerung der Präzision zulassen. Das Verfahren ist für die Praxis aufgrund der modularen Bauweise des DSR einfach und schnell umsetzbar, sodass



**Abbildung 8:** Vergleich der Referenztemperatur des BBR ( $S = 300 \text{ MPa}$ ,  $60\text{s}$ ) mit der äquivalenten Temperatur des komplexen Schermoduls ( $|G^*| = 160 \text{ MPa}$ ,  $f = 0,008 \text{ Hz}$ ) für das SRF – System und für das PP04 – System ( $|G^*| = 213 \text{ MPa}$ ,  $\omega = 0,11 \text{ rad/s}$ )

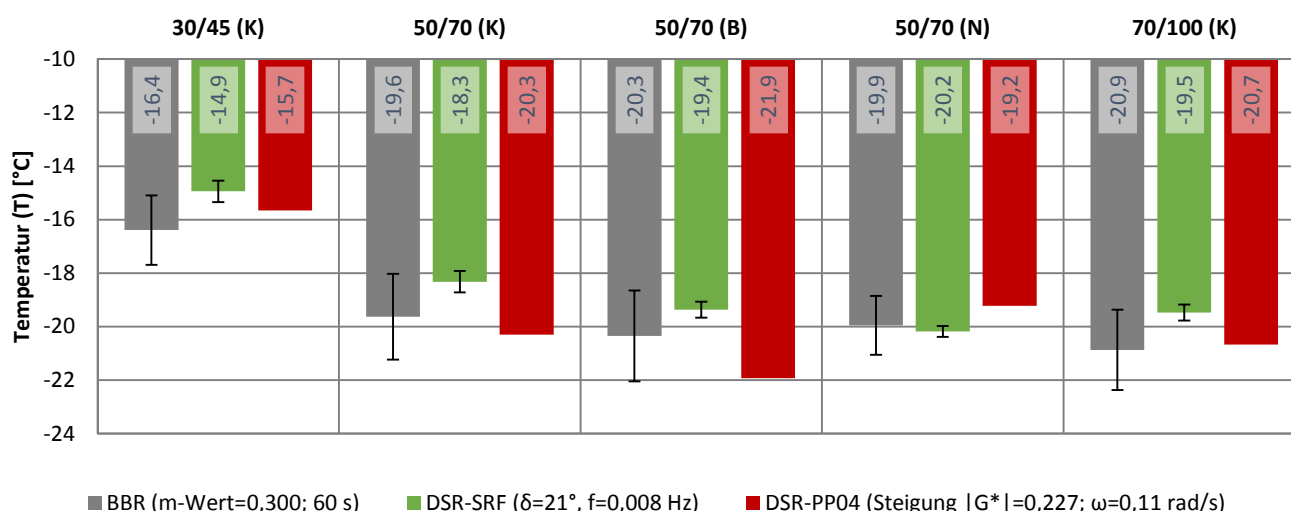


Abbildung 9: Vergleich der Referenztemperatur des BBR (m-Wert= 0,300; 60s; Abweichung  $\pm 1,4^\circ\text{C}$ ) mit der äquivalenten Temperatur des Phasenwinkels ( $\delta = 21^\circ$ ;  $f = 0,008$  Hz; Abweichung  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ) für das SRF – System und für das PP04 – System (Steigung  $|G^*| = 0,227$ ,  $\omega = 0,11$  rad/s)

die Konfiguration auch bei Routineuntersuchungen anwendbar ist. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Eigenschaften über den kompletten Gebrauchstemperaturbereich erfasst und interpretiert werden können, wie es in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt ist.

Neben Messungen an Straßenbaubitumen ist auch ein Einsatz der Festkörpereinspannung bei Charakterisierungen von modifizierten Bitumen, Fugenmassen, reinen Additiven und Epoxidharzen für die HANV Bauweise<sup>9</sup> oder anderen Abdichtungssystemen denkbar und sinnvoll. Ein weiteres Potential besteht aufgrund der sehr geringen Bitumenmenge im Einsatz bei Zustandserfassungen. Somit kann nachhaltig der Gebrauch von Lösemitteln im Laboralltag reduziert werden. Folglich werden auch die Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz minimiert.

Die Konfiguration mit einem PP04 – Messsystem ist zwar gegenüber der Festkörpereinspannung einfacher im System zu integrieren, weist jedoch

Schwächen in der Vergleichbarkeit zum BBR und vor allem in der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse auf.

## 6 Mitwirkende und Organisation

Michael Schäffler, Anton Paar Germany GmbH  
[michael.schaeffler@anton-paar.com](mailto:michael.schaeffler@anton-paar.com)

Tobias Nill, Anton Paar Germany GmbH  
[tobias.nill@anton-paar.com](mailto:tobias.nill@anton-paar.com)

Oliver Sack, Anton Paar Germany GmbH  
[oliver.sack@anton-paar.com](mailto:oliver.sack@anton-paar.com)

Philipp Rückert, ASPHALTA  
[philipp.rueckert@asphalta.de](mailto:philipp.rueckert@asphalta.de)

Involved companies and institutes:

Anton Paar Germany GmbH  
 Application laboratory Rheology

### ASPHALTA

Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH

Contact Anton Paar GmbH

Tel: +49 711 720 91 600  
 Fax: +49 711 720 91 630

<sup>1</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. (2012). Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 11/2012 - Betreff Änderungen und Ergänzungen des Technischen Regelwerkes Asphaltstraßen.

<sup>2</sup> Qualitätssicherung RAP Stra Vergleichsuntersuchung 2013 an Bitumen in NRW, durchgeführt von den Landesbetriebe Straßenbau Nordrhein-Westfalen – Prüfcenter, unveröffentlicht

<sup>3</sup> Hirsch (2007): Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005, in Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Straßenbau Heft S 52, S. 11

<sup>4</sup> Draft - Standard Method of Test for Determining the Low Temperature Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer – AASHTO Designation: T XXX-12

<sup>5</sup> AL DSR-Prüfung (T-Sweep) (August 2014): Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln im Dynamischen Scherrheometer

(DSR) – Durchführung im Temperatursweep, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen, Köln: FGSV Verlag GmbH

<sup>6</sup> DIN EN 14770 (August 2012): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels – Dynamisches Scherrheometer (DSR), Berlin: Beuth Verlag GmbH

<sup>7</sup> DIN EN 14771 (August 2012): Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung Biegebiegesteifigkeit – Biegebalkenrheometer (BBR), Berlin: Beuth Verlag GmbH

<sup>8</sup> Hagner (2003): Untersuchung und Bewertung von bitumenhaltigen Bindemitteln für Asphalt mittels Dynamischen Scher-Rheometer, Dissertation: Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

<sup>9</sup> Hinweise für die Herstellung von Abdichtungssystemen aus hohlraumreichen Asphaltträgergerüsten mit nachträglicher Verfüllung (HANV) für Ingenieurbauten aus Beton – Ausgabe 2014