



Technische
Universität
Braunschweig



Prüfung der Asphaltmastix zur Qualitätskontrolle der Asphaltperformance

Michael P. Wistuba Technische Universität Braunschweig

Straßenbau Aktuell, 17. Januar 2020

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

- Anwendung in Forschung und Praxis

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

- Definition Rheologie
- Dynamisches Scherrheometer
- Prüfung der Bindemittelrheologie

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX- UND MISCHGUT-EIGENSCHAFTEN

- Erfahrungen des ISBS

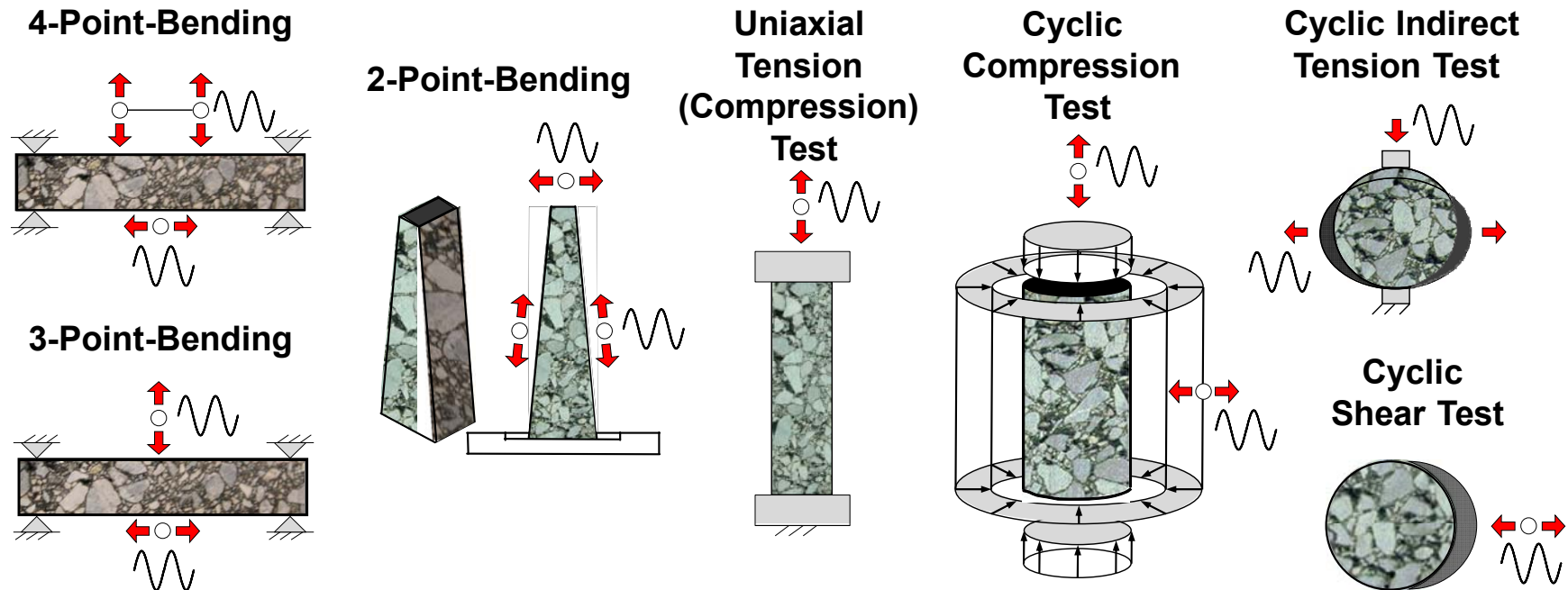
(4) ZUSAMMENFASSUNG

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

Performance = Gebrauchsverhalten

Performance-Prüfung = Prüfung des Gebrauchsverhaltens

Beispiele



(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

... ist **gut entwickelt**, auch wenn es viele Lücken zu füllen gilt

- ungenaue Angaben in Prüfnormen; inkonsistente Prüfung und Datenanalyse unter den Laboren
- Ergebnisse beeinflusst von Prüfbedingungen
- mangelnde Homogenität von Asphaltprüfkörpern (oft ignoriert)
- tw. enorme Prüfstreuung; unzureichende statistische Grundgesamtheit
- ...

Wistuba, M.: Neue Wege zur Prüfung der Performance von Bitumen, Mastix und Asphalt. Vortrag, Straßenbau Aktuell "Asphalt-Performance in der Baupraxis", Technische Universität Braunschweig, 5. Februar 2018.

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

... ist wichtig und interessant für die **Baustoffentwicklung**

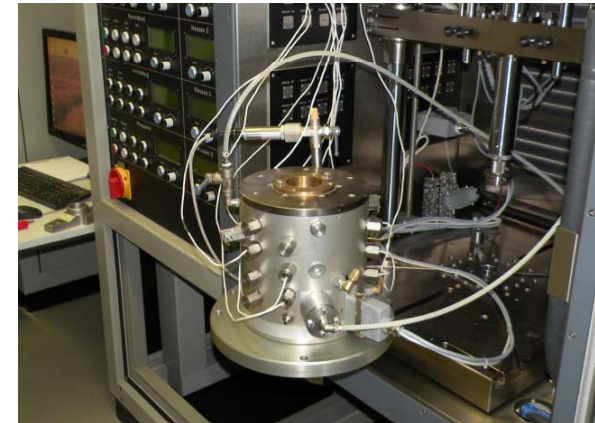
- Wechselwirkungen von Baustoff-Komponenten, Material- und Strukturverhalten
- Prüfung der Asphaltperformance (Steifigkeit, Widerstände des Baustoffs gegen Materialermüdung, Verformung und Kälterisse) liefert gute Voraussetzungen für eine ausreichende Leistungsfähigkeit

Wistuba, M.: Neue Wege zur Prüfung der Performance von Bitumen, Mastix und Asphalt. Vortrag, Straßenbau Aktuell "Asphalt-Performance in der Baupraxis", Technische Universität Braunschweig, 5. Februar 2018.

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

... ist **zu aufwändig** für die Routineprüfung in der Baupraxis

- erfordert zyklische Prüfgeräte
- komplexe Auswertung der Messdaten
- zeitaufwändig und kostenintensiv



(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

Die Bauindustrie bevorzugt **empirische Kennwerte**.

- abgeleitet aus konventionellen Prüfungen
 - Nadelpenetration
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel
 - Verdichtungsgrad
 - Hohlraumgehalt



USA, 1916 (Mallison, 1928)

- Performance-Prüfungen werden kaum angewandt
 - zur Qualitätskontrolle
 - zur Auswahl der bestgeeigneten Baustoffkomponenten
 - zur Mischgutzusammensetzung (Mix Design)

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

Die Bauindustrie bevorzugt **empirische Kennwerte**.

- *Aber:* Erfahrungshintergrund für reine Bitumen gilt nicht für komplexe Bindemittel!
- *Und:* Bitumen in Reinform werden immer seltener eingesetzt
 - Zunahme an PmB
 - viskositätsverändernde Zusätze (Wachse)
 - Mehrfachmodifikation (Polymere & Wachse)
 - Asphaltgranulat; Rejuvenatoren; Mehrfachrecycling
 - Veränderungen am Bindemittelmarkt

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

Konsequenzen

- konventionelle Prüfverfahren stoßen zunehmend an ihre Grenzen und konventionelle Kennwerte verlieren an Aussagekraft
- Bindemittelbewertung auf der Grundlage von empirischen Kennwerten (PEN, EP_{RuK}) wird immer unzuverlässiger (Bsp. Recycling); eine Qualitätsbewertung ist kaum möglich
- Bindemittelauswahl basierend auf konventionellen Bitumenkennwerten macht Zusammensetzung des Asphaltmischguts zum „Glücksspiel“ (Bsp. Recycling)
- wenn bei komplexen Bindemitteln konventionelle Bitumenkennwerte zur Vertragsgrundlage werden, dann ist die Gewährleistung mit einem hohen Risiko verbunden

(1) PRÜFUNG DER ASPHALTPERFORMANCE

Was wir eigentlich bräuchten...

- Performance-Prüfungen, brauchbar für Routineprüfung, d. h.
 - einfache Versuchsdurchführung
 - einfache (Geräte-)Technik
 - aussagekräftiges, „robustes“, physikalisch interpretierbares Ergebnis (z. B. Temperatur)
 - schnell (kurze Versuchsdauer)
 - kostengünstig
- Mögliche Umsetzung durch rheologische Prüfmethodik ?!
(TU Braunschweig: Forschungsprojekte VEGAS und Bit-Q)

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Definition Rheologie

- Fließkunde (altgriechisch *rhein* für fließen und *logos* für Lehre); Werkstoffwissenschaft, die das Fließverhalten von flüssigen Stoffen bzw. das Verformungsverhalten von zähflüssigen Stoffen unter Krafteinwirkung behandelt.
- Asphalt, ein Baustoff mit rheologischen Eigenschaften:
 - viskoses elastisches und plastisches Materialverhalten
 - durch Temperatur und Belastungszeit bestimmt
 - im Wesentlichen von rheologischen Bindemittleigenschaften gesteuert
- Rheologische Eigenschaften sind am besten mit rheologischen Prüfgeräten (Rheometern) prüfbar ;-)

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Zur Entwicklung von rheologischen Bindemittelprüfungen

- Strategic Highway Research Program (SHRP): 1987 bis 1993; 50 Mio US-dollar
- Superpave system (Superior Performing Asphalt Pavements): gebrauchungsverhaltensorientierte Bitumen- und Asphaltspezifikation

Prüfverfahren

Beurteilte Eigenschaften

Rotational Viscosimeter RV

Pumpfähigkeit, Mischbarkeit

Dynamisches Scherrheometer DSR

Standfestigkeit, Verformbarkeit, Ermüdungsverhalten

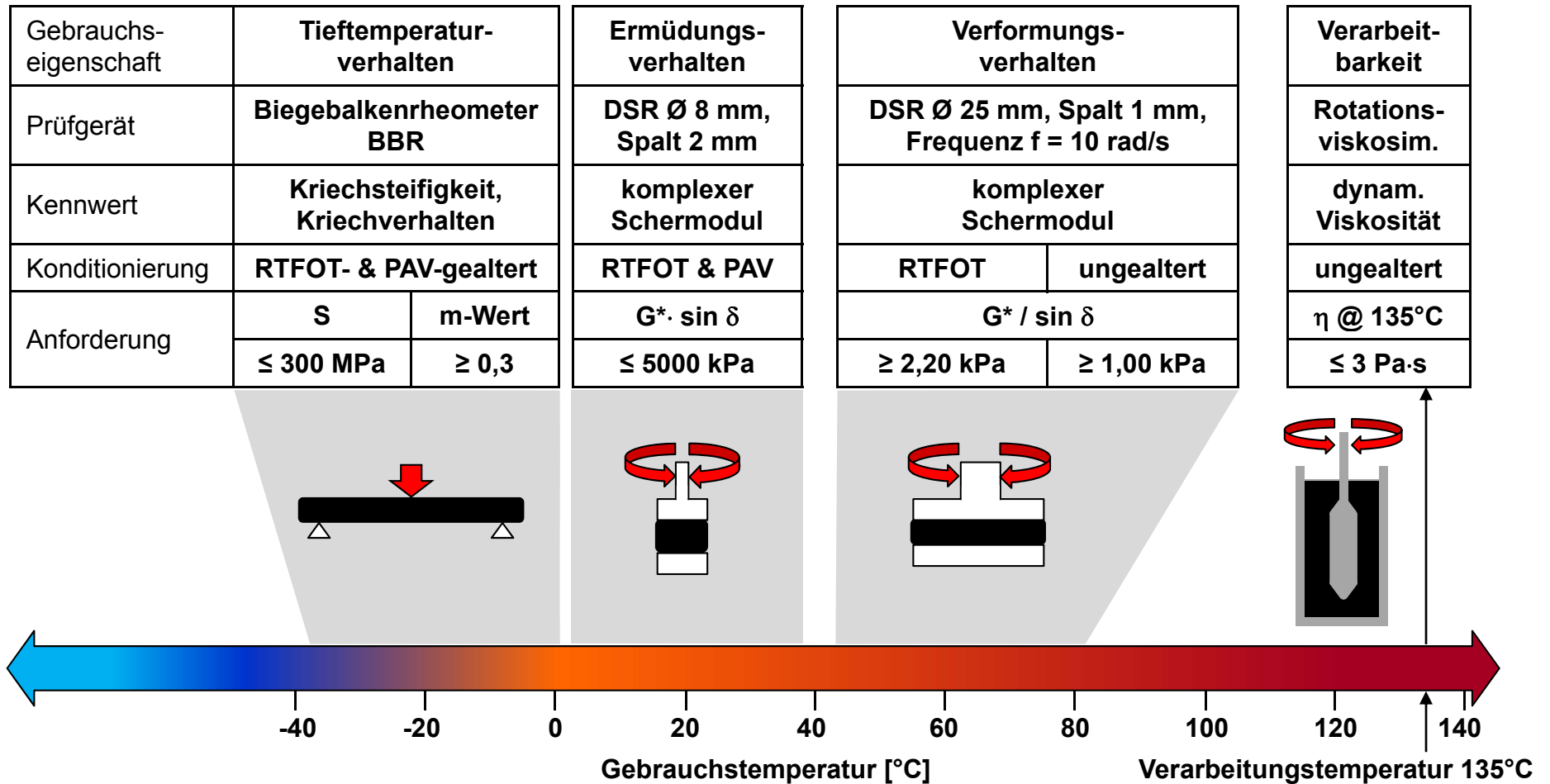
Bending Beam Rheometer BBR

Tieftemperaturverhalten

Direct Tension Test DTT

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Kennziffern nach dem Superpave Performance Grade System



aus: Wistuba, M. P. Straßenbaustoff Asphalt. Erste Auflage 2019, Technische Universität Braunschweig, Institut für Straßenwesen, ISBN 978-3-932164-16-3.

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Kennziffern nach dem Superpave Performance Grade System

Vorteile

- Ansprache der Bindemittel-Rheologie
- Prüfung des rheologischen Bindemittelverhaltens in Abhängigkeit von der Temperatur
- Ermittlung von physikalischen Messgrößen (Steifigkeit, Kriechmodul, Schermodul, Phasenwinkel, Viskosität)

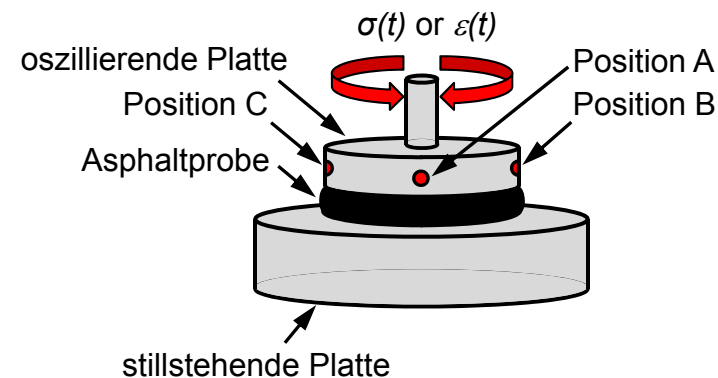
Nachteile

- vielfältige Prüfgeräte und Prüfverfahren
- Praxistauglichkeit fraglich, daher zögerliche Umsetzung
- Korrelation mit Asphalteigenschaften fraglich
- in Deutschland/Europa bisher fehlende Laborausstattung (obwohl zunehmende Verbreitung von DSR)
- in Deutschland/Europa fehlender Erfahrungshintergrund

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Status Quo in Deutschland/Europa

- Fokussierung auf Dynamisches Scherrheometer (DSR)



- DSR ist ein vielseitig einsetzbares Messgerät
- Prüfung im gesamten Bereich der Gebrauchstemperatur möglich (-40 bis +90°C)
- vielfältige Möglichkeiten der rheologischen Ansprache
 - bisher hauptsächlich zur Materialspezifikation
 - grundsätzlich auch für Analyse des Gebrauchsverhaltens geeignet (z. B. Kriechen/Relaxieren)

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Einige Möglichkeiten zur Variation der Prüfparameter im DSR


- Temperatur (-40 bis 200 °C)
- Temperierzeiten
- Frequenz (0,1 bis 50 Hz)
- Art der Messgeometrie (Platte, Kegel oder Zylinder)
- Durchmesser der Platte (25, 20, 8 oder 4 mm)
- Probenvorbereitung (Einbau und Trimmen)
- Betriebsmodus (Oszillation oder Rotation)
- Belastungsart (Deformations- oder Spannungssteuerung)
- Belastungshöhe/Amplitude (τ bzw. γ , beschränkt durch das Drehmoment)


Benötigt werden robuste Prüfverfahren, ansonsten wissenschaftlicher Unsinn und Gefahr der Fehlinterpretation!

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

DSR im Europäischen Regelwerk

- seit 2003 verfügbar
- EN 14770: Bestimmung von komplexen Schermodul und Phasenwinkel (Oszillation)
 - Kritik: enthält nur allgemeine Informationen zur Ermittlung von physikalischen Kenngrößen ohne konkretes Prüfverfahren
- EN 16659: Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT)
 - Kritik: nicht für Straßenbaubitumen anwendbar/auswertbar

DEUTSCHE NORM		August 2012
	DIN EN 14770	
ICS 75.140; 91.100.50		
Ersatz für DIN EN 14770:2008-01		
Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels – Dynamisches Scherrheometer (DSR); Deutsche Fassung EN 14770:2012		

DEUTSCHE NORM		März 2016
	DIN EN 16659	
ICS 75.140; 91.100.50		
Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – MSCR-Prüfung (Multiple Stress Creep and Recovery Test); Deutsche Fassung EN 16659:2015		

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Bitumen-Typisierungs-Schnellverfahren (BTSV) in Deutschland

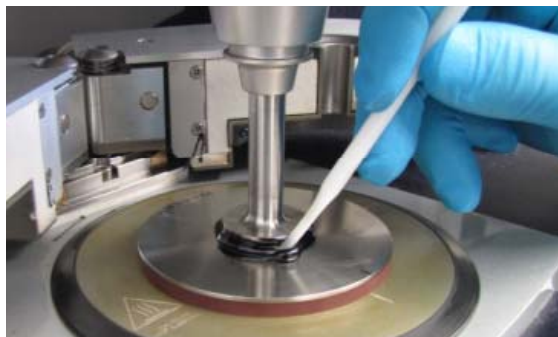
- als Ersatz für Erweichungspunkt Ring und Kugel entwickelt (Alisov, 2017)
- allerdings funktioniert BTSV im Gegensatz zu EP RuK zuverlässig auch für alle, wie auch immer modifizierte und für unbekannte Bindemittel
- sehr einfaches, aussagekräftiges und robustes Prüfverfahren
- gute Korrelation zur Nadelpenetration
- BTSV-Kennwerte T_{BTSV} und δ_{BTSV} im Bereich der oberen Gebrauchstemperatur zur rheologischen Bewertung
 - der *Bindemittelgüte*
 - des *Alterungszustands* eines Bindemittels aus Asphaltgranulat
 - der Wirkungsweise und der Zugabemenge eines Verjüngungsmittels (verjüngend vs. verdünnend)
- In Deutschland wird das BTSV bisher sehr gut angenommen

Alisov, A. 2017. *Typisierung von Bitumen mittels instationärer Oszillationsrheometrie*. Dissertation, Schriftenreihe Straßenwesen, Heft 33, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

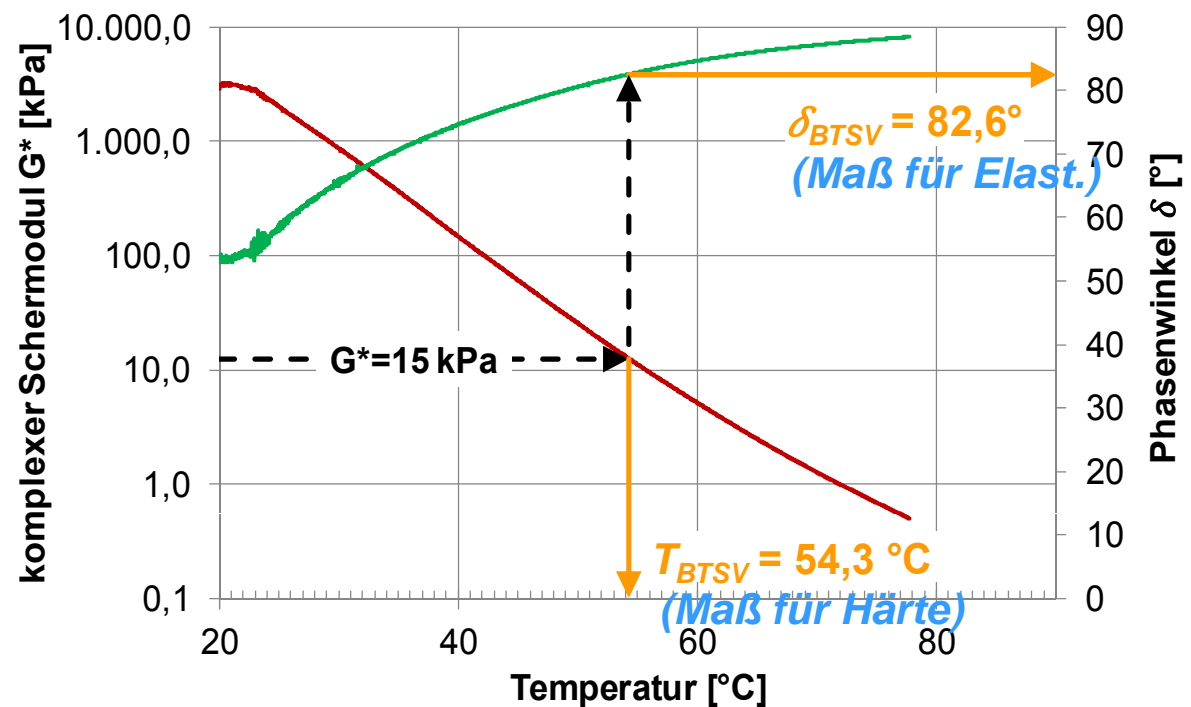
(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Bitumen-Typisierungs-Schnellverfahren (BTSV) in Deutschland

- **DIN 52050** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - **BTSV-Prüfung**
- FGSV Arbeitsanleitung AL DSR (BTSV)



- Platte-Platte Oszillation
- 25mm Probendurchmesser
- 1mm Spaltweite
- Temperaturrate $\dot{T}=1,2^{\circ}\text{C}/\text{min}$
- kraftgeregelt 500Pa@1,59Hz
- Temperaturbereich 30-90°C



Quelle: Wistuba & Alisov, Asphaltstraßentagung 2017, Bamberg

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Bitumen-Typisierungs-Schnellverfahren (BTSV) in Deutschland

Empfehlung für BTSV-Kennwerte von Frischbindemitteln veröffentlicht vom BMVI im Allgemeinen Rundschreiben ARS 08/2019

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Straßenbaubitumen			
			30/45	50/70	70/100	160/220
Äquisteifigkeits-temperatur $T(G^*=15 \text{ kPa})$ bei 1,59 Hz	°C	In Anlehnung an AL DSR-Prüfung (T-Sweep oder BTSV)	52 bis 58	47 bis 53	42 bis 48	35 bis 41
Phasenwinkel δ	°		≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Polymermodifizierte Bitumen		
			25/55-55 A	10/40-65 A	40/100-65 A
Äquisteifigkeits-temperatur $T(G^*=15 \text{ kPa})$ bei 1,59 Hz	°C	In Anlehnung an AL DSR-Prüfung (T-Sweep oder BTSV)	48 bis 62	56 bis 68	48 bis 58
Phasenwinkel δ	°		≤ 75	≤ 75	≤ 70

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

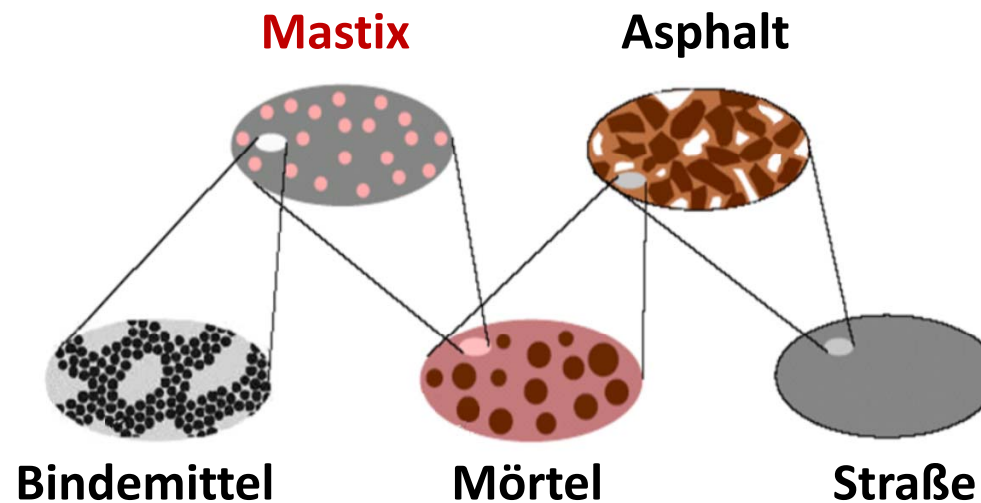
Mastixprüfung im DSR als neue Prüfmethodik

- Mastix = Bindemittel-Füller-Gemisch
- Bindemittel und Gesteinsmehl (Füller) beeinflussen wesentlich das Gebrauchsverhalten von Asphalt
- Vermutung: Zusammenhang von Mastix- und Asphalteigenschaften in allen Temperaturbereichen
- Mastixprüfung im DSR: Interaktion Bindemittel-Füller auf kleiner, im DSR messbarer Betrachtungsskala

(2) PRÜFUNG VON RHEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Mastixprüfung im DSR als neue Prüfmethodik

- Grundlegendes Konzept des ISBS: Prüfung der Asphaltmastix zur Qualitätskontrolle der Asphaltperformance

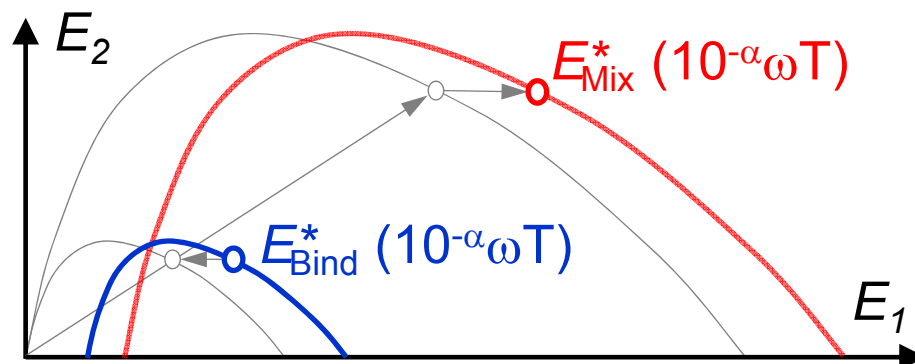


Lackner, R., Blab, R., Jäger, A., Spiegl, M., Kappl, K., Wistuba, M. P., Gagliano, B., Eberhardsteiner, J. 2004. Multiscale modeling as the basis for reliable predictions of the behavior of multi-composed materials. Int J on Progress in Engineering Computational Technology, Saxe-Coburg Publications, ISBN 1-874672-22-9.

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

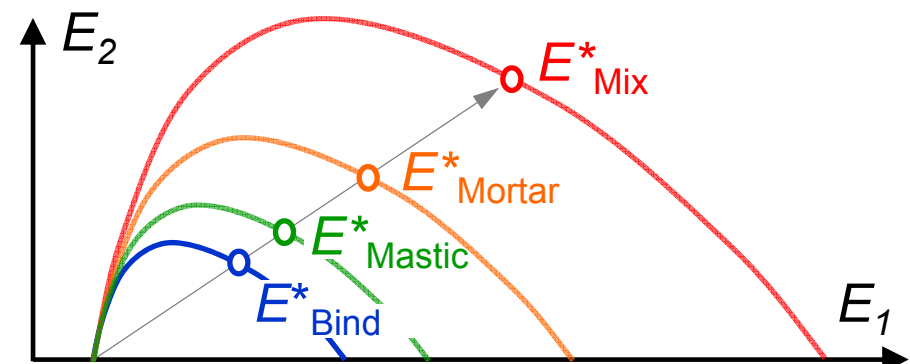
Zusammenhang von Mastix- und Asphalteigenschaften im Bereich linear visko-elastischen Materialverhaltens (LVE Bereich)

Bindemittel & Mischgut



(Olard, F., and Di Benedetto, H. 2003. General "2S2P1D" Model and Relation Between the Linear Viscoelastic Behaviours of Bituminous Binders and Mixes. RMPD, 4/2, 185-224, Taylor & Francis)

Bindemittel & Mastix & Mörtel

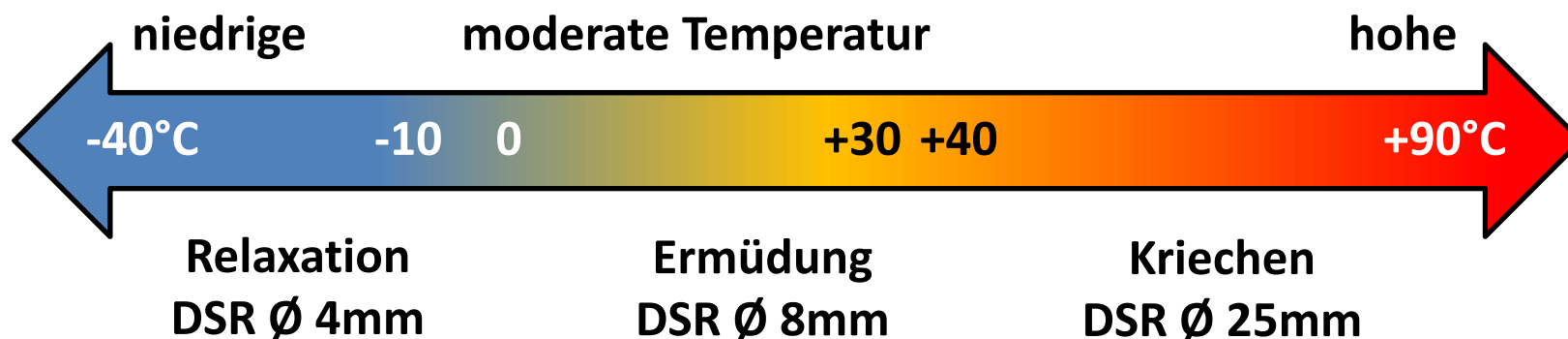


(Riccardi, C., Cannone Falchetto, A., Losa, M. and Wistuba, M. P. 2018. Development of simple relationship between asphalt binder and mastic based on rheological tests. RMPD, 19/1, 18-35, Taylor & Francis)

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

DSR Prüfung der Asphaltmastix

- **Im LVE Bereich:** Schermodul
- **Außerhalb des LVE-Bereichs:**
 - Kriechprüfung bei hohen Temperaturen
 - Ermüdungsprüfung bei moderaten Temperaturen
 - Relaxationsprüfung bei niedrigen Temperaturen



(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

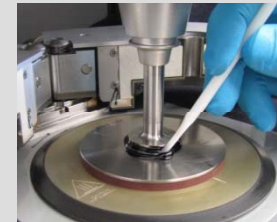
DSR Prüfung der Asphaltmastix

- Relaxationsprüfung bei **niedriger Temperatur**
 - \varnothing 4mm, $h = 3.1 \pm 0.15\text{mm}$
 - 0.1% konstante Scherdeformation
 - Prüftemperatur $T_{G^*(\text{Bindemittel})} = 400 \text{ MPa}$
 - Dauer 60 Minuten
 - Ergebnis: proportionale Spannungsrelaxation nach 60 Minuten
- Ermüdungsprüfung bei **moderaten Temperaturen**
 - \varnothing 8mm, $h = 2\text{mm}$
 - 150kPa anfängliche Scherspannung im Oszillationsmodus, 10 Hz
 - Prüftemperaturen 10°C, 20°C, $T_{G^*(\text{Bindemittel})} = 15 \text{ MPa}$
 - Scherspannungszuwachs um +50 kPa nach jeweils 4000 Lastzyklen
- Kriechprüfung bei **hoher Temperatur**
 - \varnothing 25mm, $h = 1\text{mm}$
 - 0.1kPa Scherspannung
 - Prüftemperatur $T_{G^*(\text{Bindemittel})} = 15 \text{ kPa}$

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

DSR Prüfung der Asphaltmastix

- im LVE Bereich: Schermodul
- Kriechprüfung bei hohen Temperaturen
- Ermüdungsprüfung bei moderaten Temperaturen
- Relaxationsprüfung bei niedrigen Temperaturen



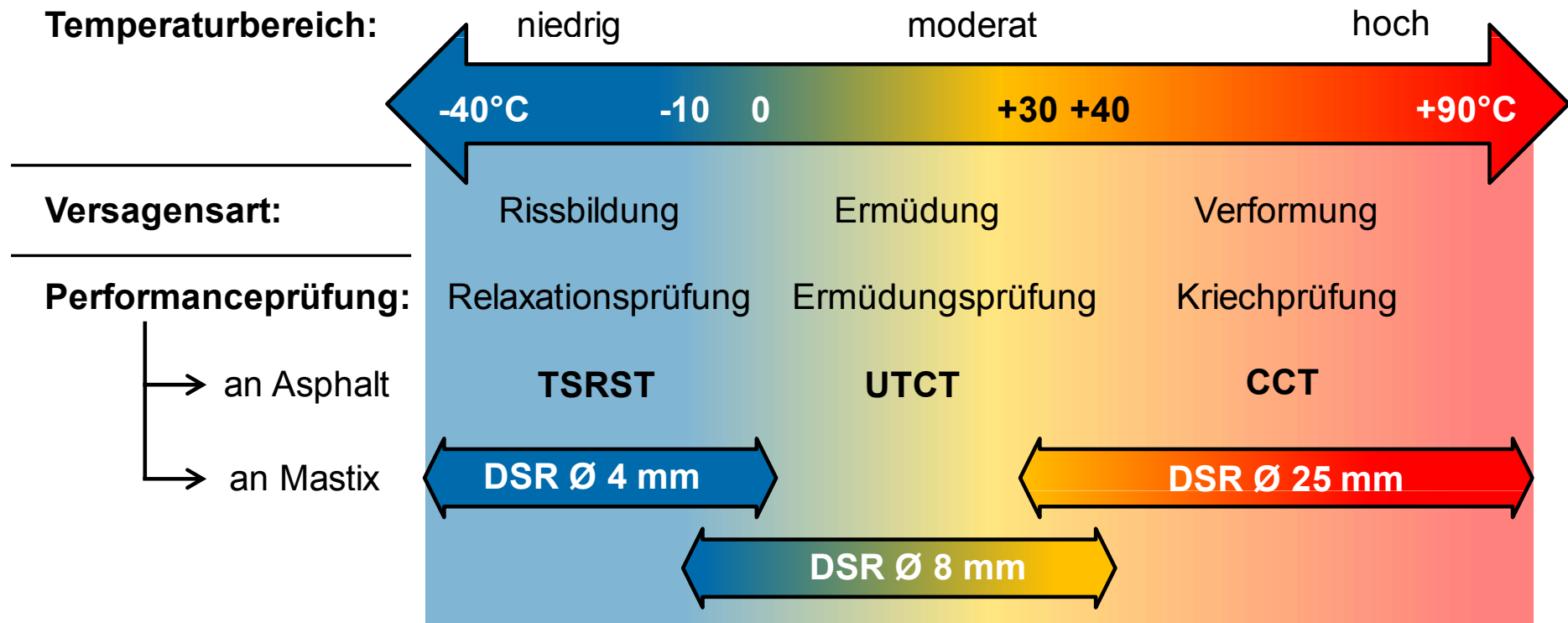
Korrelation?

Performance-Prüfung des Asphalts

- im LVE Bereich: E-Modul
- Kriechprüfung bei hohen Temperaturen
- Ermüdungsprüfung bei moderaten Temperaturen
- Relaxationsprüfung bei niedrigen Temperaturen



(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT



TSRST ... Abkühlprüfung (Tensile Stress Restrained Specimen Test)

UTCT ... Wechsellastversuch (Uniaxial Tension Compression Test)

CCT ... Zyklischer Druckversuch (Cyclic Compression Test)

(Wistuba und Büchner in Forschungsprojekt "VEGAS", Teil TU Braunschweig, unveröffentlicht)

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

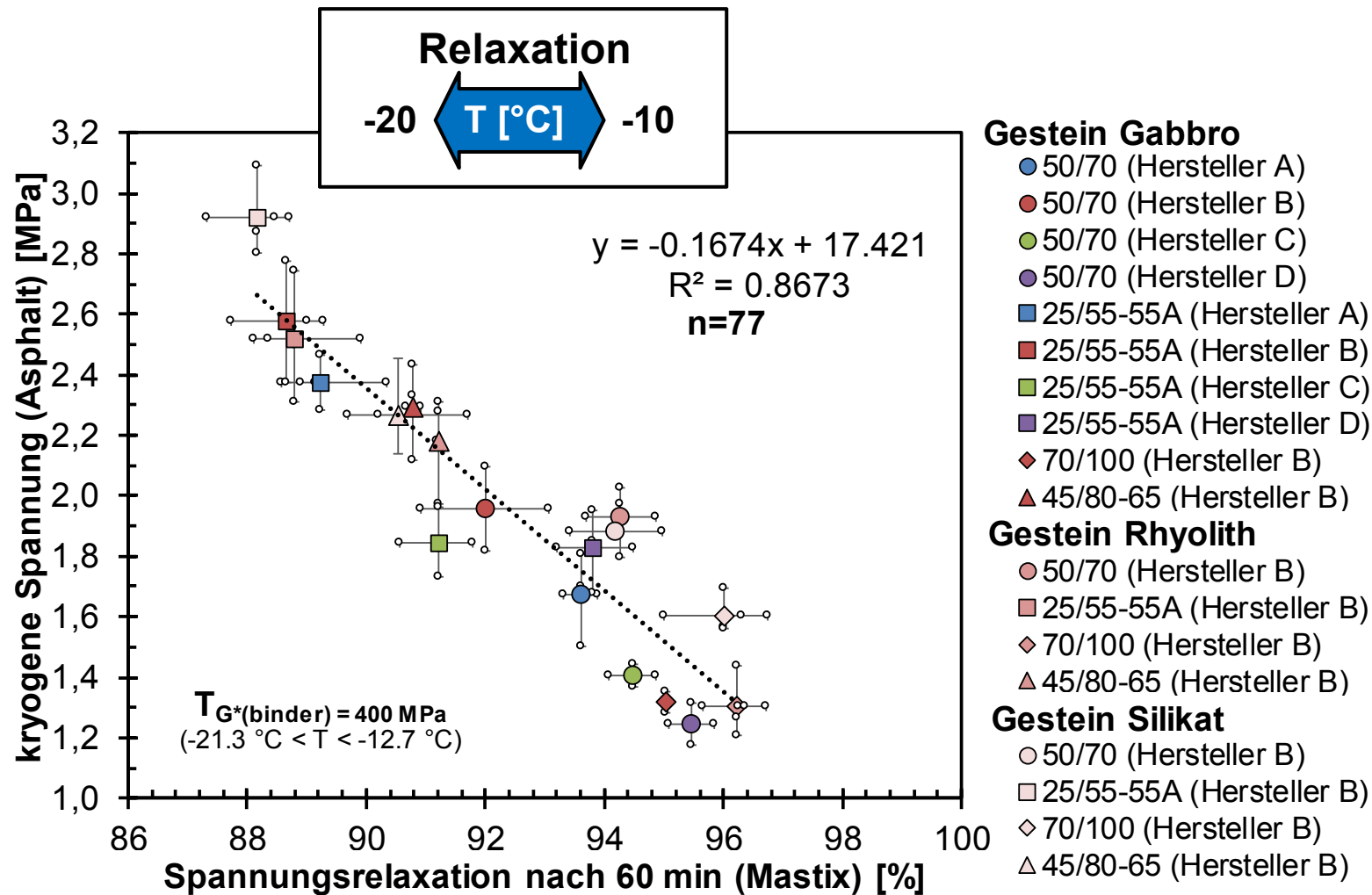
Materialien

Asphaltmischgut AC 11 Varianten	Bitumensorte (Straßenbaubitumen und PmB)		Gesteinsart (Gabbro, Porphy, Silikat)
1	50/70	Hersteller A	Grobe Gesteinskörnung: Gabbro Fremdfüller: Kalkstein Provenienz: Deutschland
2		Hersteller B	
3		Hersteller C	
4		Hersteller D	
5	25/55-55	Hersteller A	
6		Hersteller B	
7		Hersteller C	
8		Hersteller D	
9	70/100	Hersteller B	Grobe Gesteinskörnung: Porphy Fremdfüller: Kalkstein Provenienz: Österreich
10	45/80-65		
11	50/70		
12	25/55-55		
13	70/100		
14	45/80-65		Grobe Gesteinskörnung: Silikat Fremdfüller: Kalkstein Provenienz: Schweiz
15	50/70		
16	25/55-55		
17	70/100		
18	45/80-65		

(Wistuba und Büchner in Forschungsprojekt "VEGAS", Teil TU Braunschweig, unveröffentlicht)

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

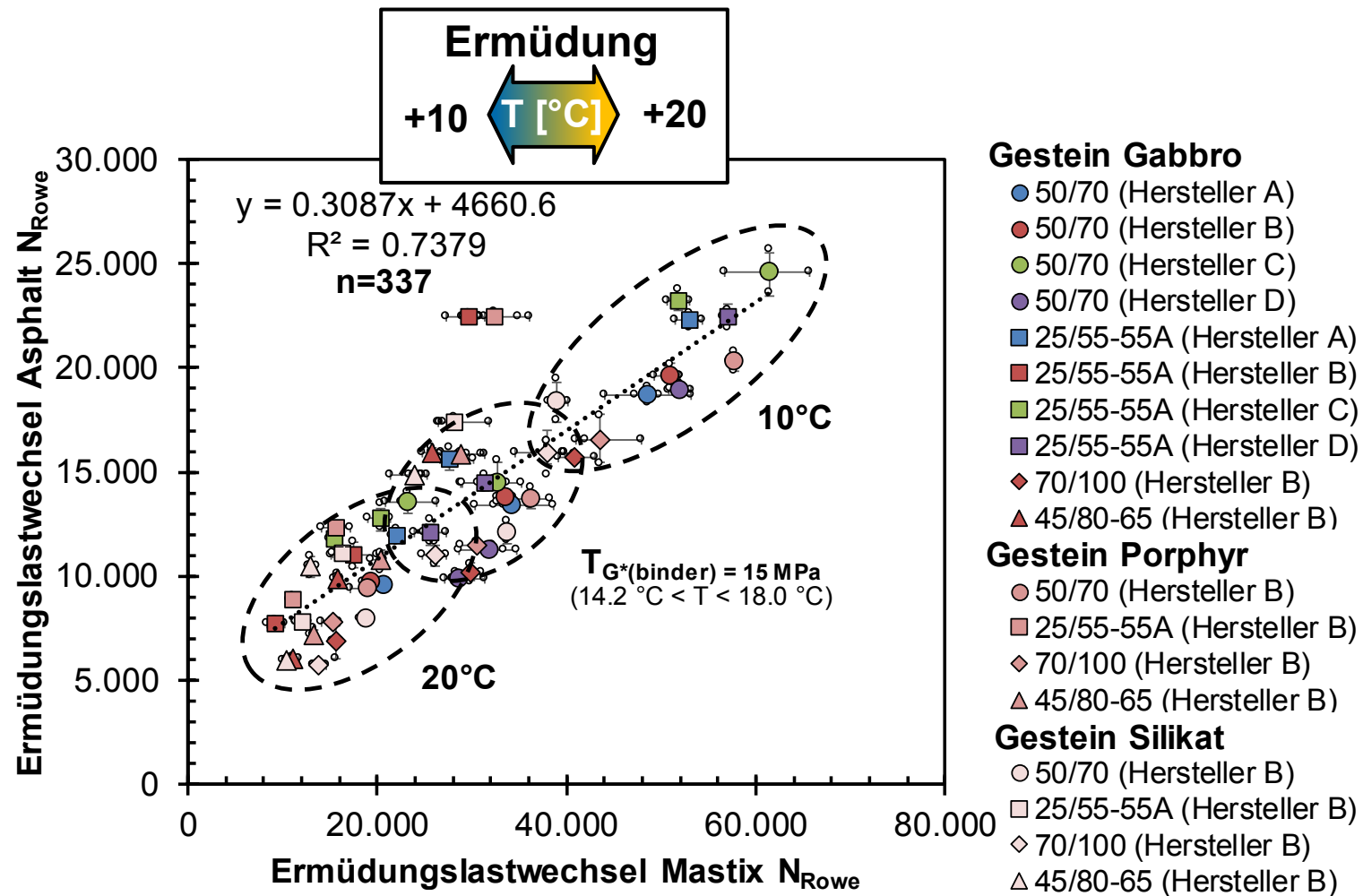
Korrelation Asphaltprüfung (TSRST) und Mastixprüfung (Ø 4 mm)



(Wistuba und Büchner in Forschungsprojekt "VEGAS", Teil TU Braunschweig, unveröffentlicht)

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

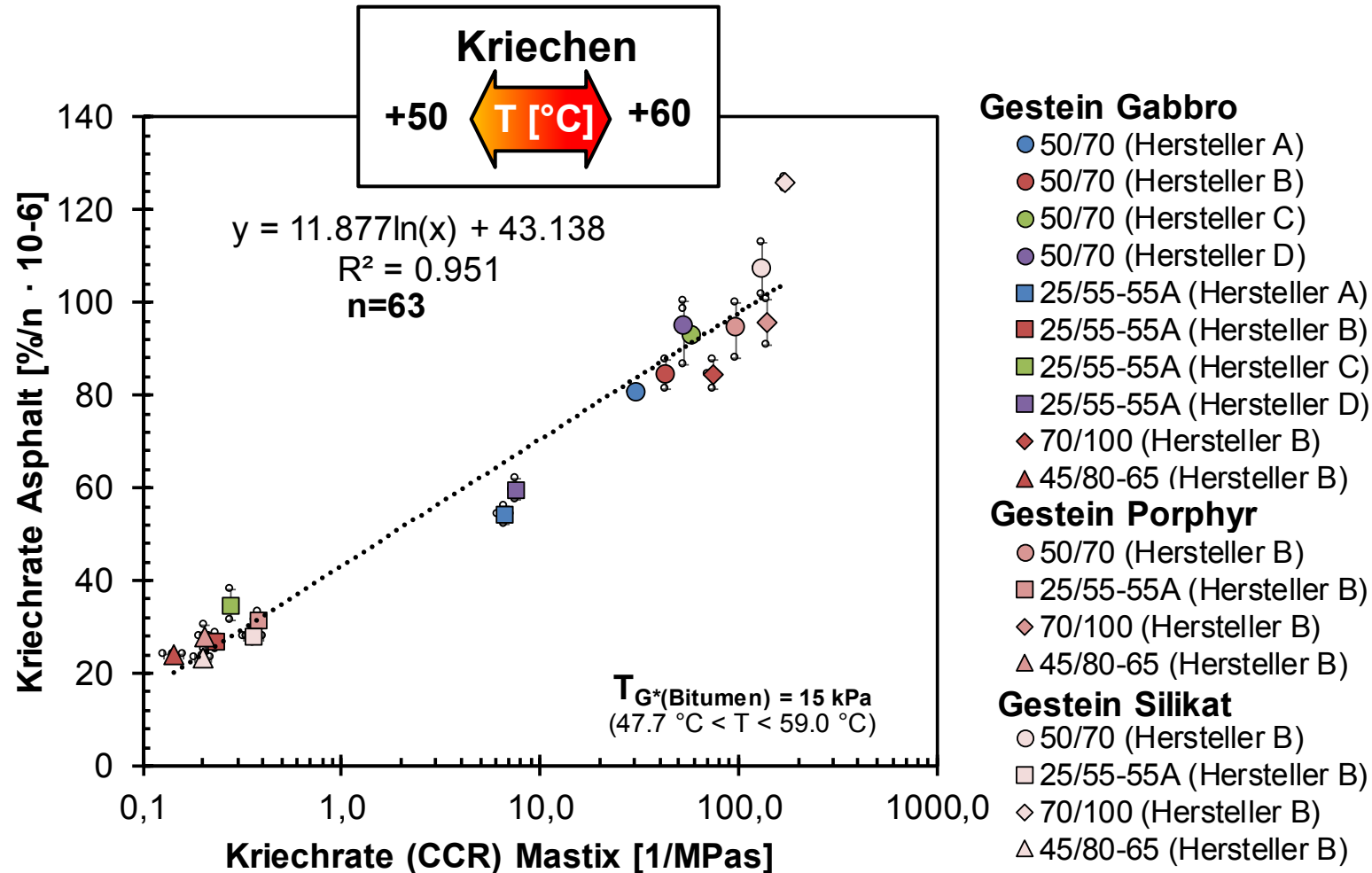
Korrelation Asphaltprüfung (UTCT) und Mastixprüfung (Ø 8 mm)



(Wistuba und Büchner in Forschungsprojekt "VEGAS", Teil TU Braunschweig, unveröffentlicht)

(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

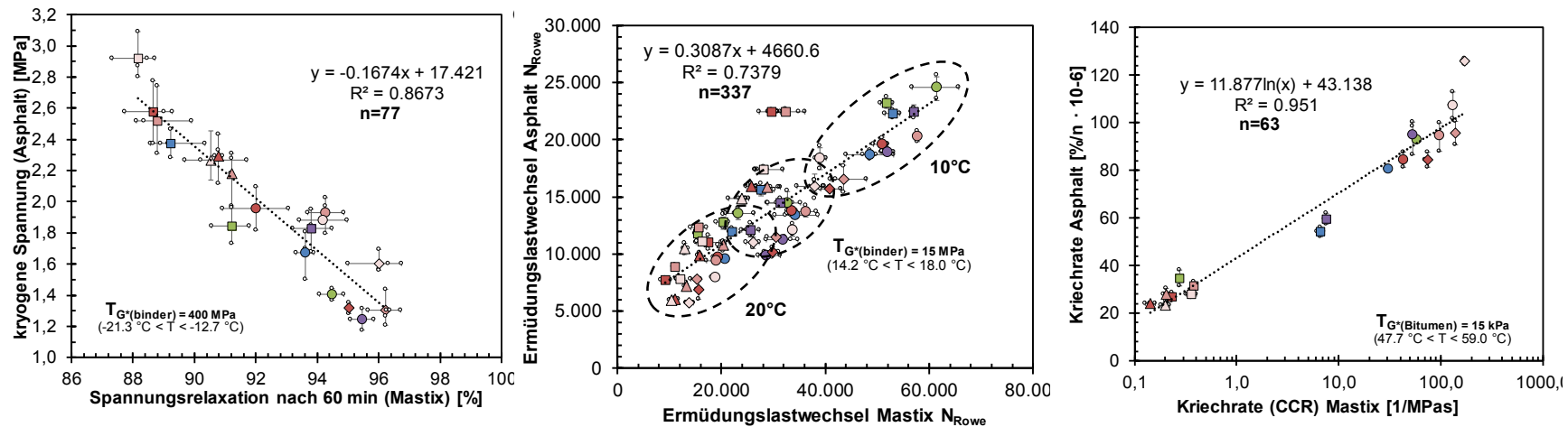
Korrelation Asphaltprüfung (CCT) und Mastixprüfung (Ø 25 mm)



(Wistuba und Büchner in Forschungsprojekt "VEGAS", Teil TU Braunschweig, unveröffentlicht)

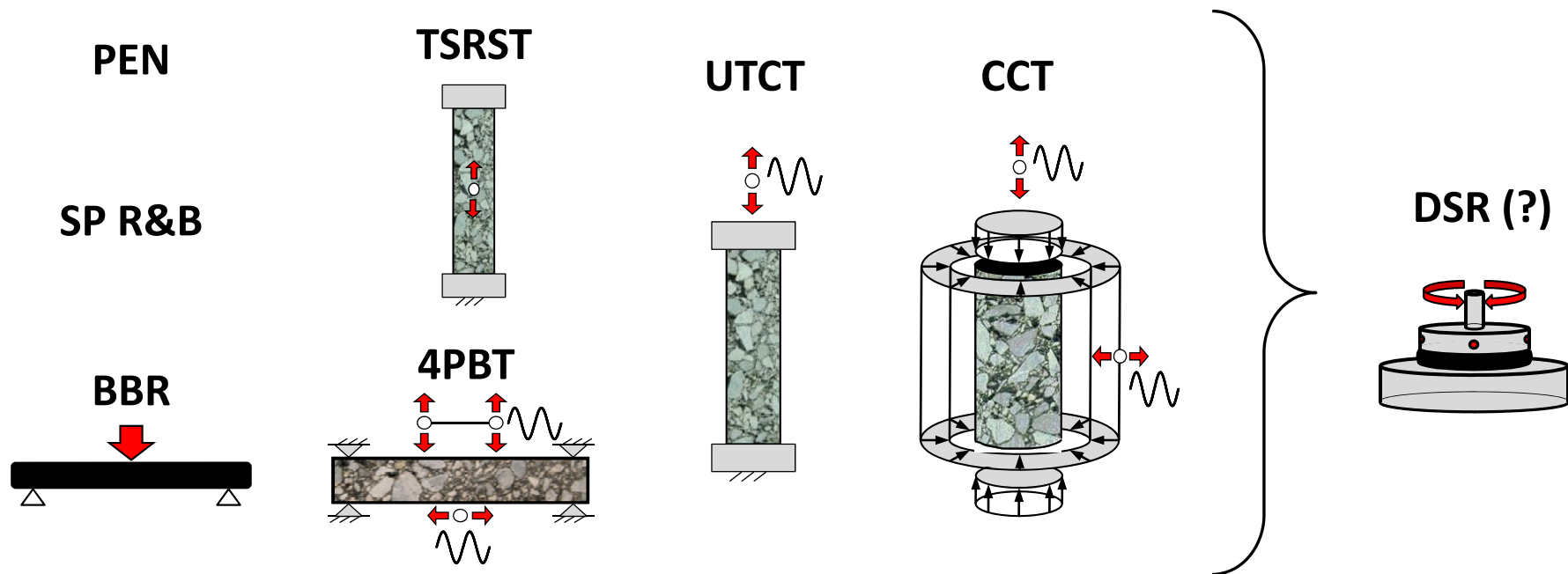
(3) ZUSAMMENHANG VON MASTIX UND MISCHGUT

Bisher erstaunlich gute Korrelationen festgestellt...



- Konventionelle Bitumenprüfungen stoßen bei komplexen Bindemitteln an ihre Grenzen und sollten daher nicht als Vertragsgrundlage dienen.
- Rheologische Bindemittelprüfungen liefern aussagekräftige und physikalisch interpretierbare Kennwerte, die sich deutlich besser zur Materialcharakterisierung eignen.
- In Europa beginnt sich das Dynamische Scherrheometer (DSR) als zukunftsfähiges Messgerät zu etablieren.
 - Zur Bindemittelklassifikation wird zunehmend das BTSV eingesetzt. Anforderungen an BTSV-Kennwerte für Frischbindemitteln sind in Erprobung.
 - Zur Analyse des Gebrauchsverhaltens ist am ISBS eine neue Prüfsystematik in Erprobung. Bisherige DSR-Ergebnisse für Mastix korrelieren über alle Temperaturbereiche gut mit den Ergebnissen aus Performance-Prüfungen an Asphalt.

Die DSR-Prüfung liefert bisher sehr aussagekräftige Ergebnisse...



VIELEN DANK FÜR IHR INTERESSE!

Fragen?
m.wistuba@tu-bs.de