



**Technische
Universität
Braunschweig**



**Institut für Straßenwesen
TU Braunschweig**



Von der Bitumen- zur Asphalt-Performance

Johannes Schrader, 16.01.2017, Straßenbau Aktuell, Braunschweig

Asphalt-/Bitumenperformance

„**Performance**“: Leistungsfähigkeit in Hinblick auf die Zweckerfüllung

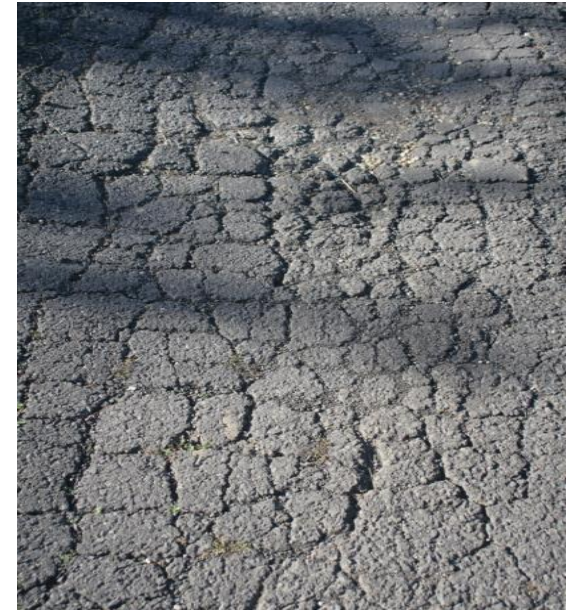
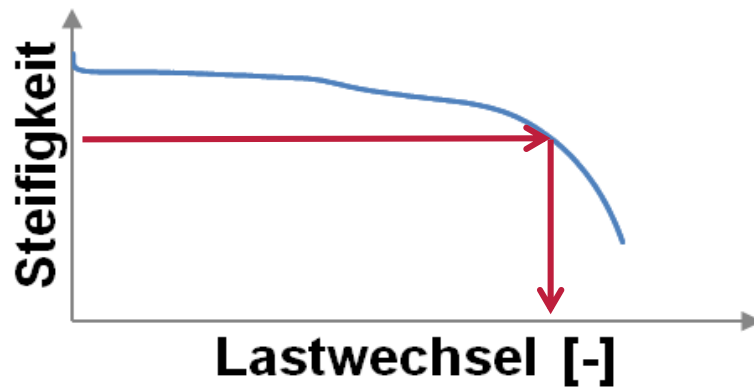
- Unterschiedliche temperaturabhängige Beurteilungskonzepte
 - Hohe Temperatur → Verformungsbeständigkeit
 - Mittlere Gebrauchstemperatur → Ermüdungsbeständigkeit
 - Tiefe Temperatur → Relaxationsvermögen
- Untersuchung über gebrauchsverhaltensorientierte Prüfungen im Labor
 - **Asphaltebene:** etablierte und genormte Prüfverfahren
 - **Bitumenebene:** neue Prüfverfahren (in Entwicklung)

Von der Bitumen- zur Asphaltperformance:

- Möglicher Zusammenhang zwischen Bitumenperformance und Asphaltperformance
- Abschätzung der Asphaltperformance durch Performanceprüfungen am Bitumen
 - Einfluss unterschiedlicher Materialien (Bitumen, Füller) und deren Qualitäten

Materialermüdung

- **Materialermüdung:** langsam fortschreitende Schädigung eines Werkstoffs unter sich wiederholenden Belastungen
 - Abfall von Steifigkeit und Festigkeit



- Ermüdungserscheinungen sind durch wiederholte Überfahrungen wesentliches Kriterium für Lebensdauer und damit Leistungsfähigkeit (Performance) einer Asphaltbefestigung
 - **Ermüdungsprüfungen an Bitumen, Bitumenmastix und Asphalt**

Ergebnis: Lastwechselzahl bis zum Erreichen des Ermüdungskriteriums

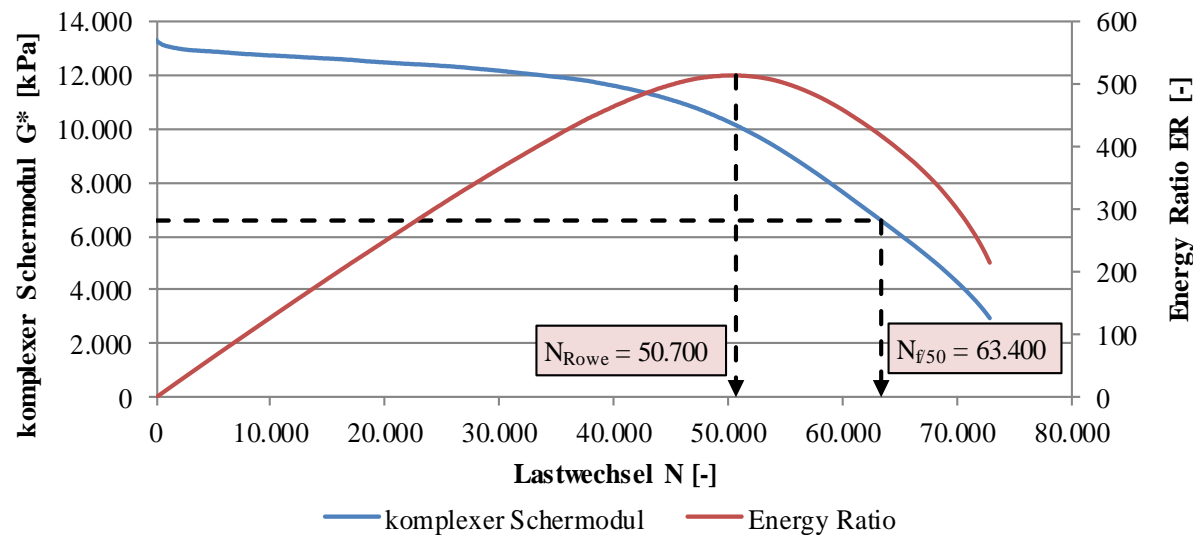
Materialien und Varianten

- 6 lieferfrische Straßenbaubitumen, 2 unterschiedliche Füller (Kalkstein, „kritischer“ Füller)
- 12 Bitumen-Füller-Gemische (Bitumenmastix) im Verhältnis 1:1
- 12 Asphaltvarianten AC 11 D S
 - Herstellung von Probenplatten im Walzsektor-Verdichtungsgerät
 - Bohren geeigneter Asphaltprobekörper (d = 100 mm)

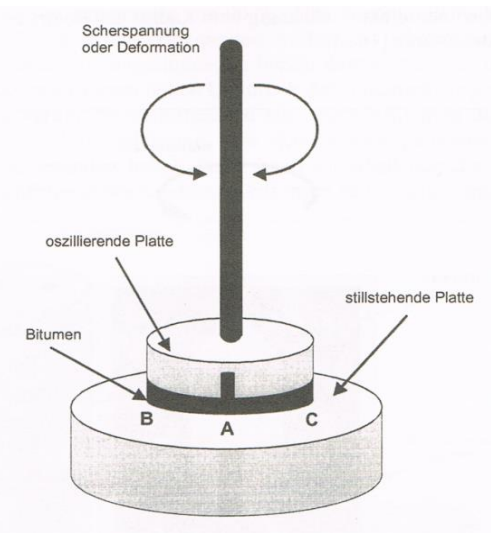
Bitumenvariante	Bitumensorte	Ohne Zusatz	Bitumenmastixvariante		Asphaltvariante	
			Kalksteinfüller	Kritischer Füller	Kalksteinfüller	Kritischer Füller
Variante 1	50/70 Hersteller 1	V1-1	V1-2	V1-3	V1-2	V1-3
Variante 2	50/70 Hersteller 2	V2-1	V2-2	V2-3	V2-2	V2-3
Variante 3	50/70 Hersteller 3	V3-1	V3-2	V3-3	V3-2	V3-3
Variante 4	50/70 Hersteller 4	V4-1	V4-2	V4-3	V4-2	V4-3
Variante 5	Propanbitumen Hersteller 1	V5-1	V5-2	V5-3	V5-2	V5-3
Variante 6	50/70 (Propanbitumen, 160/220) Hersteller 1	V6-1	V6-2	V6-3	V6-2	V6-3

Ermüdungsprüfung im DSR

- Oszillierende Beanspruchung einer Probe zwischen zwei parallelen Platten
- Dauerhafte Beanspruchung bis zum Versagen des Probekörpers
 - Aufzeichnung des komplexen Schermoduls G^*

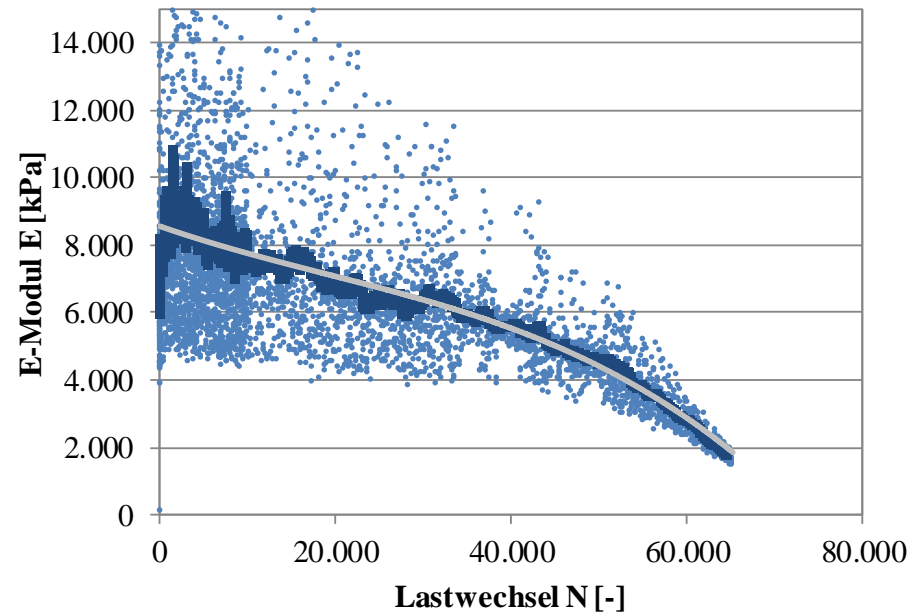
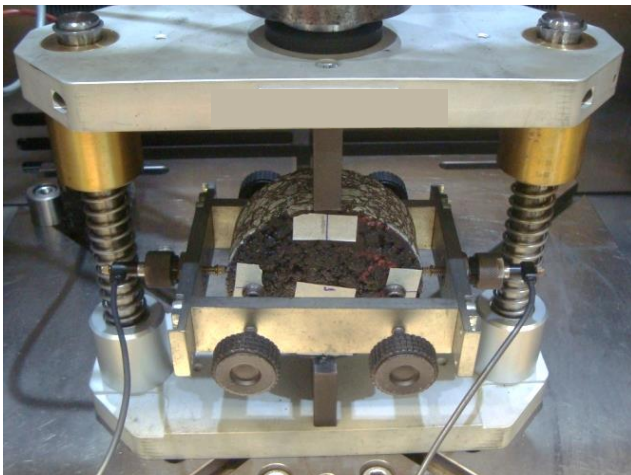
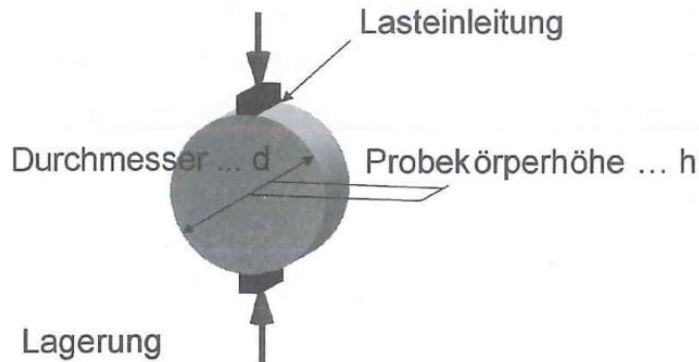


- Konventionelles Ermüdungskriterium: 50% Abfall der Steifigkeit
- Ermüdungskriterium nach Rowe: Maximum des Energy Ratio



Ermüdungsprüfung im Spaltzug-Schwellversuch

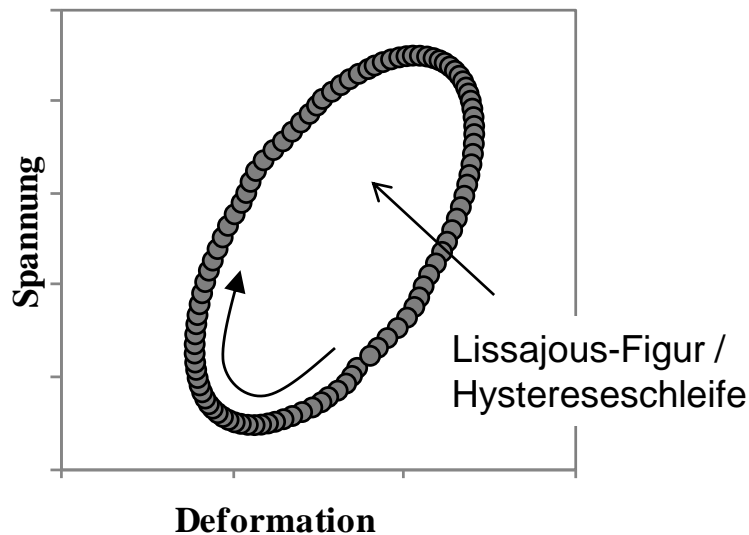
- Zylindrische Asphaltprobekörper werden über die Mantelfläche belastet
- Definierte sinusförmige Druck-Schwellbelastung bis zum Auftreten eines Ermüdungsrisses
 - Aufzeichnung des Elastizitätsmoduls E



- Messwerte E-Modul
- gleitender Mittelwert
- Polynomregression 3. Ordnung

Auswertung von Performance-Prüfungen

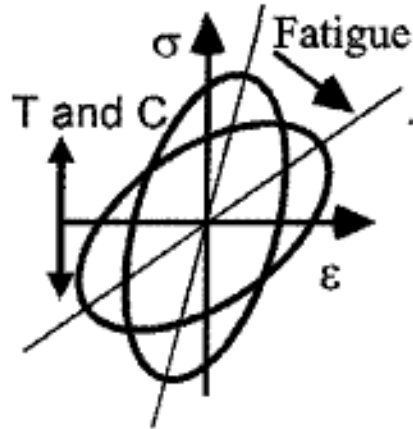
- Energiedissipation: **Dissipierte Energie** = jene energetischen Anteile, die in einem Belastungs-Entlastungszyklus verbraucht werden:
 - Wärmeerzeugung
 - mechanische Verschiebung
 - Rissbildung
 } wesentliche Änderung der dissipierten Energie =
 wesentliche Änderung der mechanischen
 Eigenschaften (vgl. Di Benedetto et al.)
- **Dissipierte Energie:** Fläche innerhalb der Belastungs-Entlastungskurve
 - Spannungs-Dehnungsverlauf während eines sinusförmigen Belastungszyklus



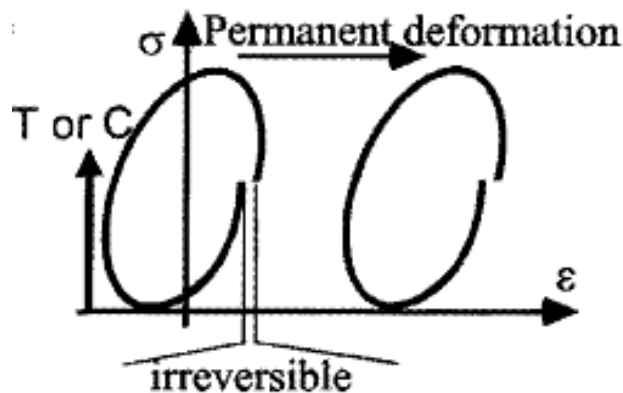
- Analyse der Materialeigenschaften durch Auswertung der dissipierten Energie bzw. der Hystereseschleifen
- Differenzierung der unterschiedliche Anteile inkrementeller Schädigung (Materialermüdung, plastische Verformung)

Formveränderung der Hystereseschleife

- Analyse der Materialeigenschaften durch Formänderung der Hystereseschleifen



Rotation → Ermüdung
z.B. Netzrissbildung



Horizontalverschiebung
→ plastische Verformung
z.B. Spurbildung



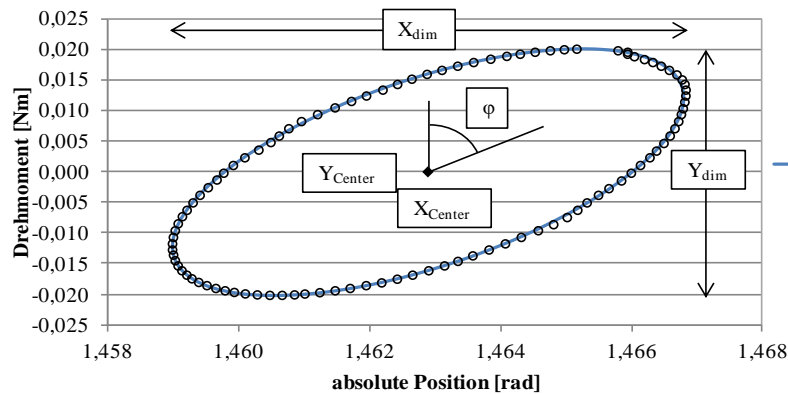
[Di Benedetto et al., 2004]

[Wistuba et al., 2013]

- mit geeigneten Prüfparametern reine Ansprache Ermüdung sicherstellen

Wahl von geeigneten Prüfparametern

- Voruntersuchungen am ISBS → Entwicklung des Ermüdungsparameters EP(40)
 - Kennwert für die plastische Verformung während einer Ermüdungsprüfung



- Rohdaten
- Ellipse
- ◆ Mittelpunkt

$$EP(i) = \frac{\sum_{i=1}^n |X_{Center}(i) - X_{Center}(i-1)|}{i} \cdot 10^6$$

- Prüfparameter zur sicheren Ansprache der Ermüdungseigenschaften:

EP-Bereich		Farbe	Bedeutung
von	bis		
EP <	30	Green	Gute Ansprache der Ermüdungseigenschaften
30	≤ EP < 50	Yellow	Mäßige Ansprache der Ermüdungseigenschaften
50	≤ EP	Red	Mangelhafte Ansprache der Ermüdungseigenschaften
n.a.		Blue	Keine Auswertung möglich, da der Schermodul nicht um 40 % abfällt
Verfälschte Werte		Grey	Ermüdungsprüfungen aus Tabelle 8 und Tabelle 9, die nicht ausgewertet werden

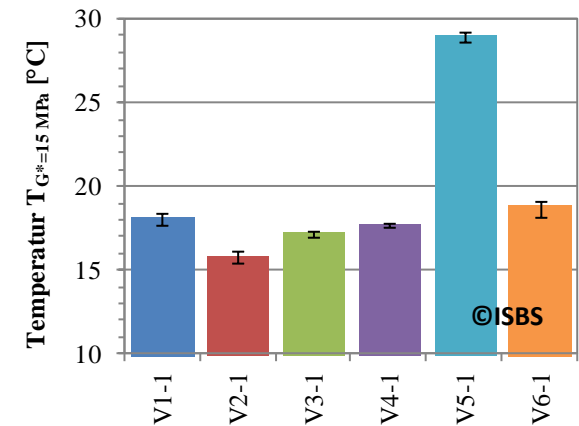
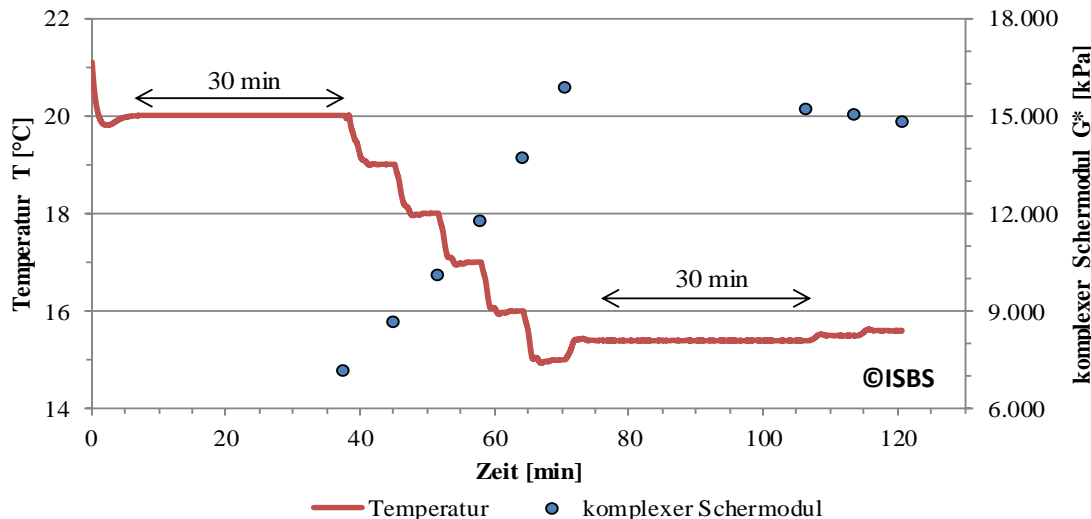
Temperatur	Frequenz	Scherspannung	Anfangssteifigkeit
15 °C	10 Hz	200 kPa	15.000 kPa

- Niedrigere Temperaturen/höhere Steifigkeit → sehr lange Prüfdauer
- Höhere Temperaturen/niedrigere Steifigkeit → hohe Verformungsanteile

Ermittlung von äquivalenten Prüfbedingungen

- Vergleichbarkeit von Ermüdungsprüfungen bei gleicher Steifigkeit der Materialien
 - Ermittlung von Äqui-Modultemperaturen $T_{G^*=15 \text{ Mpa}}$
- Prüfprozedur im DSR zur Annäherung in kleiner werdenden Temperaturschritten

Platten-durchmesser	Plattenabstand	Temperatur	Spannung	Frequenz
8 mm	1 mm	stufenweise geändert	200 kPa	10 Hz

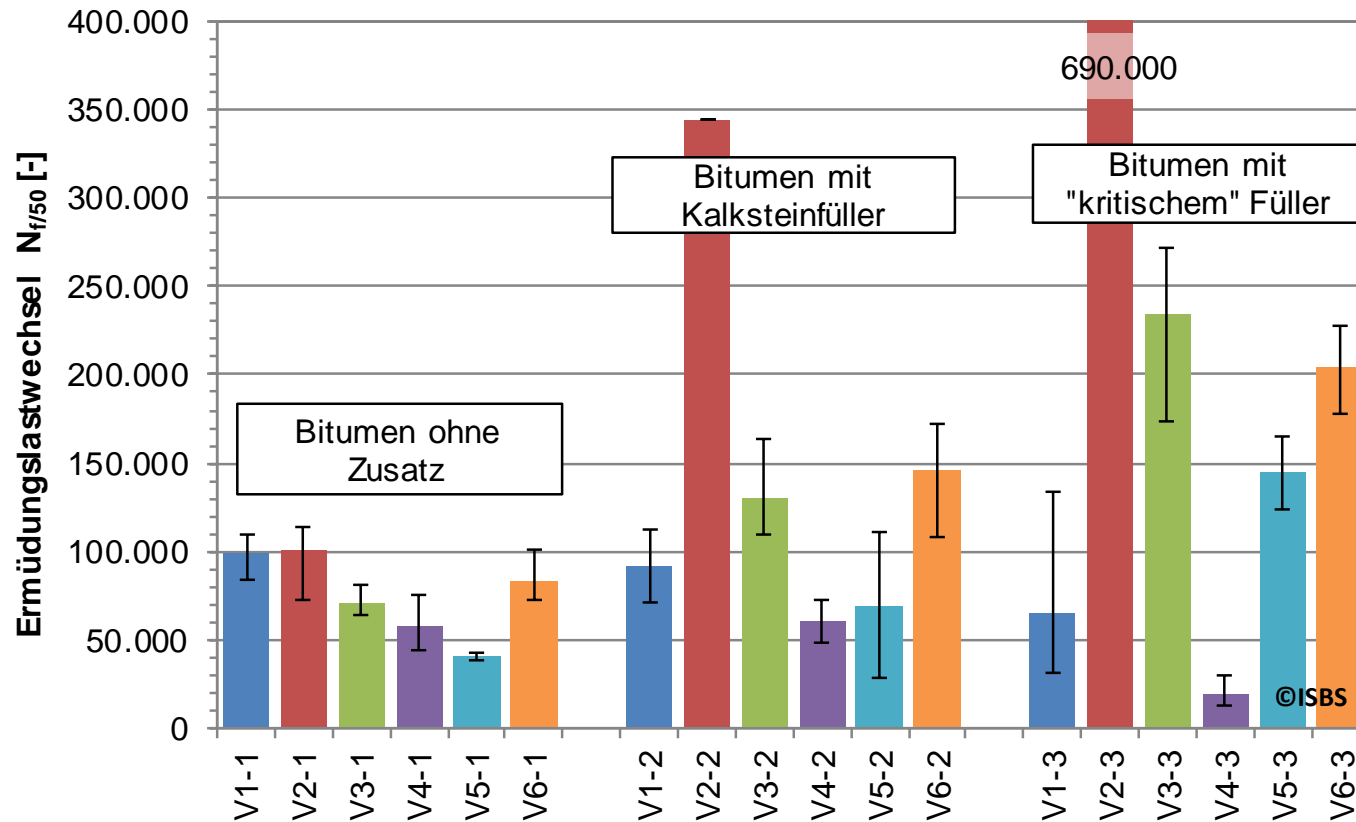


- Äqui-Modultemperaturen führen zu vergleichbaren rheologischen Materialeigenschaften
- Verwendung gleicher Temperaturen je Bindemittelvariante für Ermüdungsprüfung an Bitumen, Bitumenmastix, Asphalt

Ermüdungsbeständigkeit Bitumen/Bitumenmastix

- Jeweils vier Ermüdungsprüfungen an den Bitumen- und Bitumenmastixvarianten im DSR

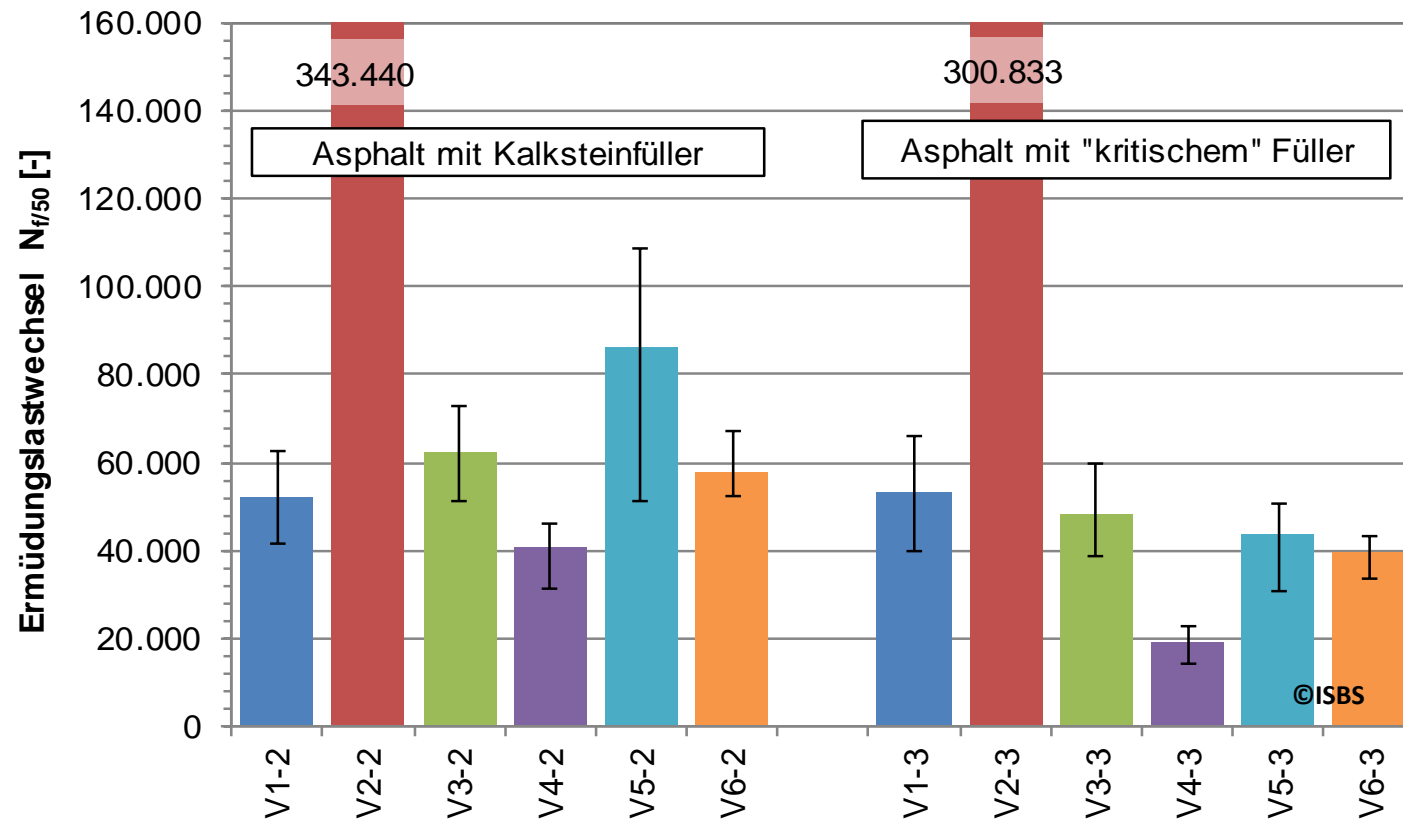
Platten- durchmesser	Plattenabstand	Temperatur	Spannung	Frequenz
8 mm	1 mm / 2 mm	$T_{G^*=15 \text{ MPa}}$	200 kPa	10 Hz



Ermüdungsbeständigkeit Asphalt

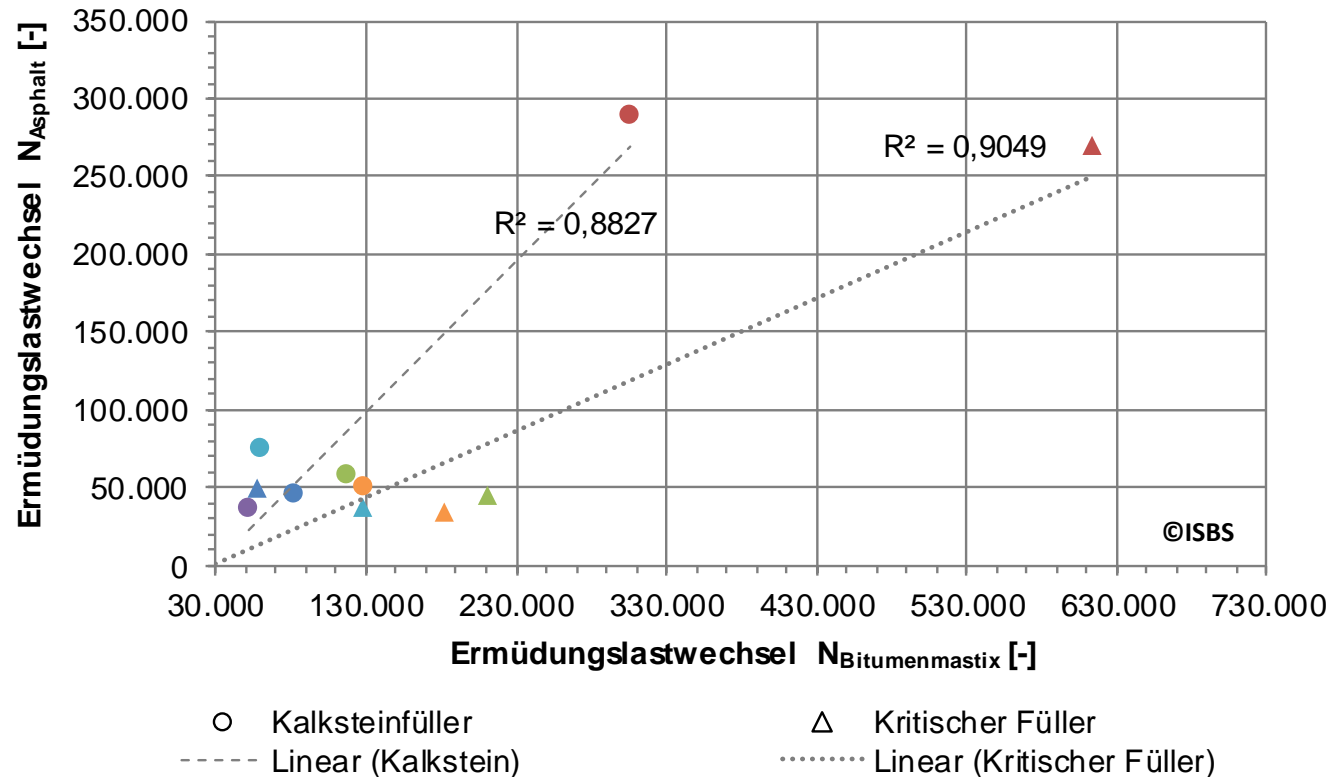
- Jeweils drei Ermüdungsprüfungen an den Asphaltvarianten im Spaltzug-Schwellversuch

Proben- durchmesser	Probenhöhe	Temperatur	Oberspannung	Frequenz
100 mm	40 mm	$T_{G^*}=15 \text{ MPa}$	200 kPa	10 Hz



Korrelation der Prüfverfahren

- Zusammenhang zwischen Ermüdungswiderständen von Bitumenmastix und Asphalt
 - Korrelation über Trendlinie



- Ermüdungsverhalten von Asphalt wird wesentlich durch Bitumenmastix bestimmt

Zusammenfassung und Ausblick

Bitumenperformance

- Anwendung des DSR zum Vergleich der Performance von ähnlichen Bitumen
 - Äquivalente Prüfbedingungen sichern Vergleichbarkeit
 - Spezifikation der Bitumen gibt keinen Rückschluss auf Gebrauchsverhalten

Von der Bitumenmastix- zur Asphaltperformance

- Das Gebrauchsverhalten von Asphalt wird wesentlich durch die Bitumenmastix bestimmt
 - Eignungsbewertung von Bitumen-Füller-Gemischen
 - Entwicklung einer technisch optimalen Asphaltmischgutrezeptur
 - Verlängerung der Lebensdauer
 - Ableitung von Prüfbedingungen für Asphaltprüfungen
 - Bedarf von Asphaltprüfungen kann reduziert werden

Ausblick

- Übertragung der Erkenntnisse auf modifizierte und gealterte Bitumen
- Untersuchung des Verformungs- bzw. Tieftemperaturverhaltens