



**Technische
Universität
Braunschweig**

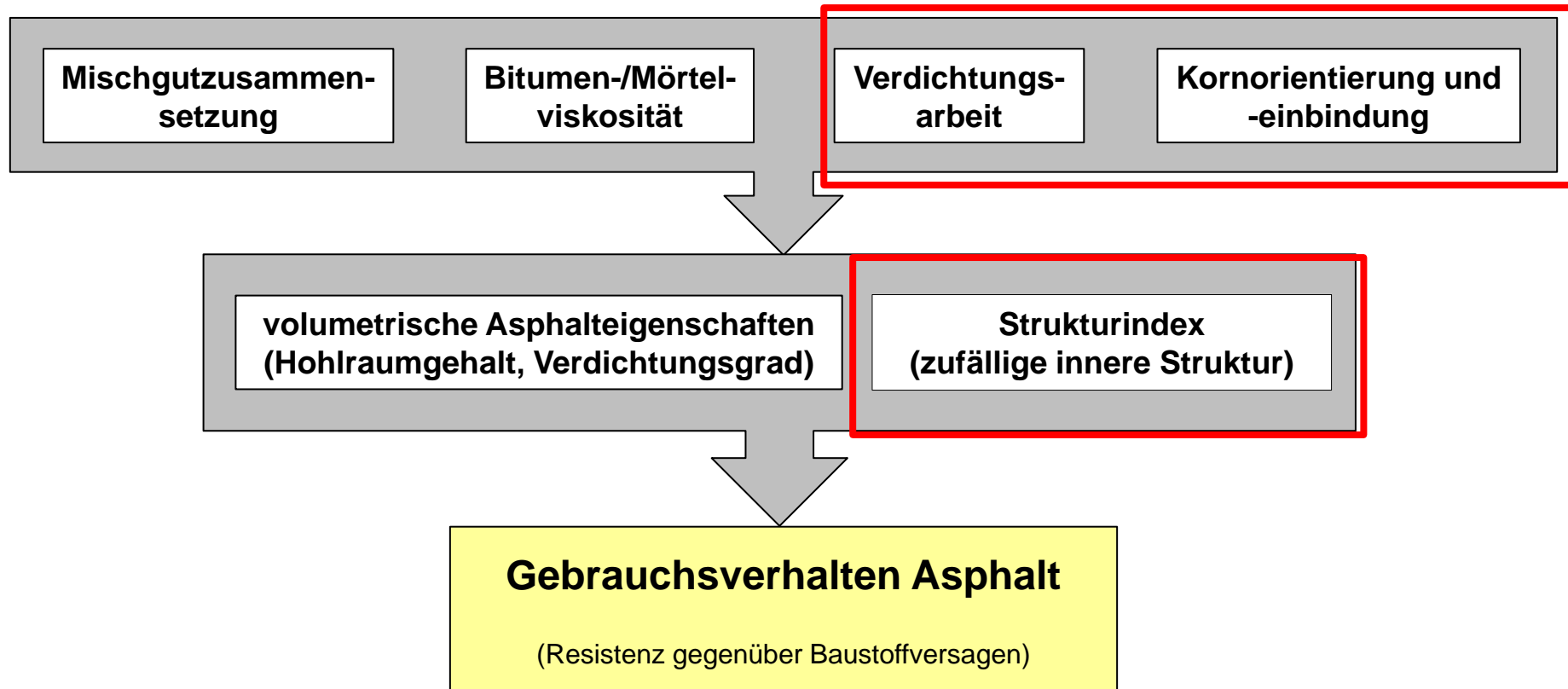


**Institut für Straßenwesen
TU Braunschweig**

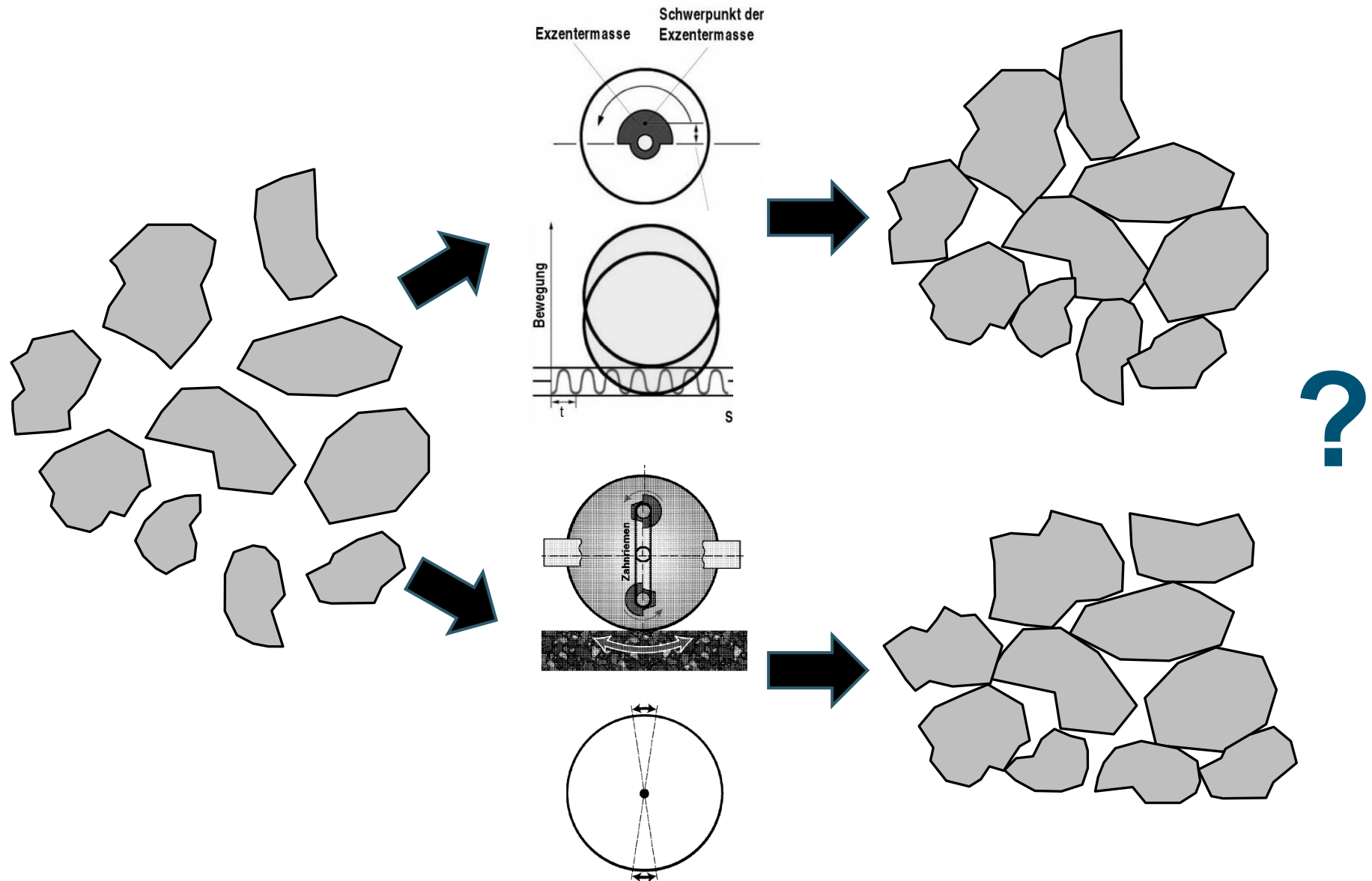


Einfluss der Asphaltstruktur auf das Gebrauchsverhalten

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jens Grönniger

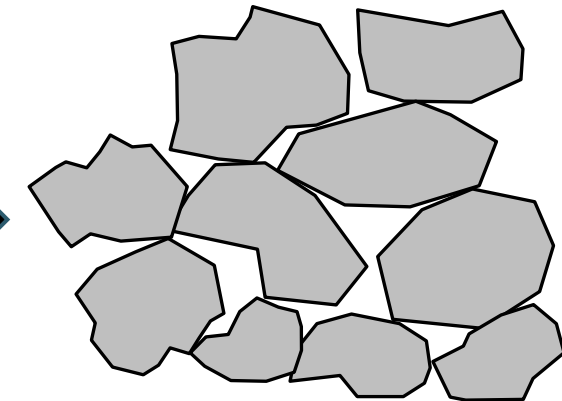
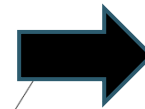
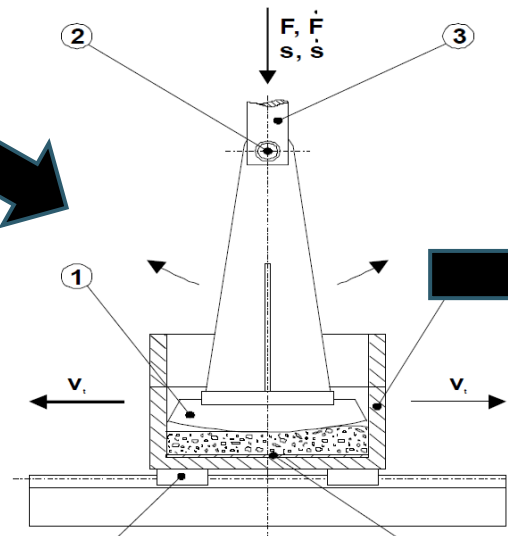
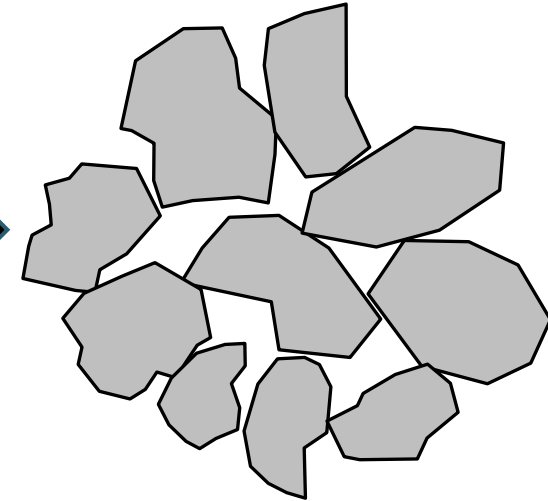
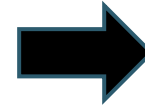
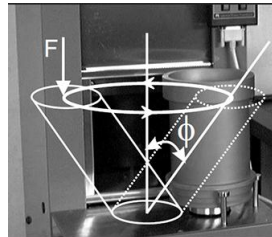


Verdichtungsart - Struktur





Verdichtungsart - Struktur

Yue und Morin (1996)
Hunter et al. (2004)
Hamzah et al. (2013)
RILEM TG2 Study (Mix Design & Compaction)



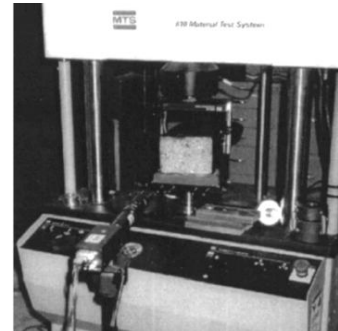
Einfluss Verdichtung auf Asphaltstruktur [RILEM – TG2 Study]

Verdichtungsmethode	Mixture	Anzahl Kontaktpunkte	Σ Kontaktlängen
Hveem	UC Davis_VCB Rilem TG2 #5	68.8	49.1
Gyrator	Michigan Tech_TG2-MTU	115.4	80.5
Walzsektor	TU Braunschweig_GSC1	80.4	87.5
Marshall	AIT_TG2-UWI	112.8	94.3
LCPC	F10	152.8	84.9
LCPC	F20 – Wheel path	236.4	166.1

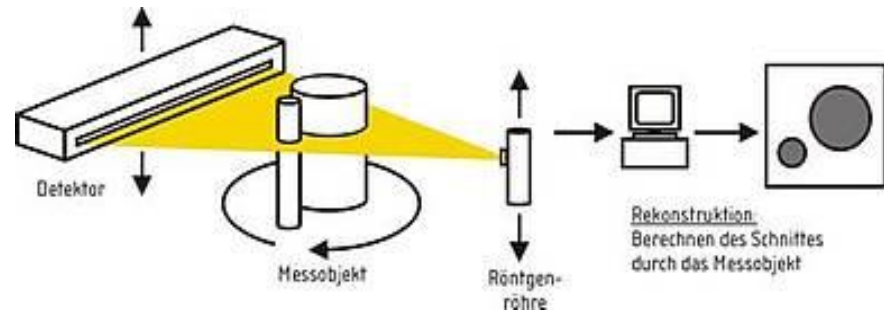
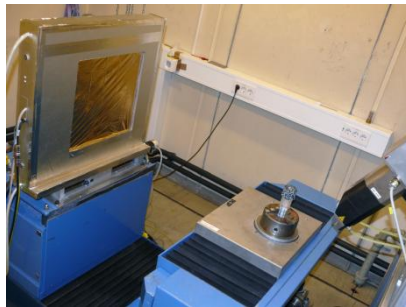
Bildanalysetechniken: Bilderfassung

Destruktive
Variante

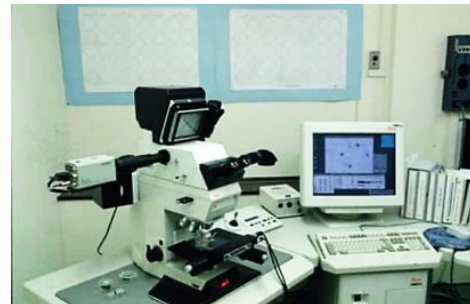
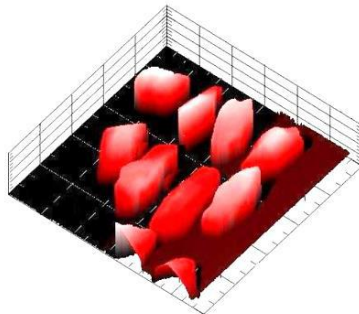


1. *Bilderfassung*
2. *Bildverarbeitung*
3. *Bildanalyse*

Zerstörungsfreie
Variante



Bilderfassung
einzelner Partikel



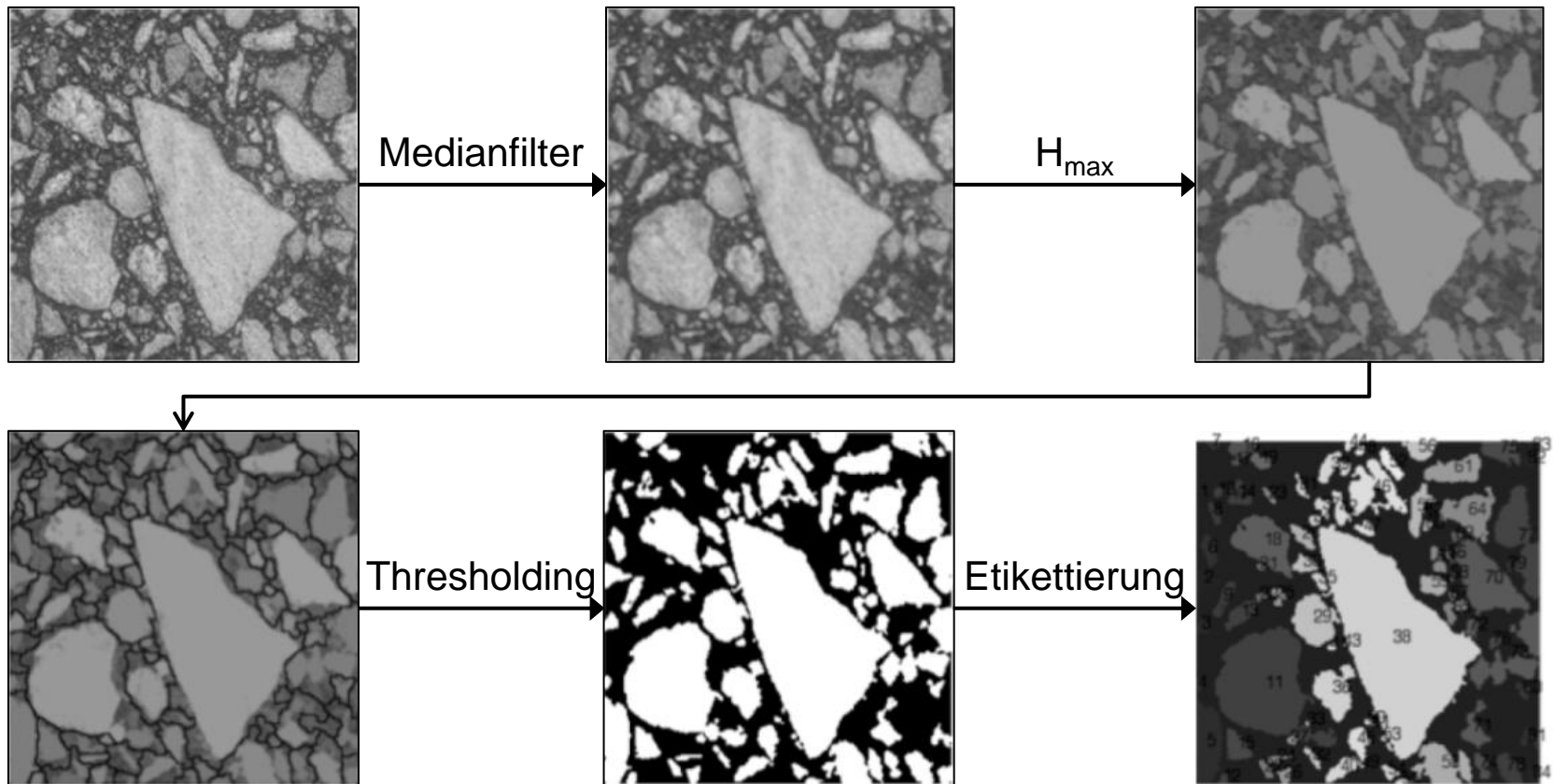
Bildanalysetechniken: Bilderverarbeitung

8-Bit-Graustufenkonvertierung

- ($2^8 = 256$ Grauwerte)
- 0 = Schwarz
- 255 = Weiß

Original in 8 Bit

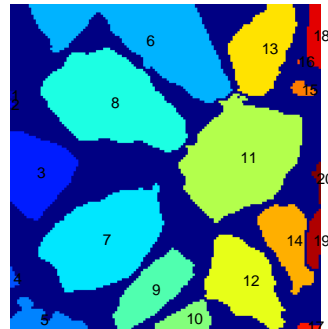
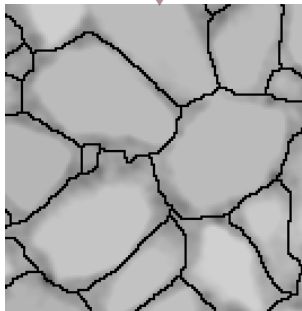
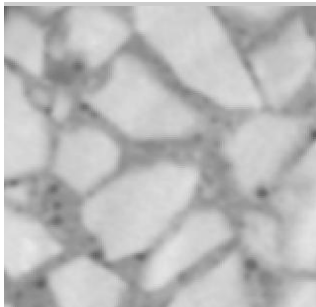
1. *Bilderfassung*
2. *Bildverarbeitung*
3. *Bildanalyse*



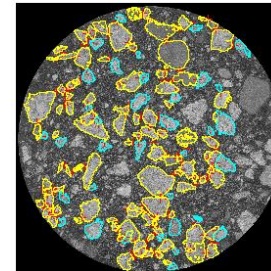
Watershed

Digitale Bildanalyse

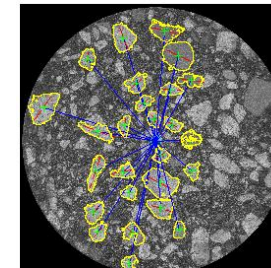
(1) Image processing



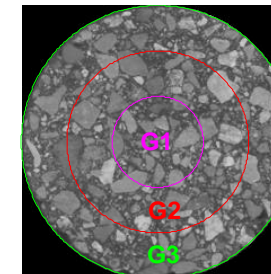
(2) Image analysis



Kontaktpunkte



Orientierung



Verteilung

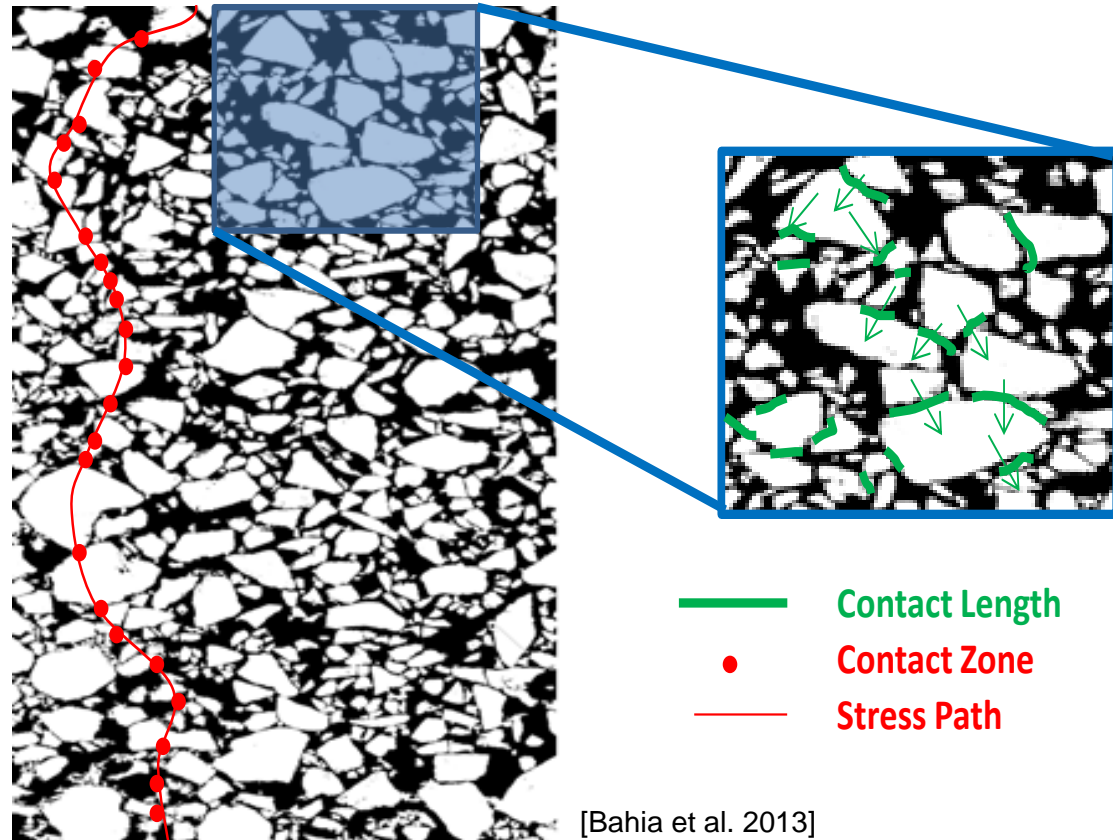
[Bahia et al. 2013]

iPas1 / iPas2 (Image Processing and Analysis Software)

[Wisconsin-Madison and Michigan State University]

mittels Bildanalyse:

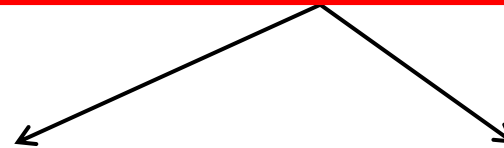
- Anzahl der Kontaktpunkte
- Σ der Kontaktlängen
- Orientierung der Kontaktflächen
- Räumliche Verteilung der Kontaktflächenorientierung



[Bahia et al. 2013]

Asphaltherstellung mit 4 Bitumenvarianten

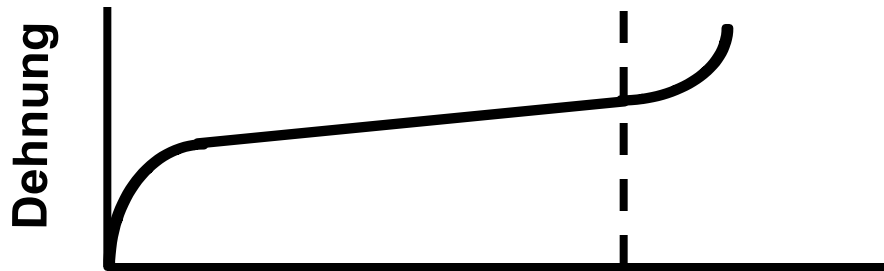
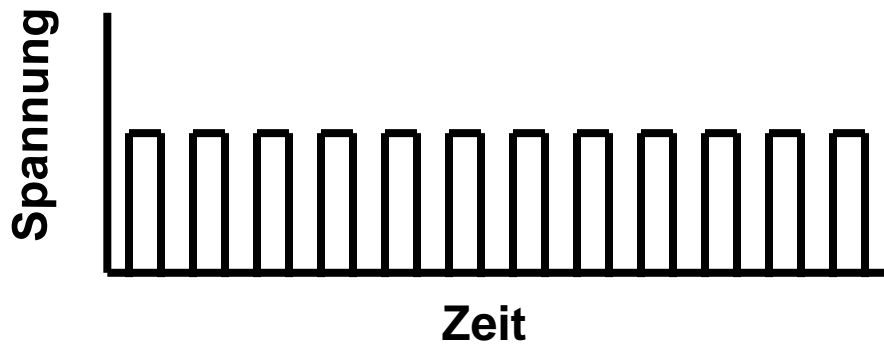
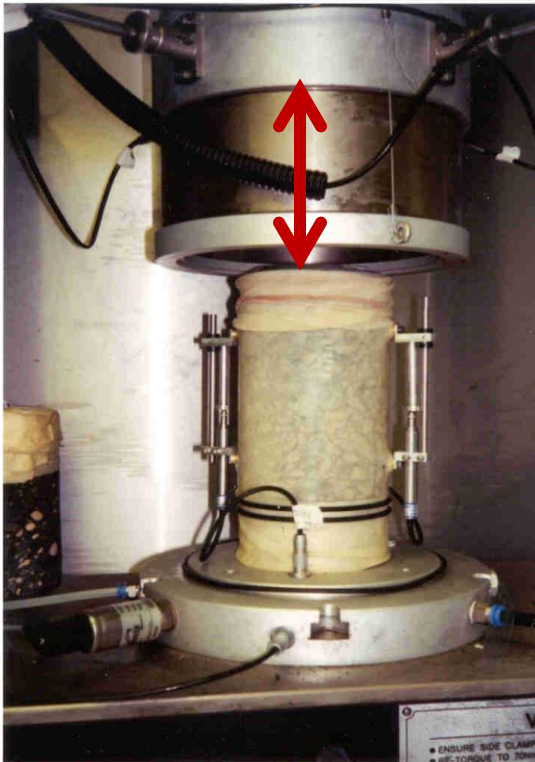
Modifizierte Bitumen mit vergleichbaren rheologischen Eigenschaften



Bitumen	Zugabe- anteil	PG Grade (°C)	Jnr (1/kPa) 70 °C, 3,2 kPa
frisch	0	66,2	4,42
Elastomer – x	x	77,9	0,84
Plastomer	1,5x	78,1	0,79
GTR	2,5x	77,9	1,00

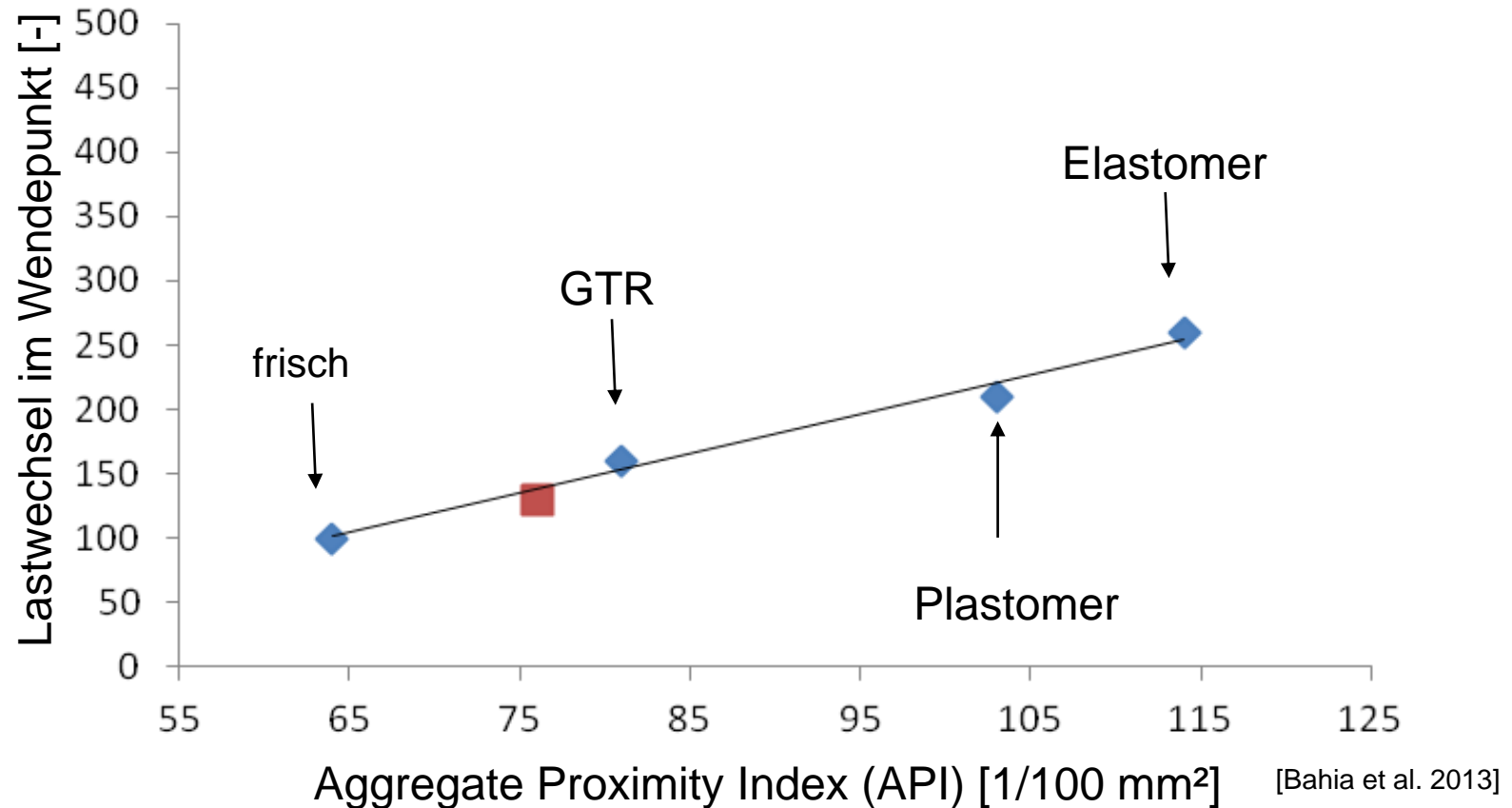
[Bahia et al. 2013]

Modifizierter Druck-Schwellversuch zur Ansprache der Verformung



Lastwechselzahl im Wendepunkt der
Impulskriechkurve

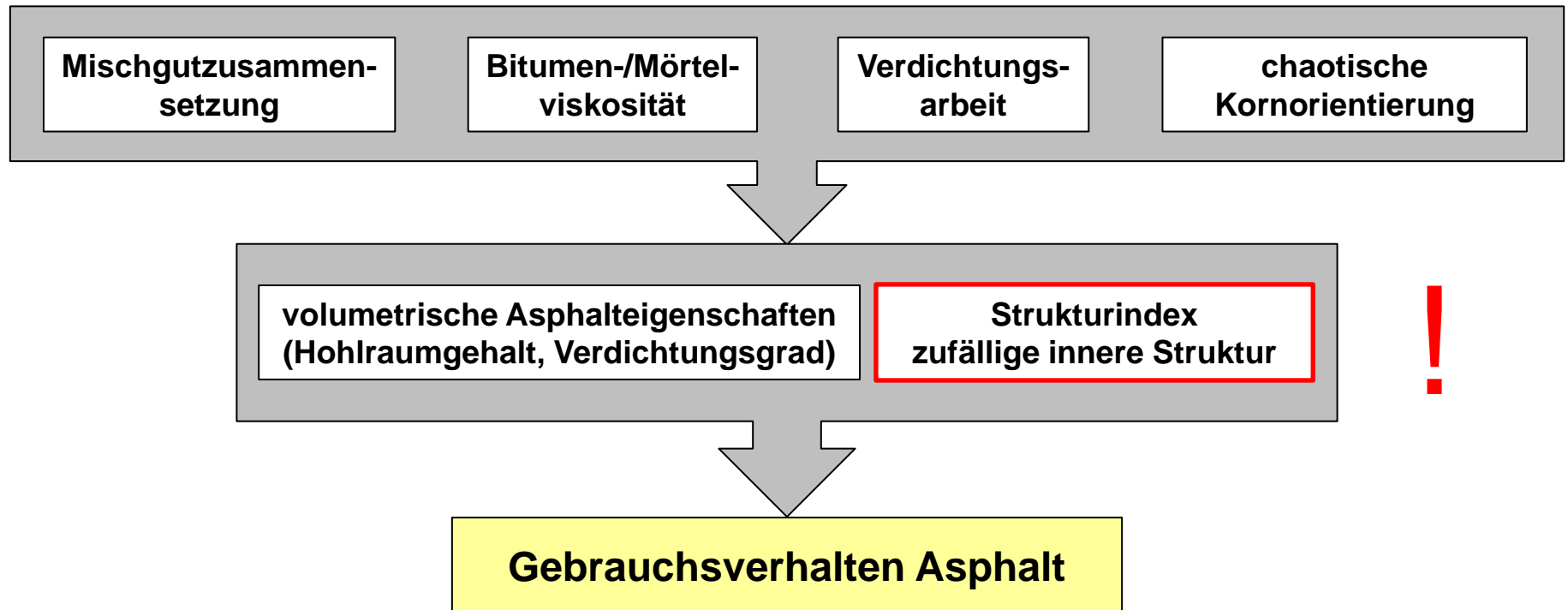
Zusammenhang Struktur - Verformung



= Verhältniswert Kornoberfläche zu Summe der Kontaktlängen

Es lässt sich bis hierhin festhalten...

- Optimierung der Asphalt(mörtel)eigenschaften (Viskosität) nicht zielführend ohne Kenntnisse eines Parameters zur Beschreibung der resultierenden inneren Struktur des Asphalts



Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

Fragestellung:

„Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Anteil an Asphaltgranulat und der resultierenden Asphaltstruktur bei einem Asphalttragschichtmischgut ?

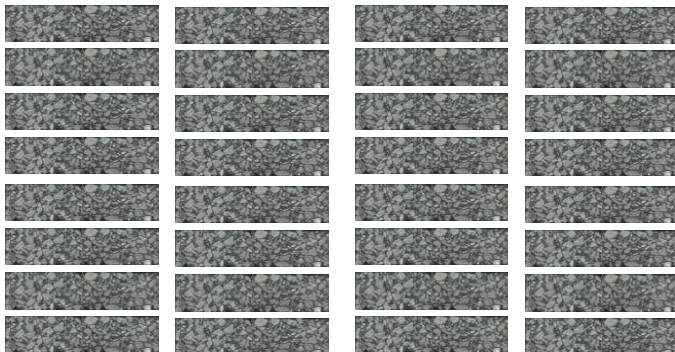


Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

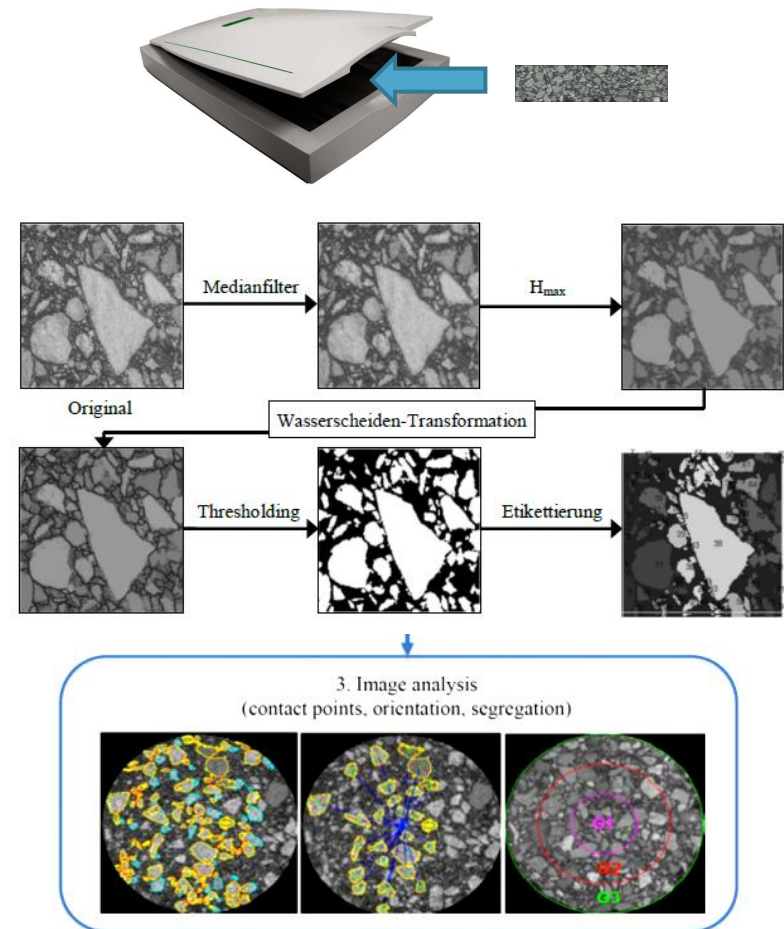
1. Asphaltmischgutherstellung im Labor (10 Varianten eines AC 22 trag – österr. Rezeptur)



2. Herstellung von 160 prismenförmigen Probekörpern (für 4-PB-Prüfung)



3. Bildanalytische Strukturcharakterisierung

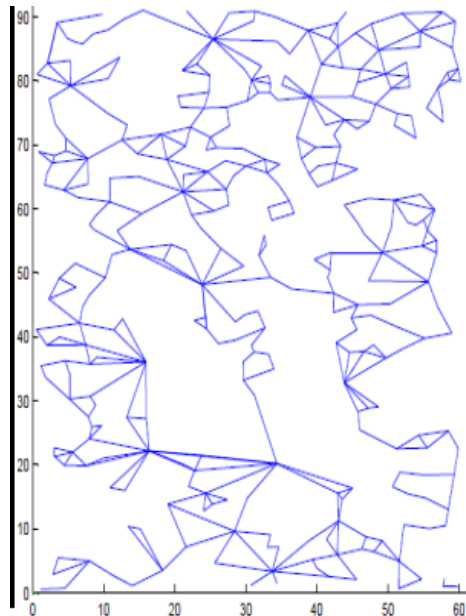
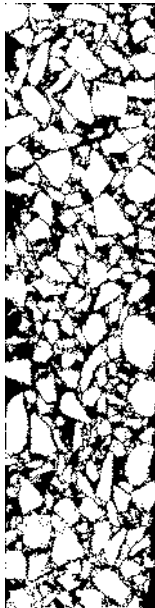


Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

160 4PB-Probekörper eingescannt
Bildanalytische Strukturcharakterisierung:

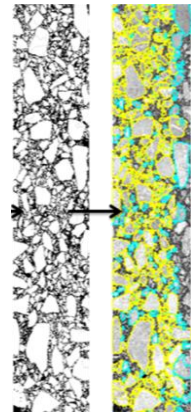
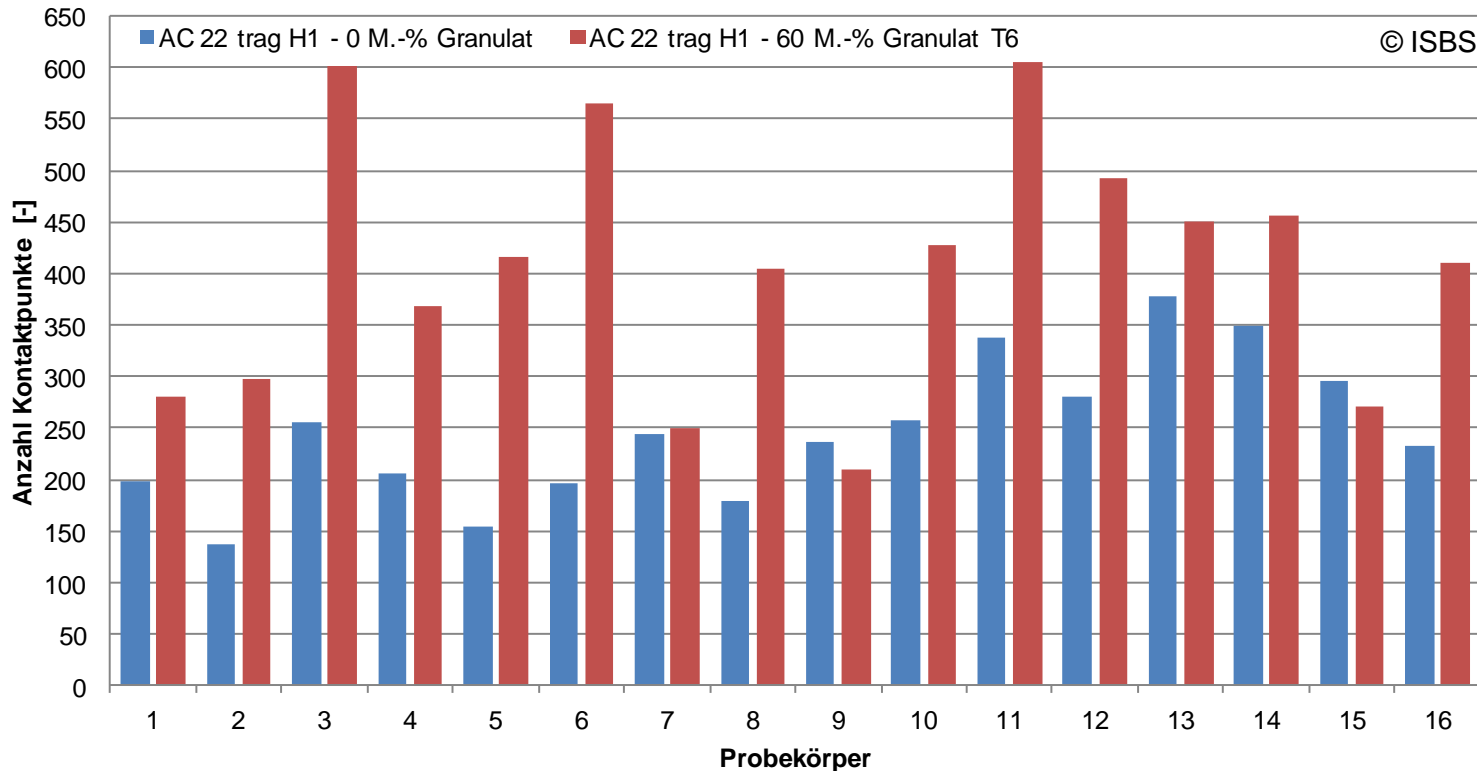
Kontaktparameter

- Anzahl der Kontaktpunkte des Skeletts [-]
- Summe der Kontaktlängen im Skelett [mm]
- Durchschnittliche Kontaktorientierung im Skelett [°]



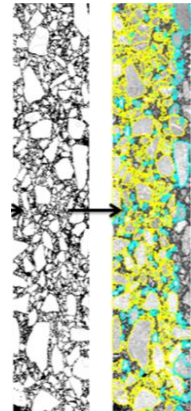
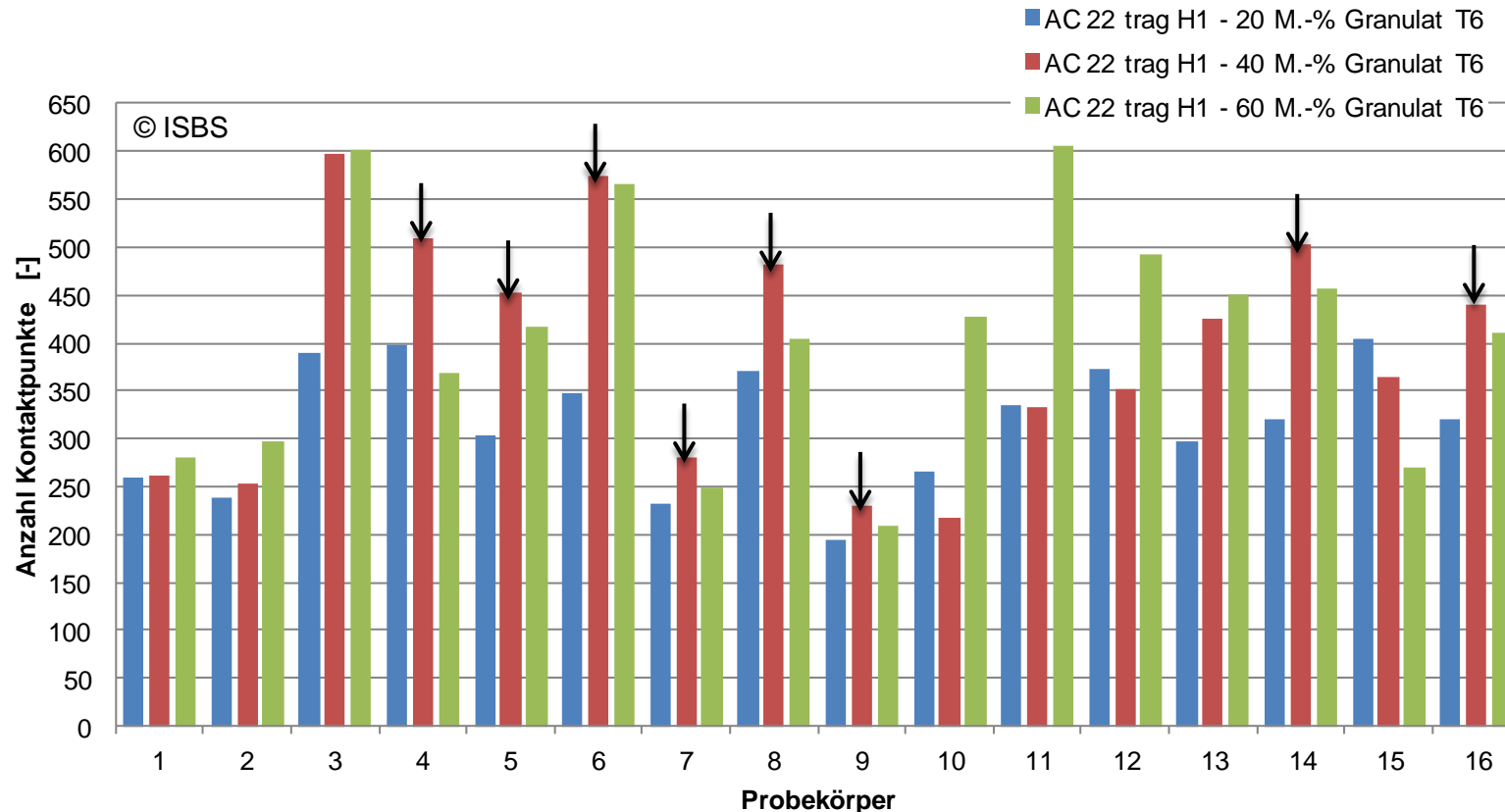
Traggerüst (Skelett)
(aus Analyse der Kraftketten)

Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur



Signifikanter Anstieg der **Anzahl an Kontaktpunkten** (vorteilhaft für Lastabtrag)
durch Zugabe von 60 M.-% Asphaltgranulat

Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

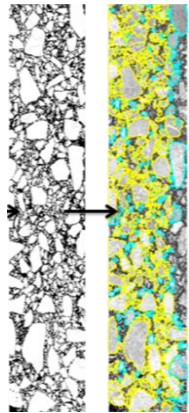
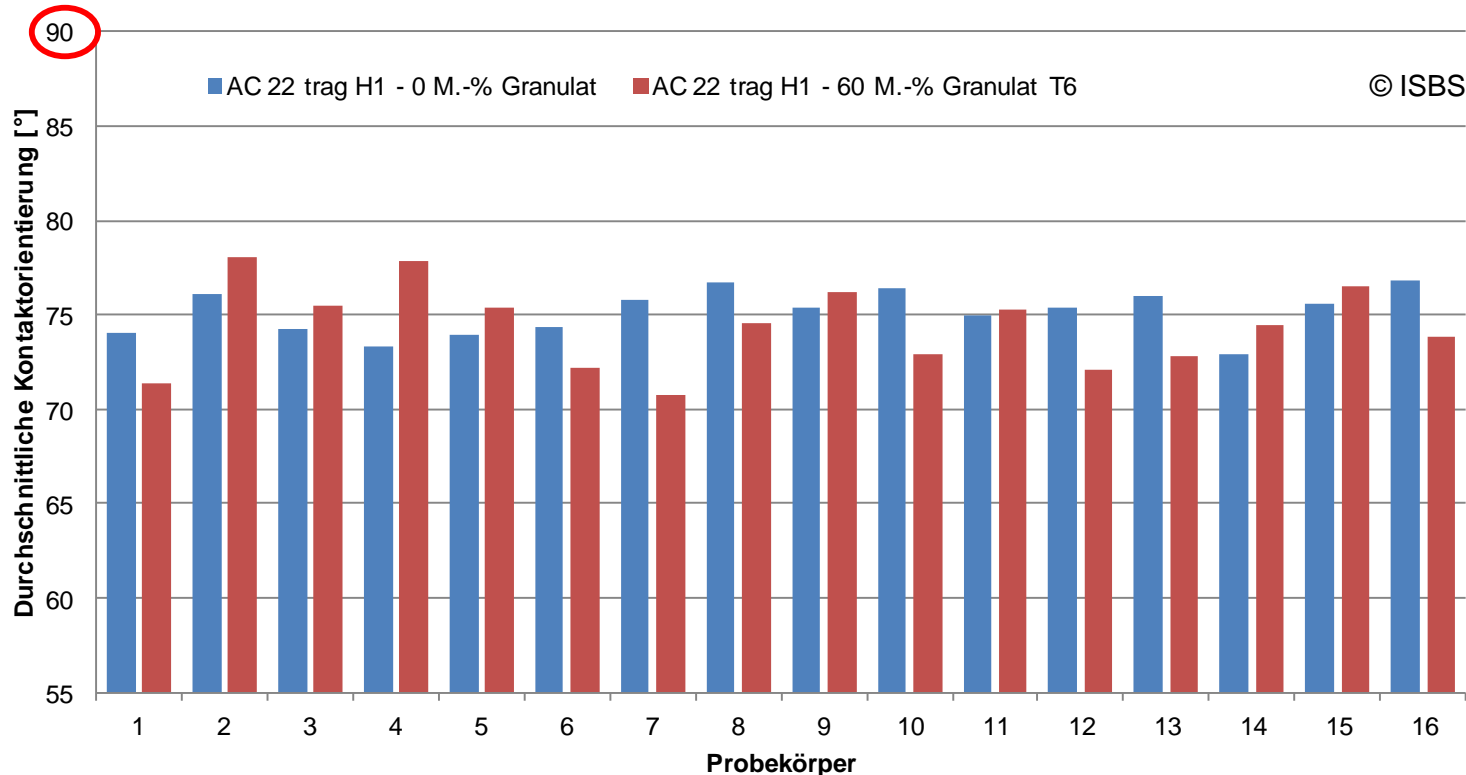


Trend: Bezüglich **Anzahl Kontaktpunkte** gibt es "optimalen" Asphaltgranulat-Zugabeanteil

Bei Überschreitung wird Asphaltstruktur nachteilig beeinflusst, mit möglichen (nachteiligen) Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften.

Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

Optimum



Keine signifikanten / systematischen Unterschiede bzgl. **durchschnittlicher Kontaktorientierung** durch Zugabe von 60 M.-% Asphaltgranulat

→ kein unvorteilhafter Einfluss der Granulatzugabe auf die theoretische Effektivität der Lastabtragung feststellbar

Zusammenhang Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

Fragestellung:

„Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Anteil an Asphaltgranulat und der resultierenden Asphaltstruktur bei einem Asphalttragschichtmischgut ?

→ Zwischenfazit: ja!

→ Wirkt sich dies auch auf ausgewählte Gebrauchseigenschaften (hier Steifigkeit und Ermüdung) aus?



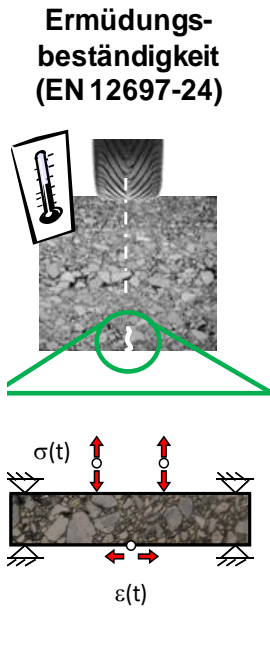
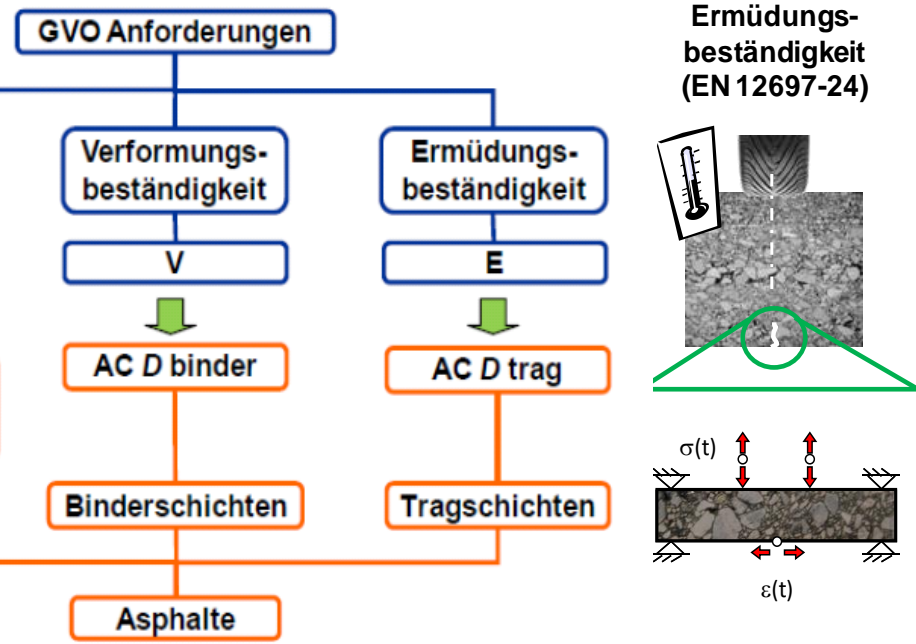
Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften

Herstellung von Asphalttragschichtmischgut unter Granulatzugabe im Labor

- $3 \text{ Granulate} * 3 \text{ Zugabeanteile} = 9 \text{ Varianten} + 1 \text{ Referenz (ohne Granulat)}$

Ansprache folgender Gebrauchseigenschaften des Asphaltes

- *Steifigkeit und Ermüdungsbeständigkeit*



Pro Variante

- 4 Steifigkeitsprüfungen (@20, 10, 0, -10 °C)
- 12 Ermüdungsprüfungen (3 Dehnungsamplituden, je 4-fach Belegung)

= 16 Einzelprüfungen (4-Punkt-Biegeversuche)

10 Varianten * 16 Einzelprüfungen = **160**



Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften

Herstellung von Asphalttragschichtmischgut unter Granulatzugabe im Labor

- 3 Granulate * 3 Zugabeanteile = 9 Varianten + 1 Referenz (ohne Granulat)

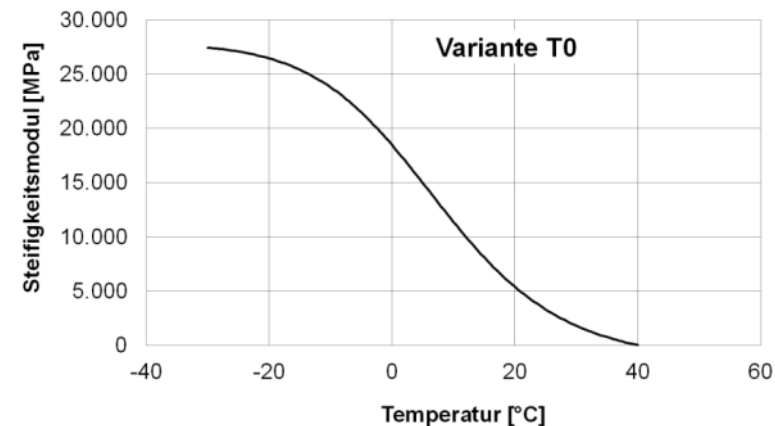
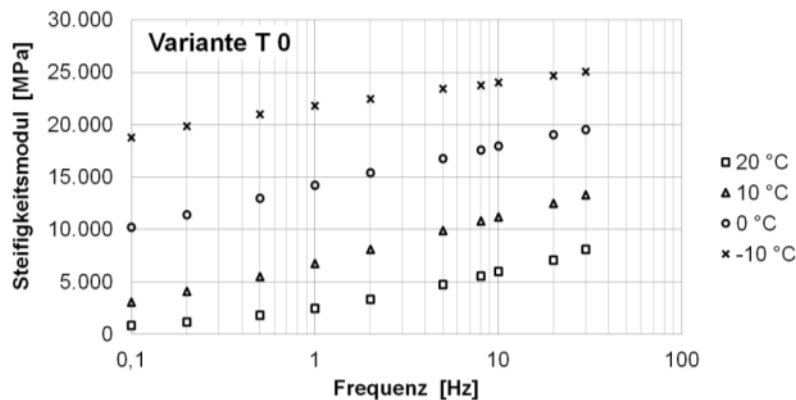
Ansprache folgender Gebrauchseigenschaften des Asphaltes

- **Steifigkeit** und Ermüdungsbeständigkeit

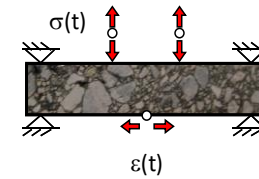
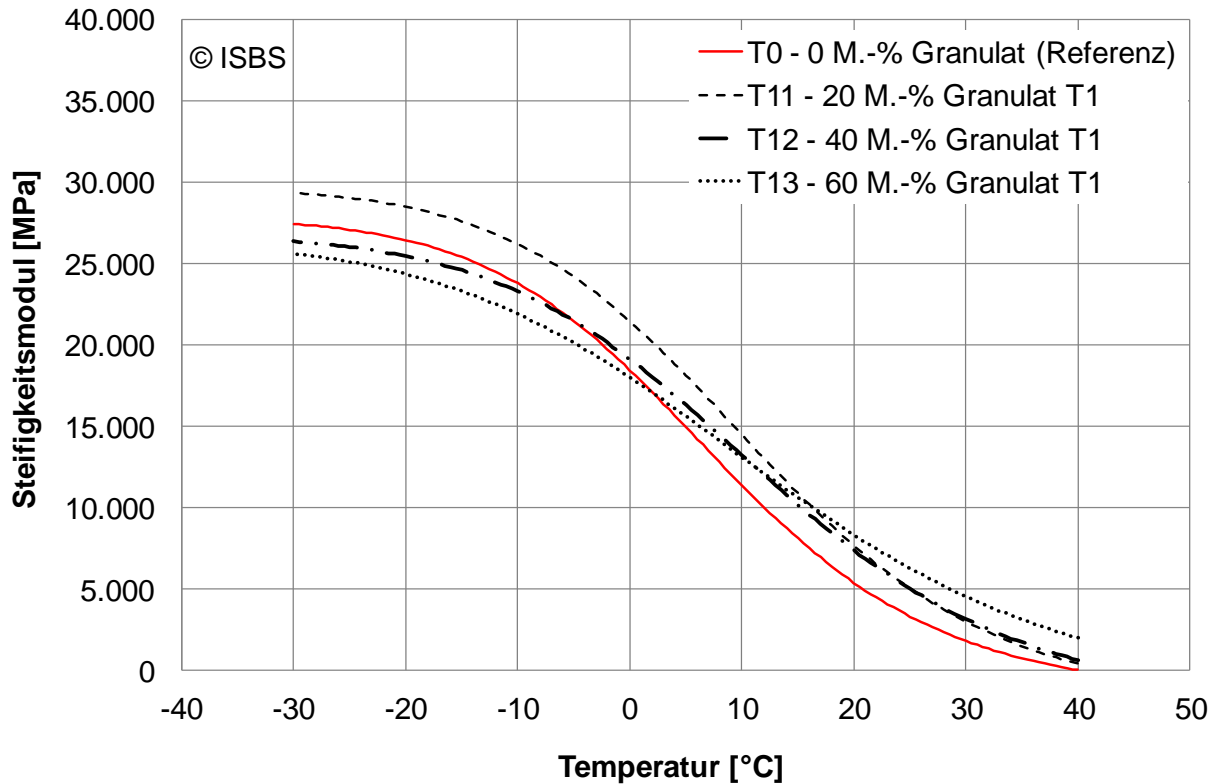
Ermüdungs-
beständigkeit
(EN 12697-24)

E-Moduln je $T_{\text{Prüf}}$ bei verschiedenen Frequenzen (Isothermen)

Ergebnis
Steifigkeits-Temperaturfunktion



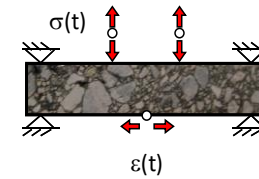
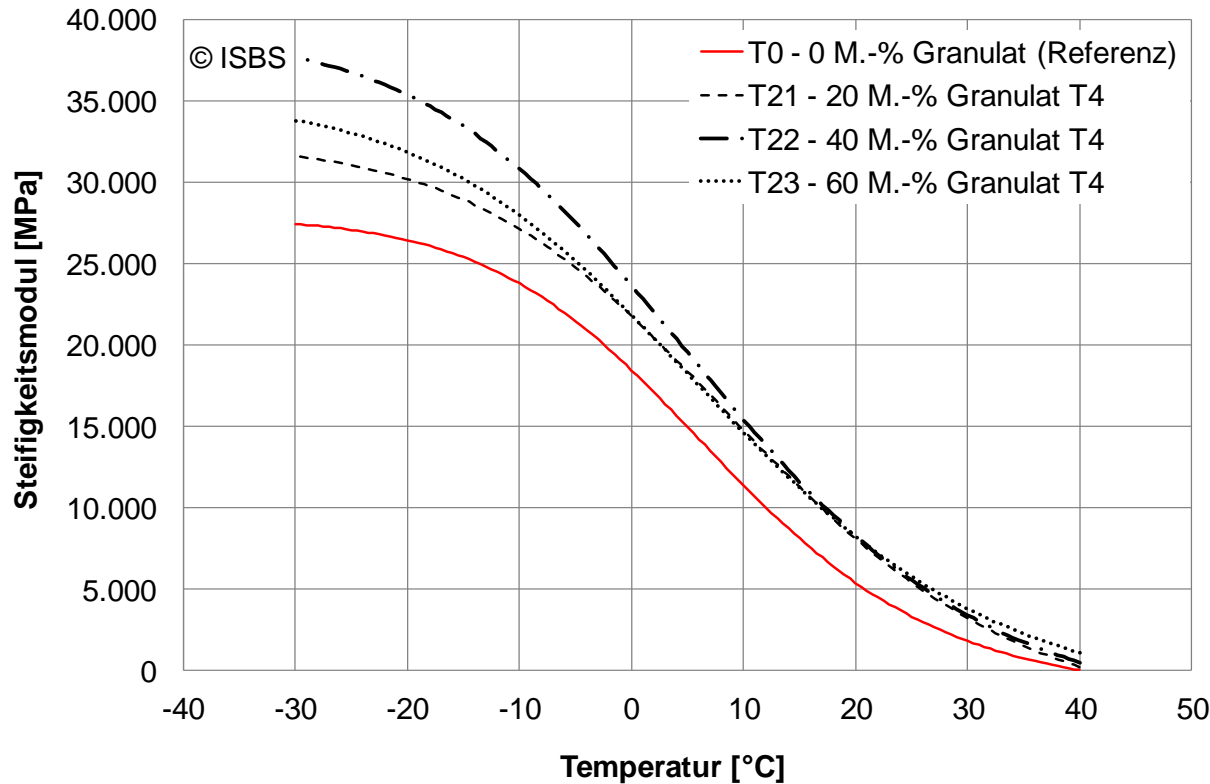
Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften



Durch Granulatzugabe insgesamt höhere Steifigkeiten im Vergleich zur Asphalttragschicht-Variante AC 22 trag ohne Asphaltgranulat (Ausnahme 0 bis -30°C)

→ vorteilhafter Einfluss durch Granulatzugabe?

Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften



Durch Granulatzugabe insgesamt höhere Steifigkeiten im Vergleich zur Asphalttragschicht-Variante AC 22 trag ohne Asphaltgranulat

→ kein unvorteilhafter Einfluss durch Granulatzugabe, **teilweise sogar deutlich höhere Steifigkeiten**

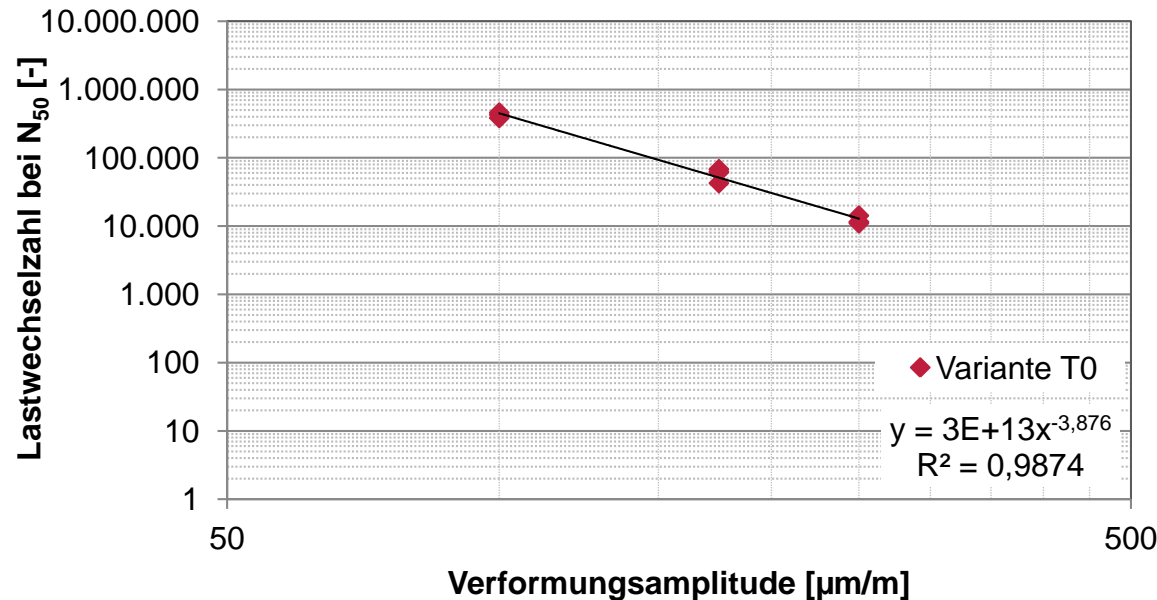
Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften

Herstellung von Asphalttragschichtmischgut unter Granulatzugabe im Labor

- 3 Granulate * 3 Zugabeanteile = 9 Varianten + 1 Referenz (ohne Granulat)

Ansprache folgender Gebrauchseigenschaften des Asphaltes

- Steifigkeit und **Ermüdungsbeständigkeit**



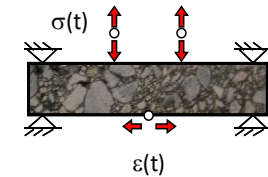
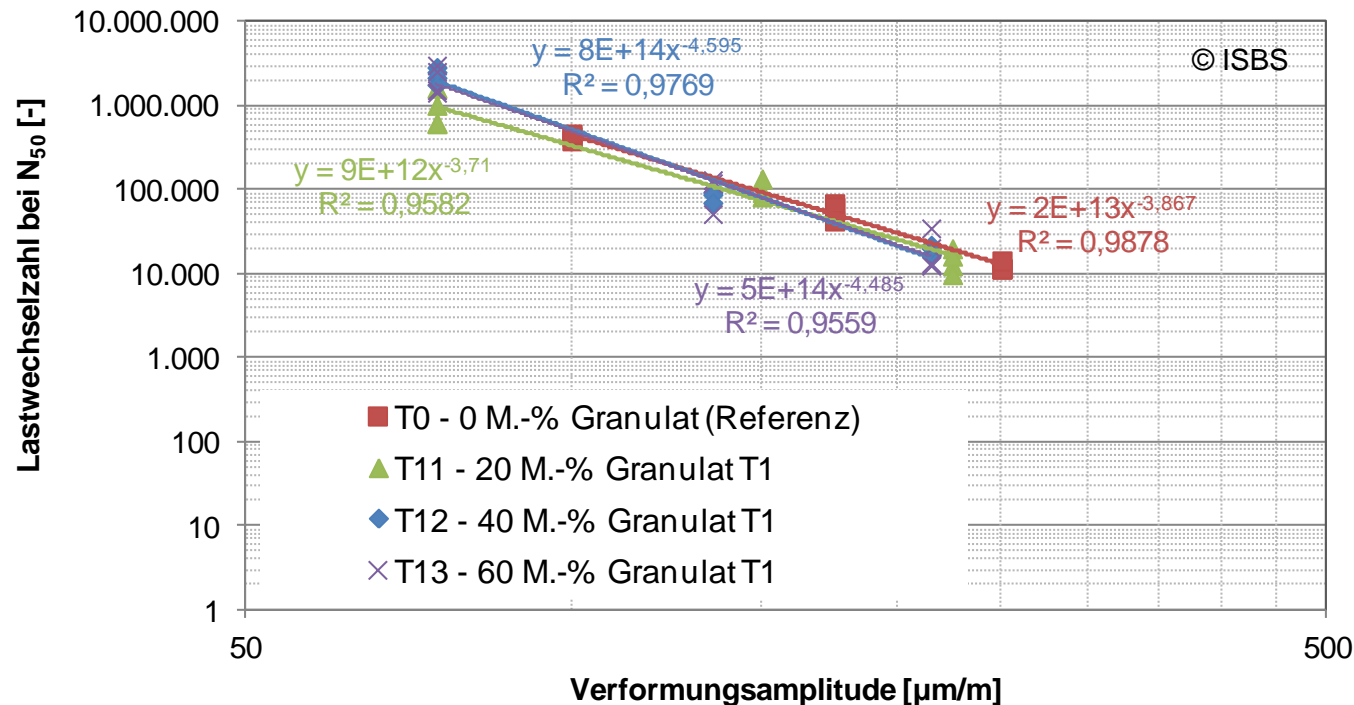
Ergebnis
Ermüdungsfunktion

$$N = k \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_0} \right)^n$$



Beständigkeit gegen Ermüdung

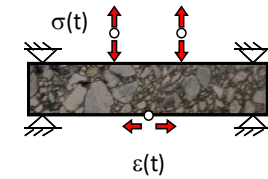
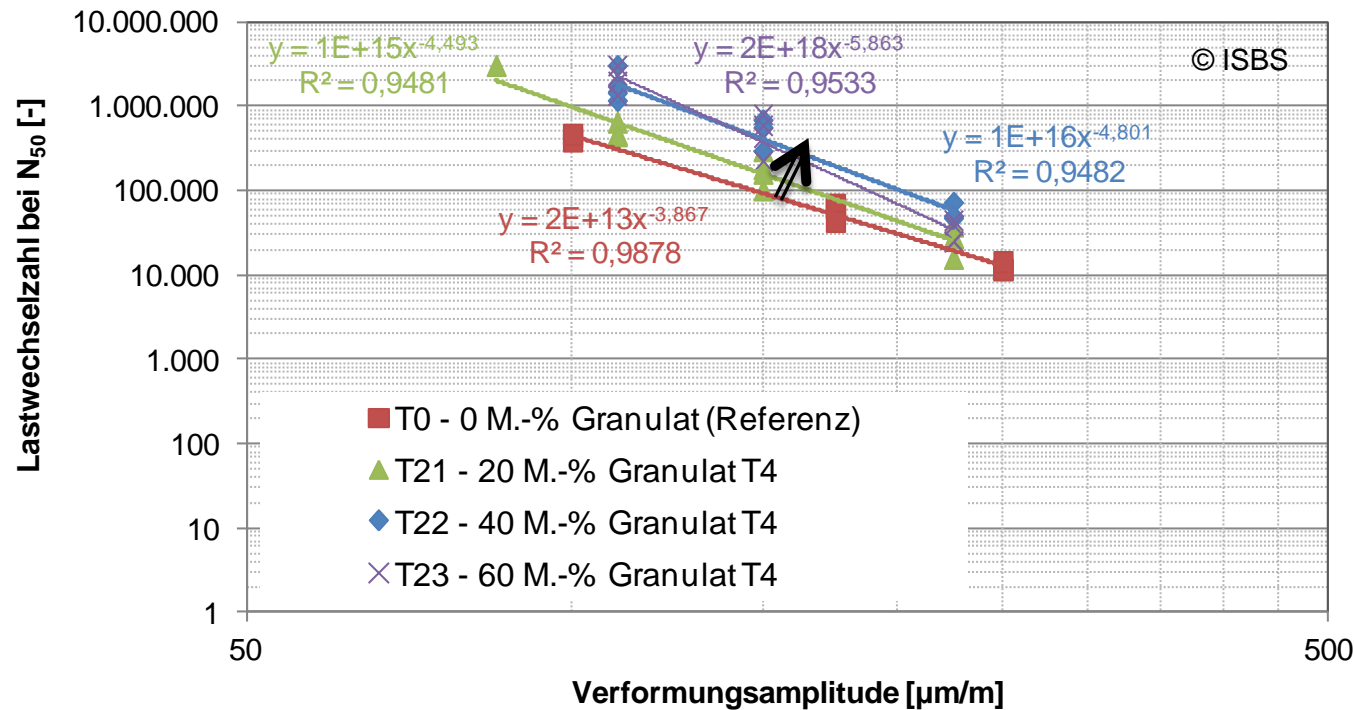
Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften



Durch Granulatzugabe ergeben sich praktisch deckungsgleiche Ermüdungsfunktionen (gleiche Ermüdungsbeständigkeit)

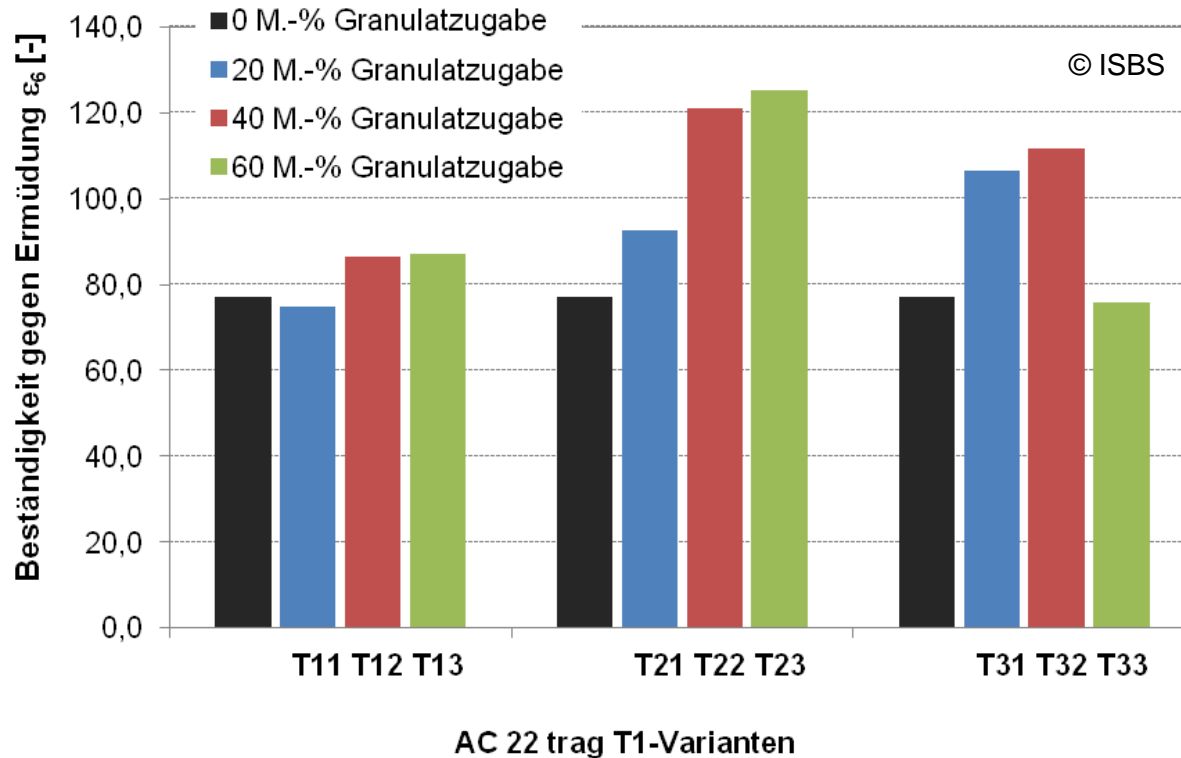
→ kein unvorteilhafter Einfluss durch Granulatzugabe

Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften



teilweise sogar bessere Ermüdungsbeständigkeit durch Granulatzugabe?

Auswirkung auf Gebrauchseigenschaften



Asphalttragschicht-Varianten mit Granulat erreichen bessere ε_6 –Werte (Mikrodehnung bei 10^6 Ermüdungslastwechseln)

→ vorteilhafter Einfluss durch Granulatzugabe?

Asphaltgranulat - Asphaltstruktur

- Klarer Zusammenhang zwischen der mittels Bildanalysetechnik erfassten Asphaltstruktur und des Zugabenteils an Asphaltgranulat:

Kontaktpunkte & -längen

- Signifikanter Anstieg der Anzahl an Kontaktpunkten (vorteilhaft für Lastabtrag) durch Zugabe von 60 M.-% Asphaltgranulat im Vgl. zur Referenz (kein Granulat)
- Trend: Bezüglich Anzahl Kontaktpunkte gibt es "optimalen" Asphaltgranulat-Zugabeanteil
- bei Überschreitung wird Asphaltstruktur nachteilig beeinflusst, mit möglichen (nachteiligen) Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften.

Auswirkungen auf Gebrauchseigenschaften (Steifigkeit und Ermüdung)

- Durch Granulatzugabe insgesamt höhere Steifigkeiten im Vergleich zur Asphalttragschicht-Variante ohne Asphaltgranulat
- kein unvorteilhafter Einfluss durch Granulatzugabe, teilweise sogar deutlich höhere Steifigkeiten



**Technische
Universität
Braunschweig**



**Institut für Straßenwesen
TU Braunschweig**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jens Grönniger