

# **Straßenbau Aktuell**

## **Asphalt-Performance in Dimensionierung, Produktklassifikation, Bauvertrag und Erhaltungsplanung**

Universität Kassel  
Sachgebiet Bau und Erhaltung von Verkehrswegen  
Dr.-Ing. Konrad Mollenhauer

## Asphalt-Performance - Definitionen

- DUDEN – Das Fremdwörterbuch

Per|for|mance, die

1. dem Happening ähnliche [...] künstlerische Aktion
2. (Bankwesen) prozentualer Wertzuwachs [...] eines Wertpapiers
3. (EDV) Leistungsniveau, -stärke eines Rechners

- Bauproduktenverordnung

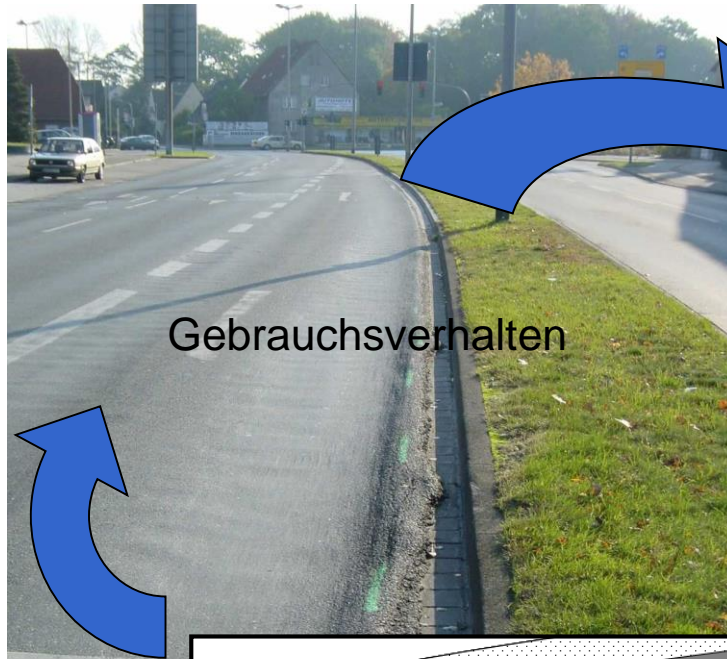
- In englischer Fassung: 216 x „performance“
- Englische Version, Definitions:
  5. **‘performance** of a construction product’ means the performance related to the relevant essential characteristics, expressed by level or class, or in a description;
- Deutsche Version, Begriffe:
  5. „**Leistung** eines Bauprodukts“ die Leistung in Bezug auf die relevanten Wesentlichen Merkmale eines Bauprodukts, die in Stufen oder Klassen oder in einer Beschreibung ausgedrückt wird;



## Geschichte der Performance-Prüfung von Asphalt

- Suche „Dokumentation Straße“ zu Begriffen „Asphalt“ und „Performance“ ergibt 892 Treffer, ab 1980; davon auf deutsch veröffentlicht:
  - 1993: Bericht über SHRP-Programm (Bellin)
  - 1994: Möglichkeiten der Einsparung und Vermeidung von Lösemitteln im Asphaltilabor (Graf & Renken)
  - 1998: Änderungen und Ergänzungen der ZTV Asphalt-StB 94 - Entstehung und Ausblick (Predel)
  - 2000: Verfahren für das Prüfen von Asphalteigenschaften (Gauer)
  - 2005: Die dynamischen Prüfverfahren zur Ansprache der Gebrauchseigenschaften von Asphalt im europäischen Kontext (Renken)
  - 2010: Harmonisierung der internationalen Normung zur Herstellung von Probekörpern für die fundamentale Asphaltprüfung (Wistuba & Mollenhauer)
- Regelwerke über Performance-Prüfungen
  - 1994: TP Asphalt, Teil: Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen
  - 1997: TP Asphalt, Teil: Spurbildungsversuch
  - 1999: TP Asphalt, Teil: Einaxialer Druck-Schwellversuch
  - 2003: TP Asphalt, Teil Dynamischer Stempeleindringversuch
  - 2010: AL-Sp-Asphalt, Arbeitsanleitung Spaltzug-Schwellversuch

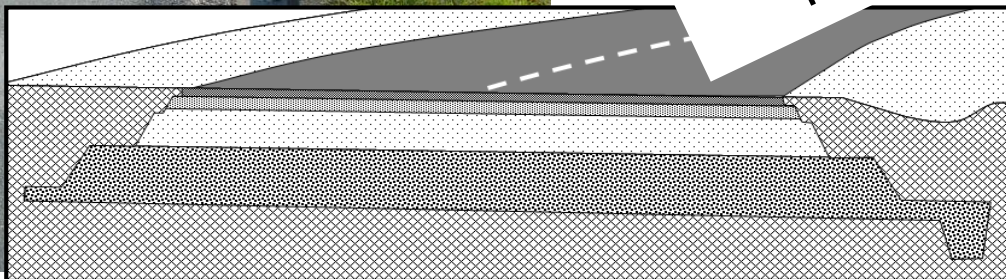
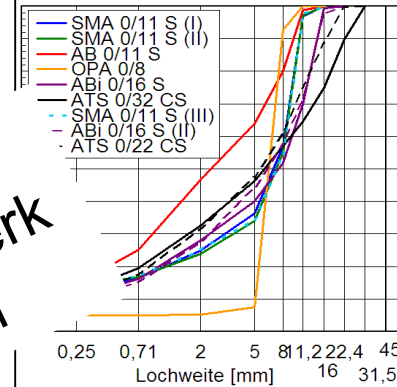
## Empirie vs. Performance



Gebrauchsverhalten



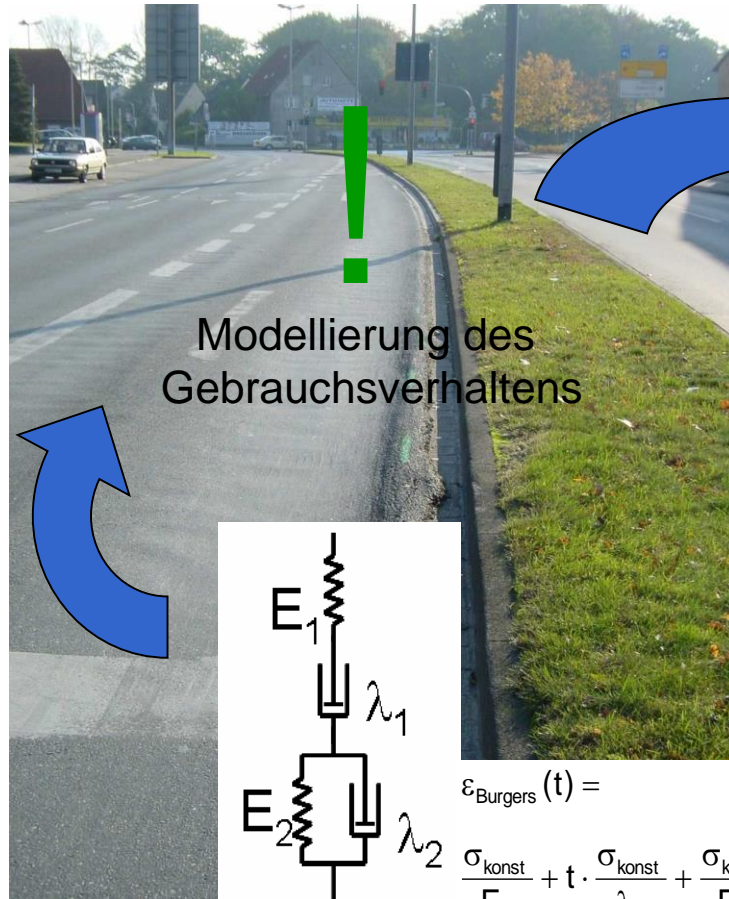
Empirie:  
Angepasstes Regelwerk  
nach 6-10 Jahren



Baustoff-  
Zusammensetzung



## Empirie vs. Performance



$$\varepsilon_{\text{Burgers}}(t) =$$

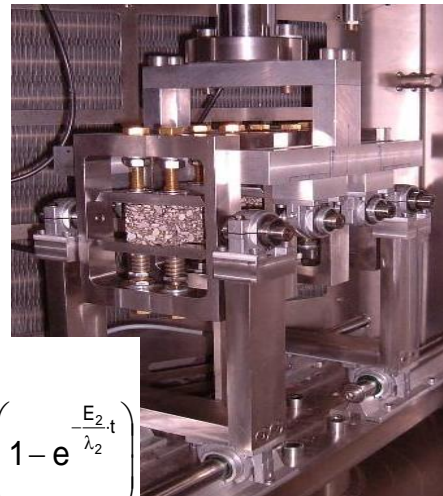
$$\frac{\sigma_{\text{konst}}}{E_1} + t \cdot \frac{\sigma_{\text{konst}}}{\lambda_1} + \frac{\sigma_{\text{konst}}}{E_2} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{E_2 \cdot t}{\lambda_2}} \right)$$

Innovation:  
z.B. Viskositätsabsenkende Zusätze

Hält!

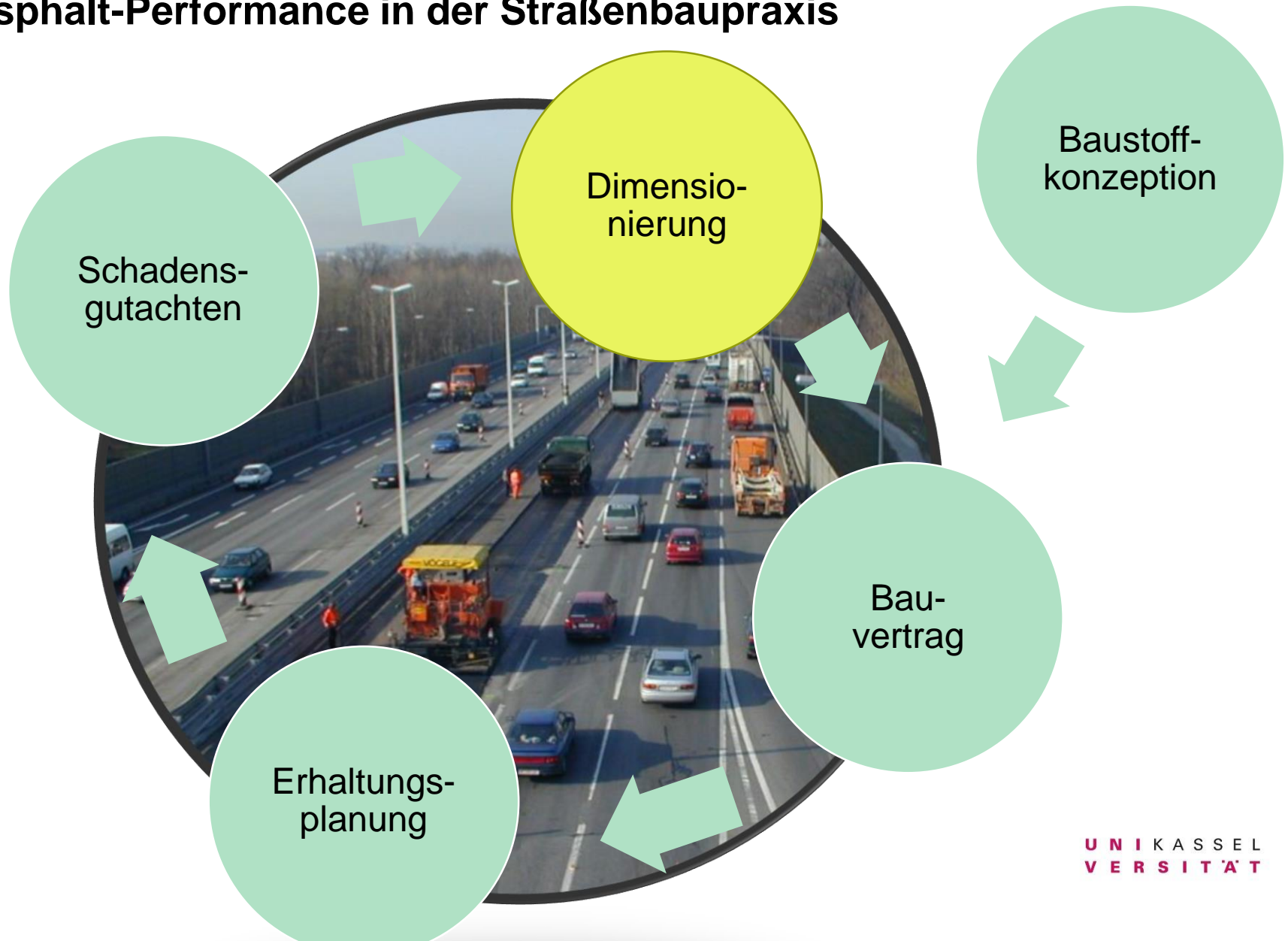


Baustoff-  
Zusammensetzung



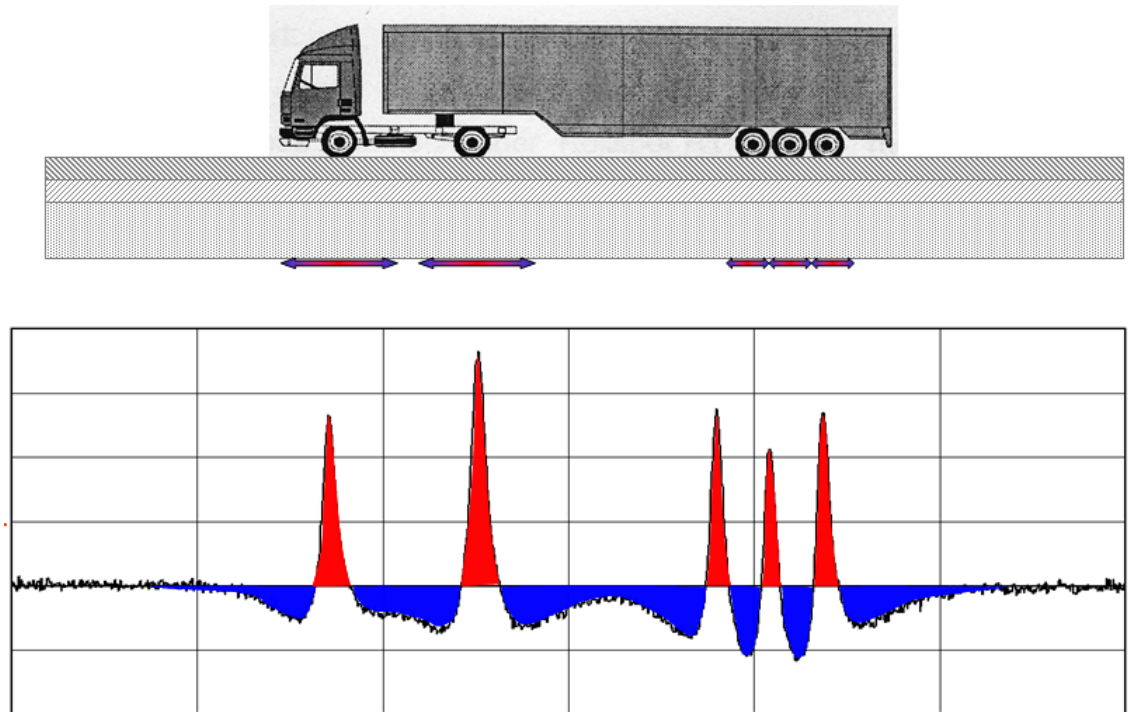
Performance-  
Prüfung

# Asphalt-Performance in der Straßenbaupraxis



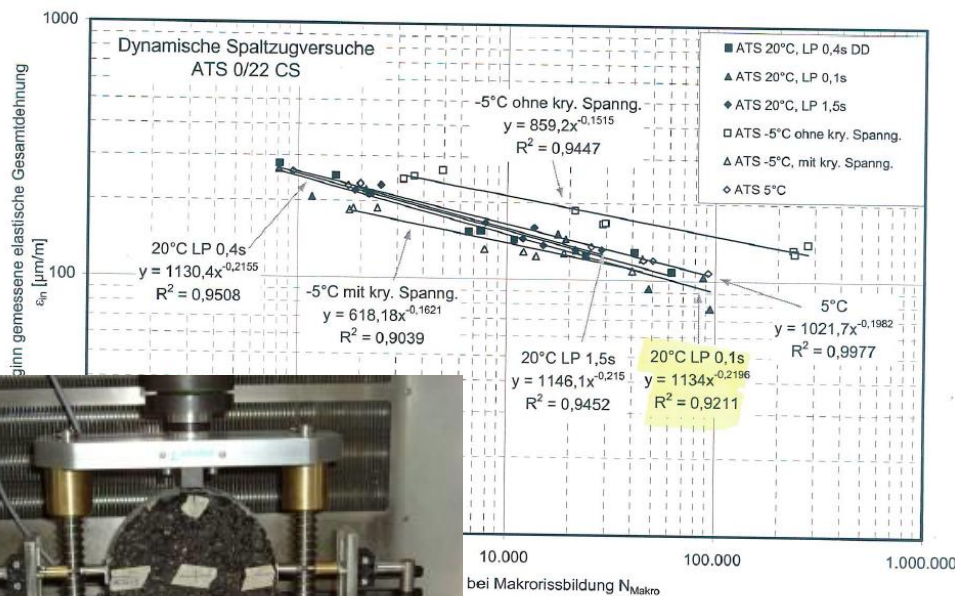
## Entwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (Auswahl an Forschungsprojekten)

- 1995 bis 2001: Mehrere vorbereitende Studien für die Bemessung von Asphaltbefestigungen (Achslast, Datenhintergrund, Ermüdungsmodelle, Tragschichten ohne Bindemittel) – BAST, Uni Hannover, TU BS, RWTH)
- Seit 2000: Versuche an instrumentierter Modellstraße (BAST)



## Entwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (Auswahl an Forschungsprojekten)

- 1995 bis 2001: Mehrere vorbereitende Studien für die Bemessung von Asphaltbefestigungen (Achslast, Datenhintergrund, Ermüdungsmodelle, Tragschichten ohne Bindemittel) – BAST, Uni Hannover, TU BS, RWTH)
- Seit 2000: Versuche an instrumentierter Modellstraße (BAST)
- 2005: FE 07.187: Weiterentwicklung von Stoffmodellen (TUBS, TUDD, et al.)



nung in Abhängigkeit von der Lastwechselzahl

Tabelle 5: Beispielhafte Darstellung der Versuchsergebnisse von Ermüdungsversuchen

Probe [-]	Unterspannung $\sigma_u$ [MPa]	Oberspannung $\sigma_o$ [MPa]	$\epsilon_{\text{el,anf}}$ [‰]	$N_{\text{Makro}}$ [-]
68	0,035	0,65	0,211	2 120
72	0,035	0,65	0,252	812
58	0,035	0,65	0,196	1 169
42	0,035	0,38	0,143	17 555
48	0,035	0,38	0,123	21 450
43	0,035	0,38	0,137	19 179
50	0,035	0,24	0,098	87 408
39	0,035	0,24	0,074	94 411
66	0,035	0,24	0,088	47 970

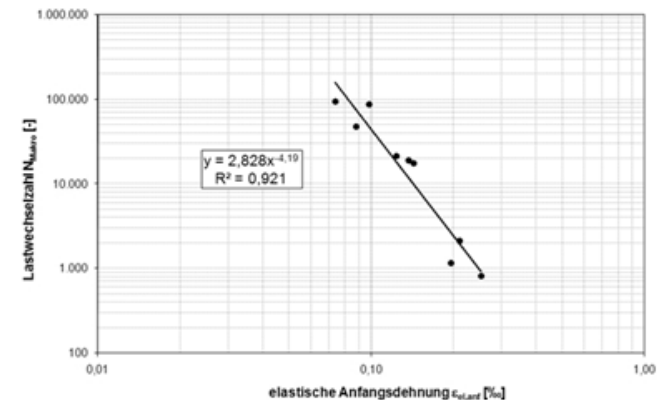
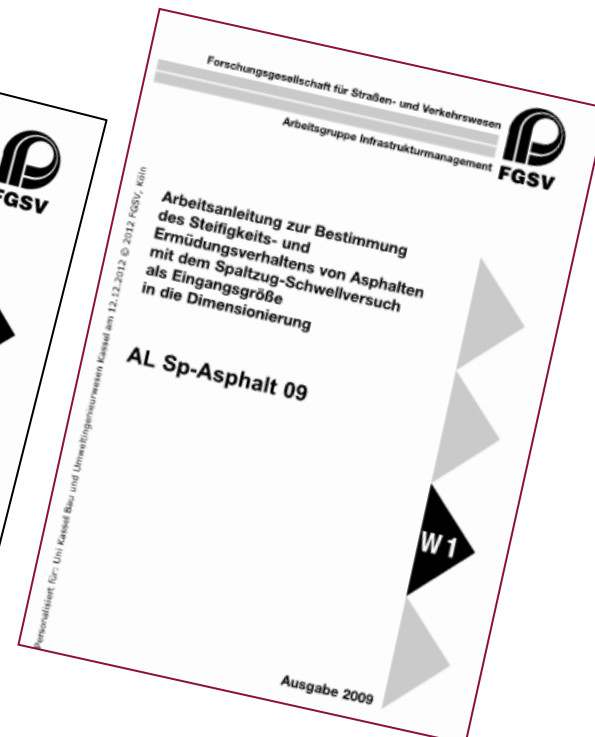
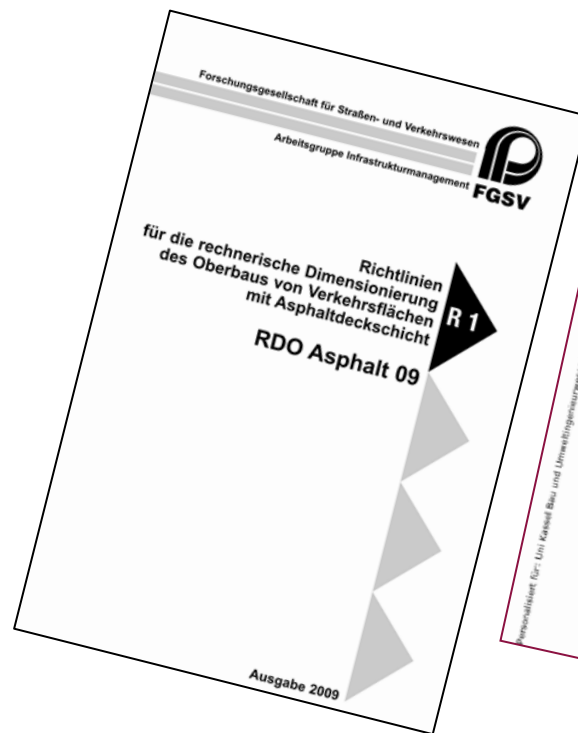


Bild 14: Beispiel einer Ermüdungsfunktion



## Entwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (Auswahl an Forschungsprojekten)

- 1995 bis 2001: Mehrere vorbereitende Studien für die Bemessung von Asphaltbefestigungen (Achslast, Datenhintergrund, Ermüdungsmodelle, Tragschichten ohne Bindemittel) (BASt, Uni Hannover, TU BS, RWTH)
- Seit 2000: Versuche an instrumentierter Modellstraße (BASt)
- 2005: FE 07.187: Weiterentwicklung von Stoffmodellen (TUBS, TUDD, et al.)
- 2007: BMBF-Projekt „Nachhaltiger Straßenbau“ (BASt, TUDD, TUBS)



## Entwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (Auswahl an Forschungsprojekten)

- 1995 bis 2001: Mehrere vorbereitende Studien für die Bemessung von Asphaltbefestigungen (Achslast, Datenhintergrund, Ermüdungsmodelle, Tragschichten ohne Bindemittel) – BAST, Uni Hannover, TU BS, RWTH)
- Seit 2000: Versuche an instrumentierter Modellstraße (BAST)

• 2005: FE 07 Entwicklung von Stc

• 2007: BMB

• 2007: FE

• 2011: FE

• 2011: FE

• 2011: A

• 2012:

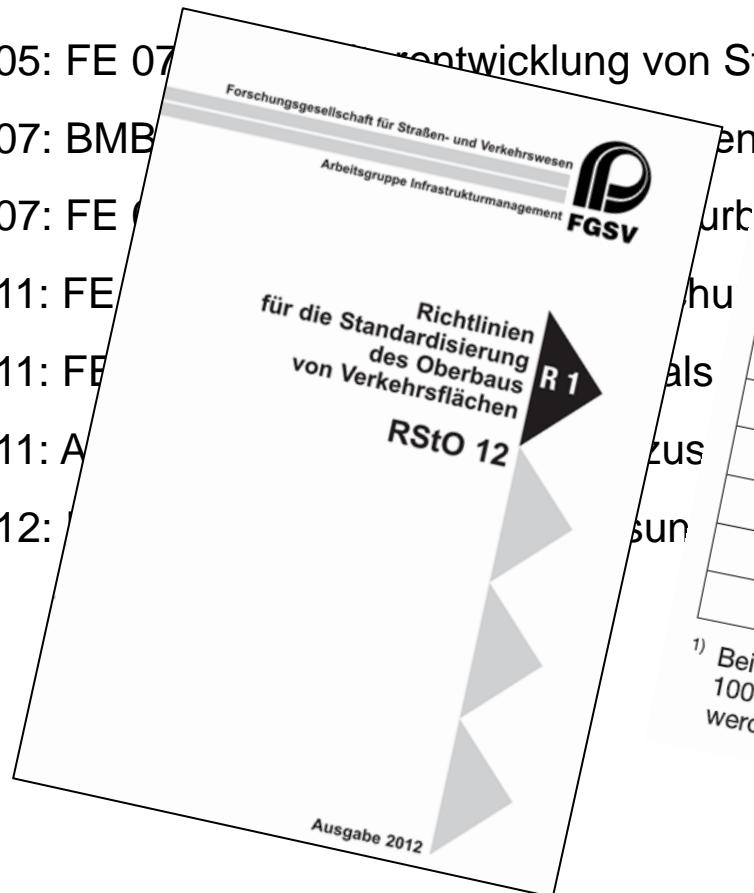


Tabelle 1: Dimensionierungsrelevante Beanspruchung und zugeordnete Belastungsklasse (siehe auch Anhang 1)

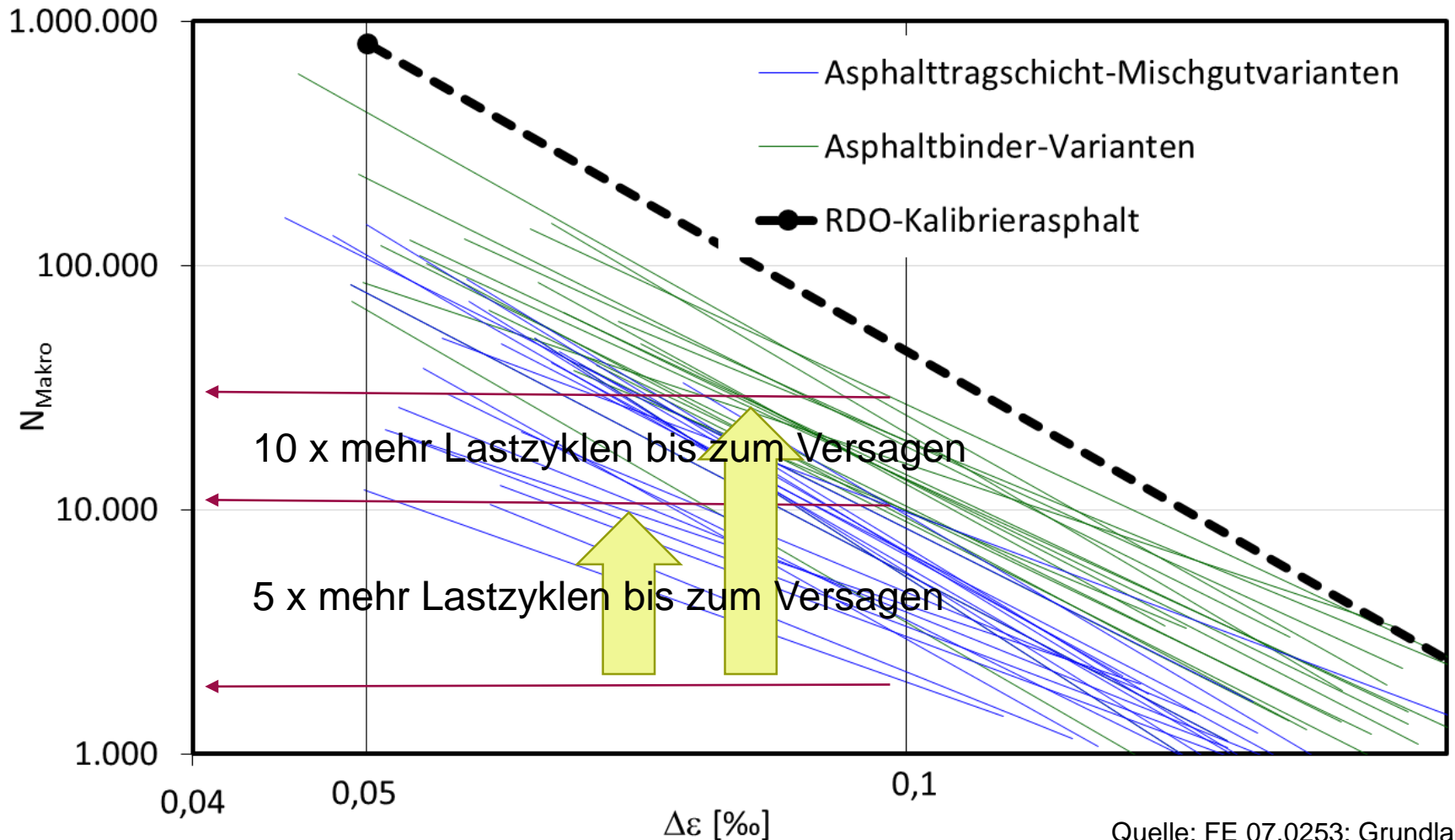
Dimensionierungsrelevante Beanspruchung Äquivalente 10-t-Achsübergänge in Mio.	Belastungs-klasse
über 32 <sup>1)</sup>	Bk100
über 10 bis 32	Bk32
über 3,2 bis 10	Bk10
über 1,8 bis 3,2	Bk3,2
über 1,0 bis 1,8	Bk1,8
über 0,3 bis 1,0	Bk1,0
bis 0,3	Bk0,3

<sup>1)</sup> Bei einer dimensionierungsrelevanten Beanspruchung größer 100 Mio. sollte der Oberbau mit Hilfe der RDO dimensioniert werden.

## Entwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (Auswahl an Forschungsprojekten)

- 1995 bis 2001: Mehrere vorbereitende Studien für die Bemessung von Asphaltbefestigungen (Achslast, Datenhintergrund, Ermüdungsmodelle, Tragschichten ohne Bindemittel) – BAST, Uni Hannover, TU BS, RWTH)
- Seit 2000: Versuche an instrumentierter Modellstraße (BAST)
- 2005: FE 07.187: Weiterentwicklung von Stoffmodellen (TUBS, TUDD, et al.)
- 2007: BMBF-Projekt „Nachhaltiger Straßenbau“, (BAST, TUDD, TUBS)
- 2007: FE 04.198: Grundlagen Temperaturbedingungen (TUDD)
- 2011: FE 04.0202: Ermüdungsuntersuchungen (TUDD)
- 2011: FE04.0205: Alterungsverhalten als Grundlage für die Dimensionierung (TUDD, RUB)
- 2011: AiF15624: Einfluss der Asphaltzusammensetzung (TUDD)
- 2012: FE 04.0204: Streuung bemessungsrelevanter Eingangsgrößen für Asphalte (ISBS)
- 2013: FE 04.0215: Probabilistischer Verfahrensweisen (TUDD)
- 2015: FE 07.0253: Grundlagen für neue Vertragsbedingungen (KIT, TUM, HNL)
- 2015: FE 04.0259: Rechnerische Dimensionierung über FEM (RWTH, TUDD)
- 2016: AiF17634: Zyklischer Scher-Steifigkeit und Scher-Ermüdung (TUDD, ISBS)

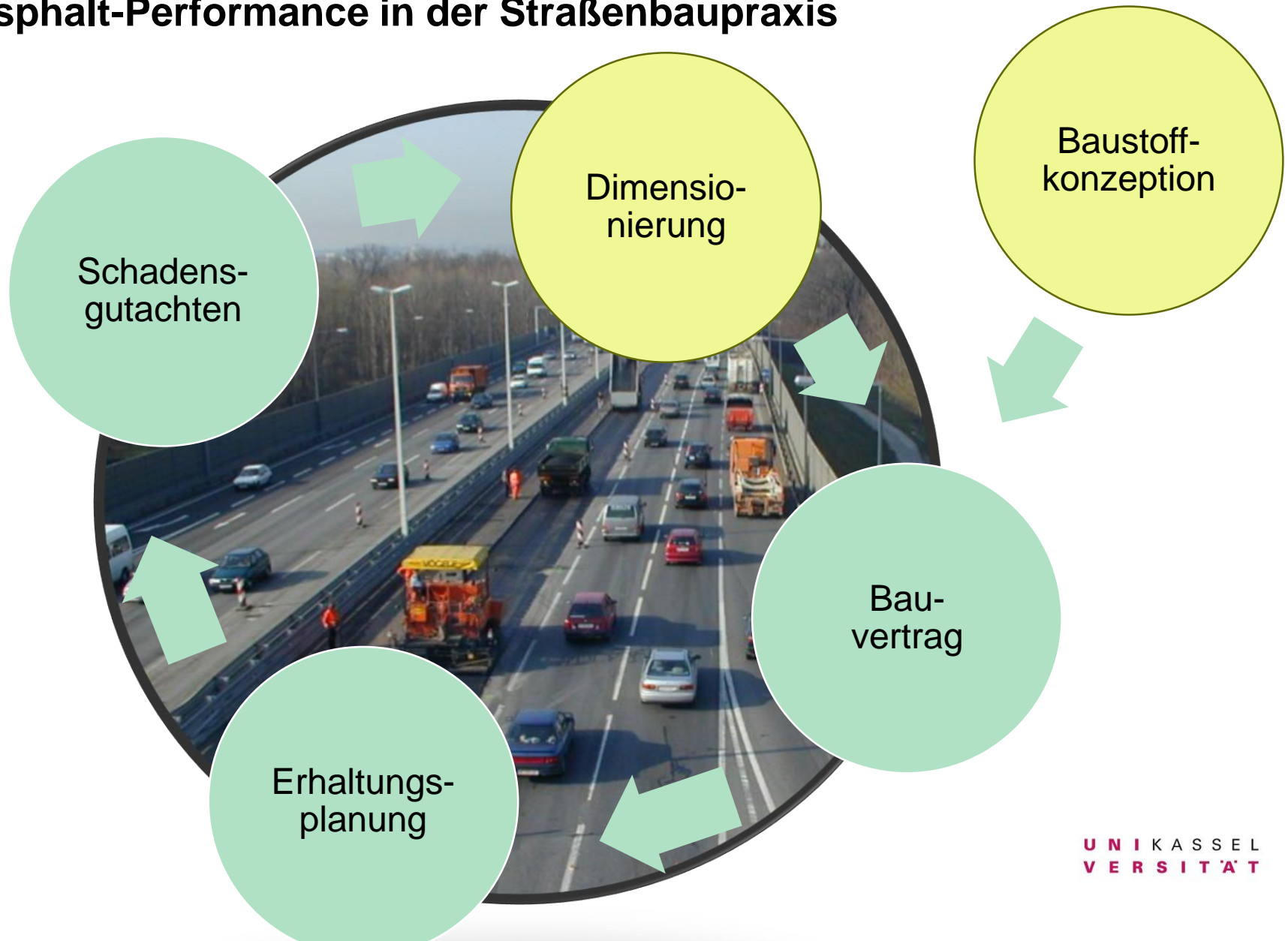
## Nutzen der rechnerischen Dimensionierung und der Performance-Prüfung



Quelle: FE 07.0253: Grundlagen für neue Vertragsbedingungen



# Asphalt-Performance in der Straßenbaupraxis



## Asphalt-Performance = Wesentliche Asphalteigenschaften

- Leistung des Bauteils
- wesentlichen Merkmale

- Haftung Bitumen
- **Steifigkeit**
- **Beständigkeit**
- **Beständigkeit**
- Griffigkeit
- Beständigkeit
- Geräuschausbreitung
- **Dauerhaftigkeit**

Table 19 — Resistance to fatigue,  $N_{\text{macro min}}$

Minimum load cycle number until macro crack formation for $\Delta\varepsilon = 0,1 \text{ ‰}$	Minimum load cycle number until macro crack formation for $\Delta\varepsilon = 0,05 \text{ ‰}$	Category $N_{\text{macro min}}$
3 000	30 000	$v_{\text{macro min 3/30}}$
5 000	60 000	$N_{\text{macro min 5/60}}$
9 000	100 000	$N_{\text{macro min 9/100}}$
15 000	200 000	$N_{\text{macro min 15/200}}$
25 000	400 000	$N_{\text{macro min 25/400}}$
45 000	800 000	$N_{\text{macro min 45/800}}$
No requirement		

$\Gamma_{\text{min}} 1,5$   
 $\Gamma_{\text{max}} 4,0$   
 $\Gamma_{\text{min}} 150 \text{ °C}$   
 $\Gamma_{\text{max}} 190 \text{ °C}$   
 $VFB_{\text{minNR}}$   
 $VFB_{\text{maxNR}}$   
 keine

Umstellung formal möglich:

In EN 13108 (2016) sind Kategorien folgende Performance-Leistungen enthalten:

- Steifigkeit (u. a. Spaltzug-Schwellversuch CIDT)
- Ermüdungswiderstand (u. a. Spaltzug-Schwellversuch CIDT)
- Verformungswiderstand (Dyn. Stempeleindringversuch, Spurbildungsversuch)
- Kälterisswiderstand (Abkühlversuch)

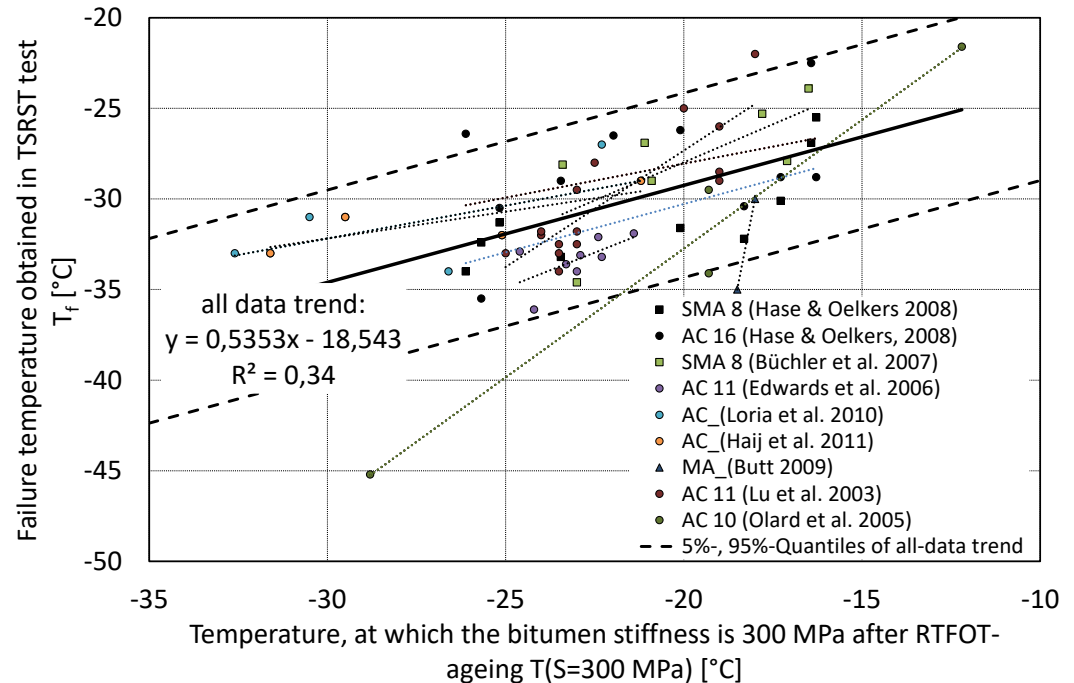
## Anwendung von Performance-Prüfungen zur Bestimmung der wesentlichen Eigenschaften von Asphalt

- Forschung zur Überprüfung der Eignung neue Asphaltkonzepte, z. B.:
  - Recycling von Asphaltgranulat in Asphaltdeck- und –binderschichten (KIT, TUBS, ab 1999)
  - Stabilisierende Zusätze in SMA (1999, TUBS)
  - Einfluss PmB auf Gussasphalt (2002, TUBS)
  - ...
- Im Rahmen der Asphaltkonzeption für Asphaltmischgut
  - TL Asphalt-StB (2007): Performance-Prüfung von AC B, SMA und MA für hohe Beanspruchungen „zur Erfahrungssammlung“
  - M KEP 2009: (Erstprüfung und Konzeption von Asphalt): Nennung möglicher Prüfverfahren zur Optimierung des Asphaltmischgutes, TP Asphalt, Teile 10, 12, 17, 25 sowie DIN EN 12697, Teile 24, 26 und 46)
  - MWA 2009: Möglichkeit der Zugabe verhärteten Asphaltgranulates ( $T_{R\&K} > 70\text{ °C}$ ) durch Nachweis der Gleichwertigkeit mit Asphalt ohne AG-Zugabe (Bsp. Kälteverhalten)
  - 2016: Hinweise für alternative Asphaltbinder H Al Abi: Anforderungen an den Verformungswiderstand (Spurbildungsversuch)
- Ausblick: Als Standard für besonders hoch beanspruchte Asphalte (> Bk 100)?

## Beschreibung der Leistung von Asphalt über Zusammensetzung

### Herausforderung: Bitumen

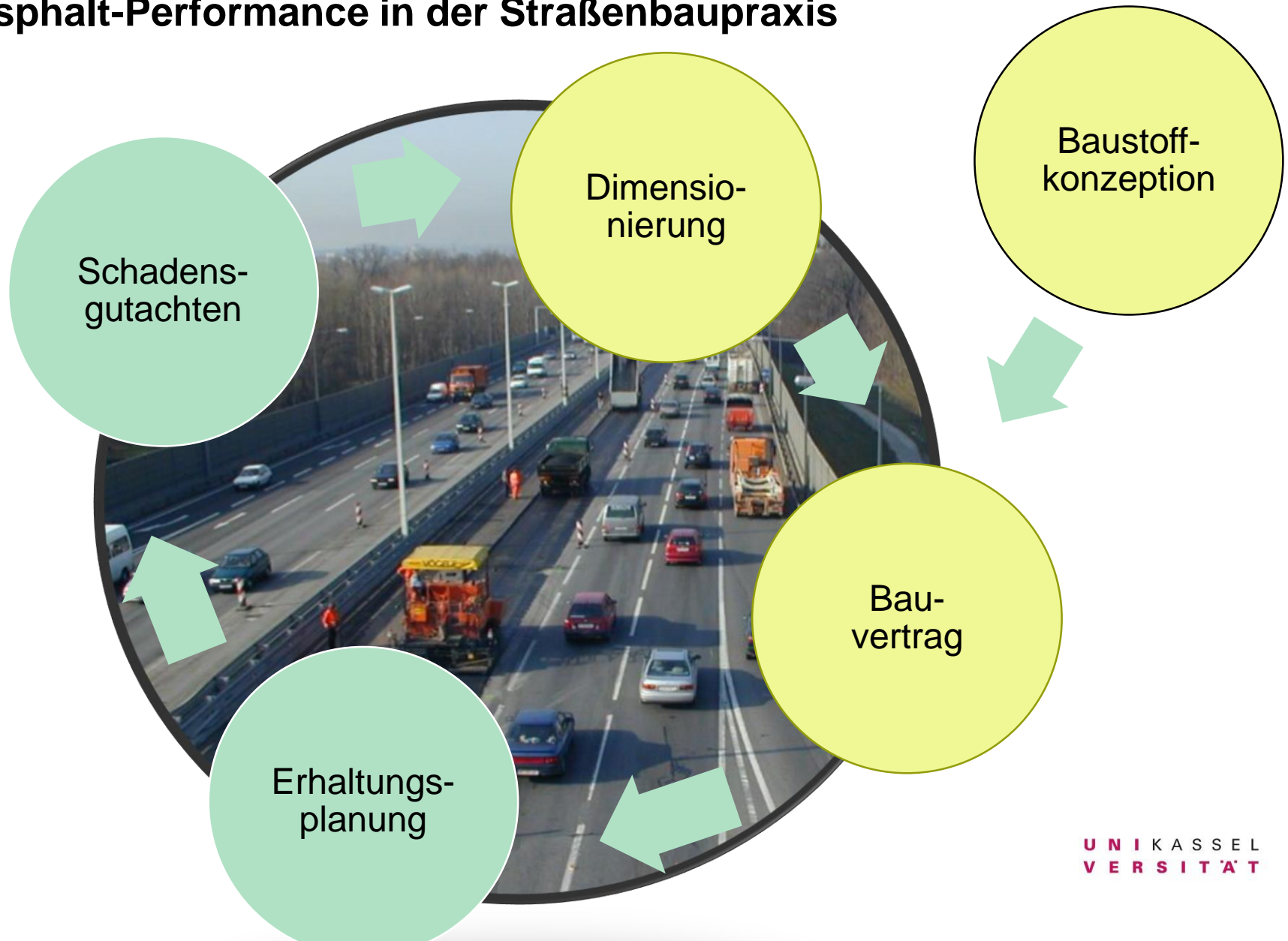
- Konventionellen Bitumeneigenschaften ( $T_{R\&K}$ , Pen,  $T_{Fraass}$ ) für modifizierte Bindemittel nicht ausreichend!
- Bitumen-Performance
  - Temperatur- und Belastungszeitabhängiger (Komplexer) Schubmodul (DSR)
  - Biege-Kriechsteifigkeit (BBR)
  - MSCR
  - BTSV
- Bieten Zusammenhang zu Asphalt-Performance und so die Möglichkeit Asphalte zu optimieren



TSRST: $T_f$ [°C]	BBR: $T(S=300 \text{ MPa})$ [°C]
$\leq -20$	$\leq -12,5$
$\leq -22,5$	$\leq -17$
$\leq -25$	$\leq -21,5$
$\leq -27,5$	$\leq -26$
$\leq -30$	$\leq -31$



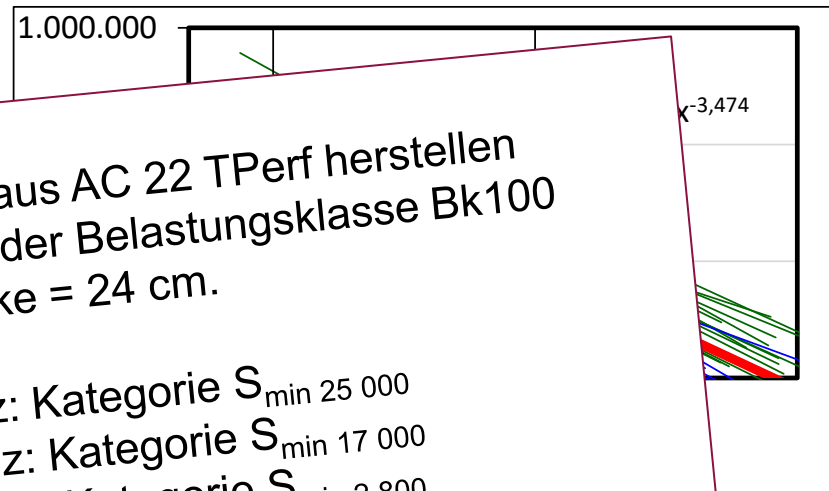
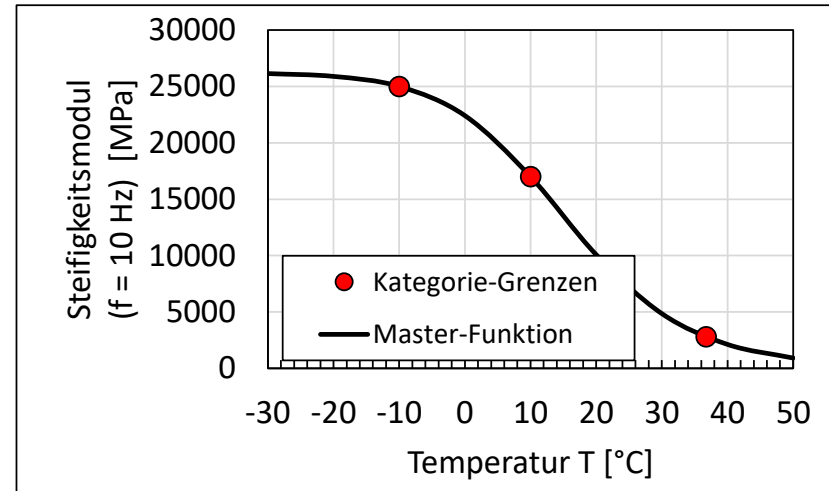
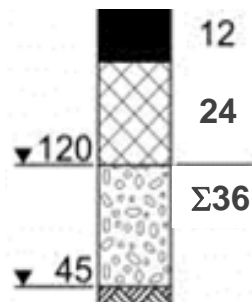
# Asphalt-Performance in der Straßenbaupraxis



## Vorschlag für konventionelle Bauverträge

### Auftraggeber:

- Auswahl von Baustoffparametern aus vorliegenden Kategorien
  - Mindest-Steifigkeiten
  - Ermüdungsfunktion
  - Maximale Bruchtemperaturen
  - Maximale Verformungsrate
- Dimensionierung der Befestigung
  - mittels RDO Asphalt
  - Anhand kategor...
- Ausschreibung von Kategorien



### Leistungsverzeichnis:

Asphalttragschicht aus AC 22 TPerf herstellen  
In Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk100  
Gesamt-Einbaudicke = 24 cm.

Mindeststeifigkeit:

-10 °C, 10 Hz: Kategorie  $S_{\min 25\,000}$

+10 °C, 10 Hz: Kategorie  $S_{\min 17\,000}$

+20 °C, 0,1 Hz: Kategorie  $S_{\min 2\,800}$

Ermüdungswiderstand: Kategorie  $N_{\text{macro min } 9/100}$

## Vorschlag für konventionelle Bauverträge

### Asphalthersteller:

- Bestimmung der Performance-Eigenschaften im Rahmen der Erstprüfung
- Gültig für 5 Jahre und mehrere Bauprojekte

### Auftragnehmer:

- Auswahl eines Mischgutes, welches den Kategorien des Leistungsverzeichnisses entspricht.

### Leistungsverzeichnis:

Asphalttragschicht aus AC 22 TS herstellen  
In Verkehrsflächen der Belastungsklasse Bk100  
Gesamt-Einbaudicke = 24 cm.

Mindeststeifigkeit:

-10 °C, 10 Hz: Kategorie  $S_{\min 25\,000}$

+10 °C, 10 Hz: Kategorie  $S_{\min 17\,000}$

+20 °C, 0,1 Hz: Kategorie  $S_{\min 2\,800}$

Ermüdungswiderstand: Kategorie  $N_{\text{macro min } 9/100}$

Kategorie	ViaToll	ViaSuper	ViaDuper	...
Mindeststeifigkeit (-10°C, 10 Hz)	$S_{\min 21\,000}$	$S_{\min 25\,000}$	$S_{\min 30\,000}$	
Mindeststeifigkeit (+10°C, 10 Hz)	$S_{\min 17\,000}$	$S_{\min 17\,000}$	$S_{\min 25\,000}$	
Mindeststeifigkeit (20°C, 0,1 Hz)	$S_{\min 5\,500}$	$S_{\min 4\,500}$	$S_{\min 4\,500}$	
Ermüdungswiderstand	$N_{\text{macro min } 9/100}$	$N_{\text{macro min } 15/200}$	$N_{\text{macro min } 25/400}$	
Kälterissbeständigkeit	$\text{TSRST}_{\text{Max-20}}$	$\text{TSRST}_{\text{Max-20}}$	$\text{TSRST}_{\text{Max-15}}$	
...				

## Vertragsabwicklung: Lösungsvorschlag

### Vertragsbestandteile:

- Performance-Eigenschaften des Asphaltmischguts, u. A.
    - Mindest-StEIFigkeit
    - Mindest-Ermüdungswiderstand
  - Einbaubedingungen
    - Verdichtungsgrad
    - ...
  - Kontrollprüfung des Auftraggebers
    - Asphaltmischgut-Eigenschaften an Mischgutproben
      - Performance-Eigenschaften (aber: an im Labor hergestellten Probekörpern)
    - Eigenschaften des Asphalteinbaus
      - Verdichtungsgrad
      - Schichtenverbund
      - ...
- Prüfen, ob angeliefertes Mischgut der ausgeschriebenen Anforderung entspricht



**Grundlage der Dimensionierung:**  
Probekörperherstellung im Labor



## Vertragsabwicklung: erlaubte Toleranzen = Prüfpräzision

Berücksichtigung von Toleranzen

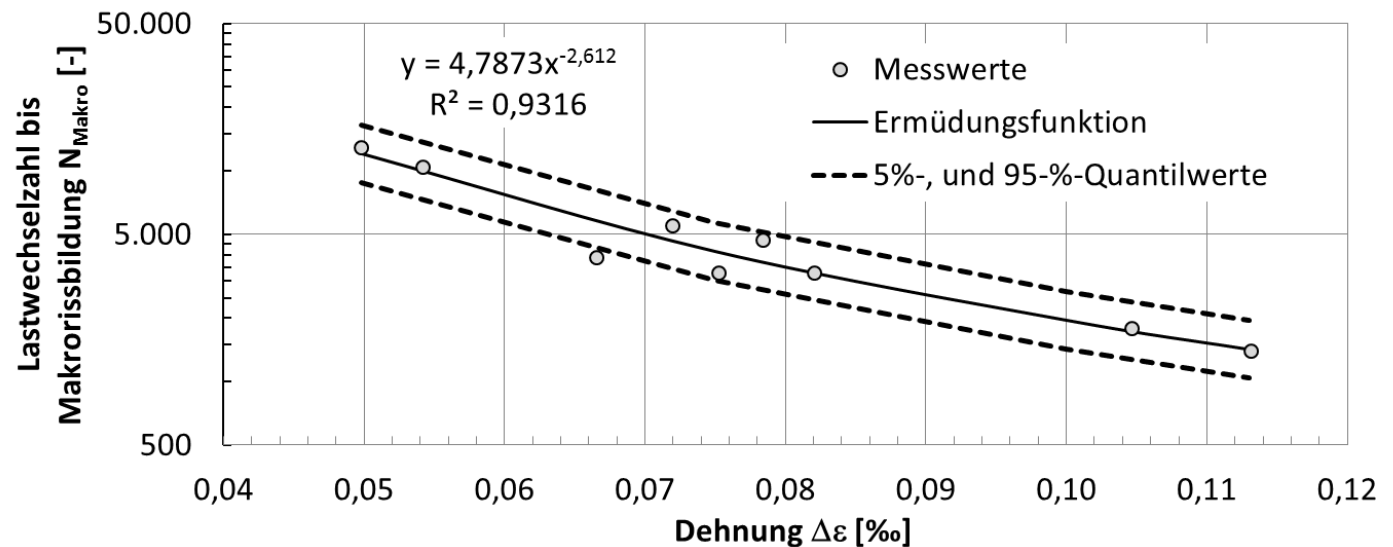
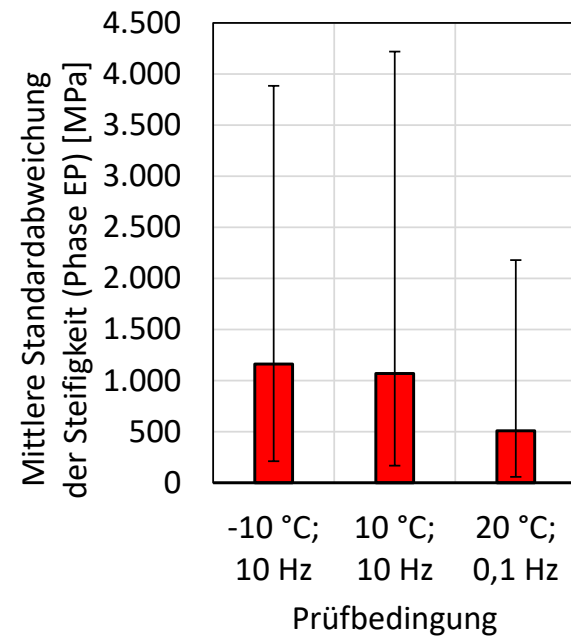
Schätzwerte für Wiederholpräzision  
(Standardabweichung)

$S_{\min}(-10\text{ °C}; 10\text{ Hz}): 3.000\text{ MPa}$

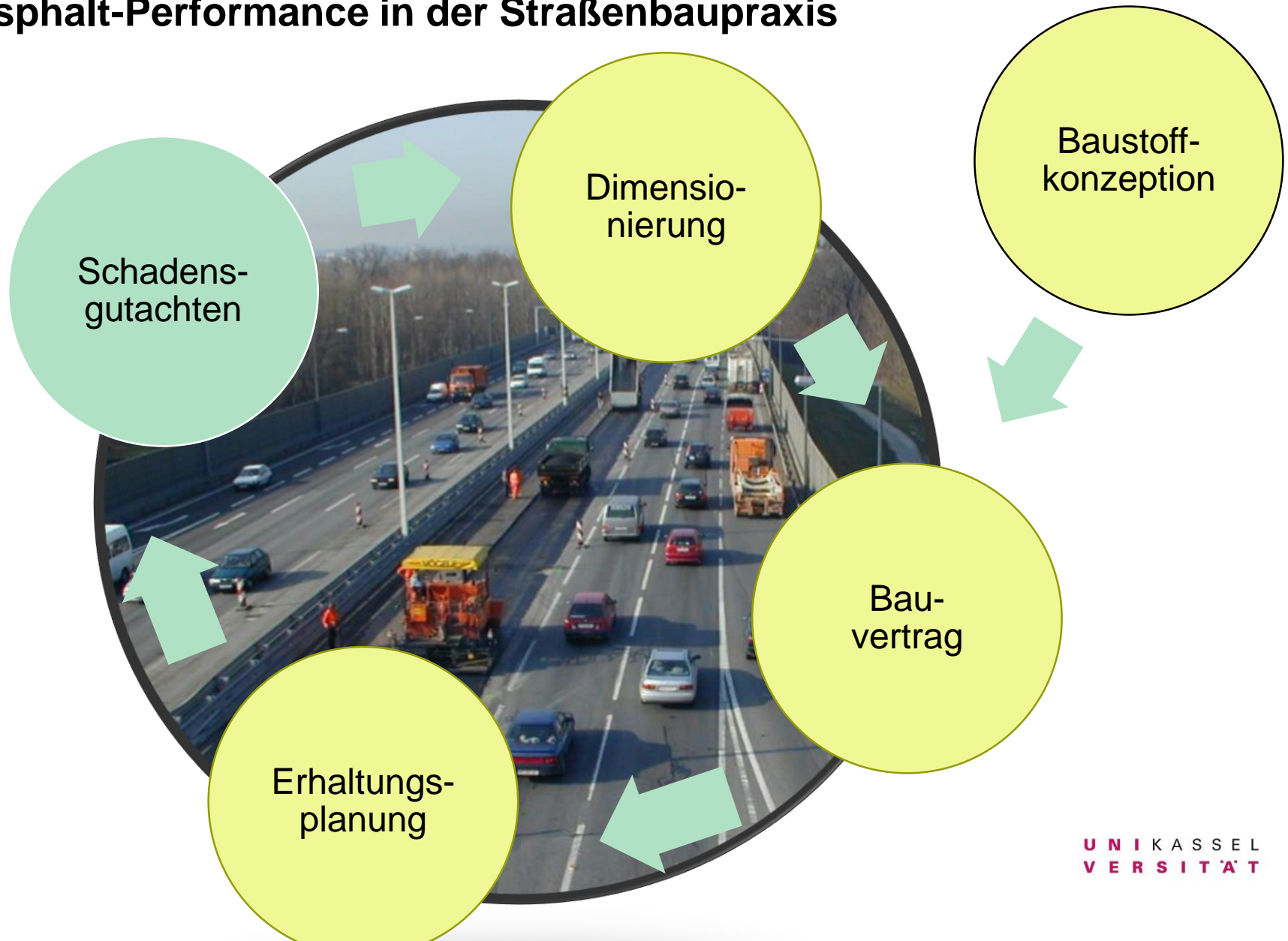
$S_{\min}(10\text{ °C}; 10\text{ Hz}): 2.000\text{ MPa}$

$S_{\min}(20\text{ °C}; 0,10\text{ Hz}): 500\text{ MPa}$

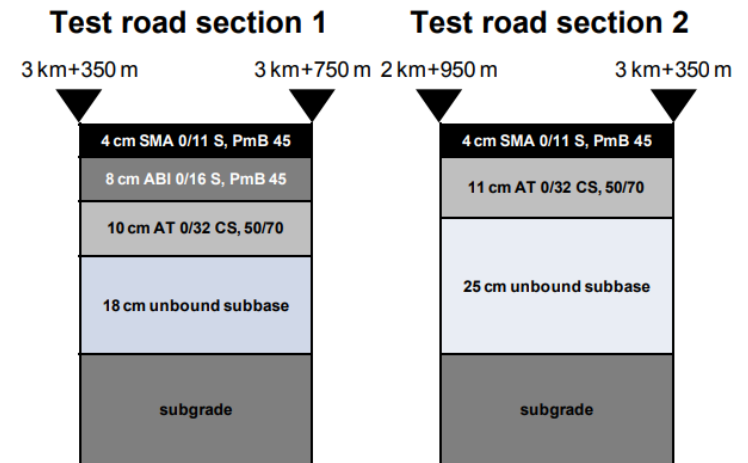
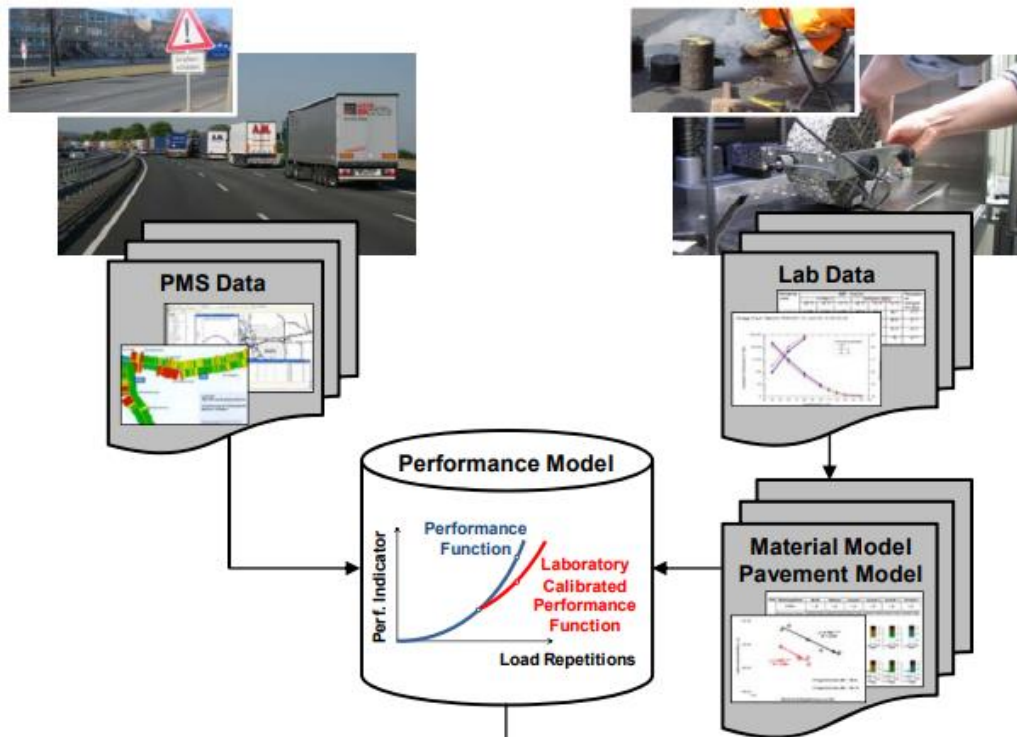
Ermüdungswiderstand:  $s_{\log} = 0,13$



# Asphalt-Performance in der Straßenbaupraxis



## Asphaltperformance in der Erhaltungsplanung: Projekt InteMat4PMS

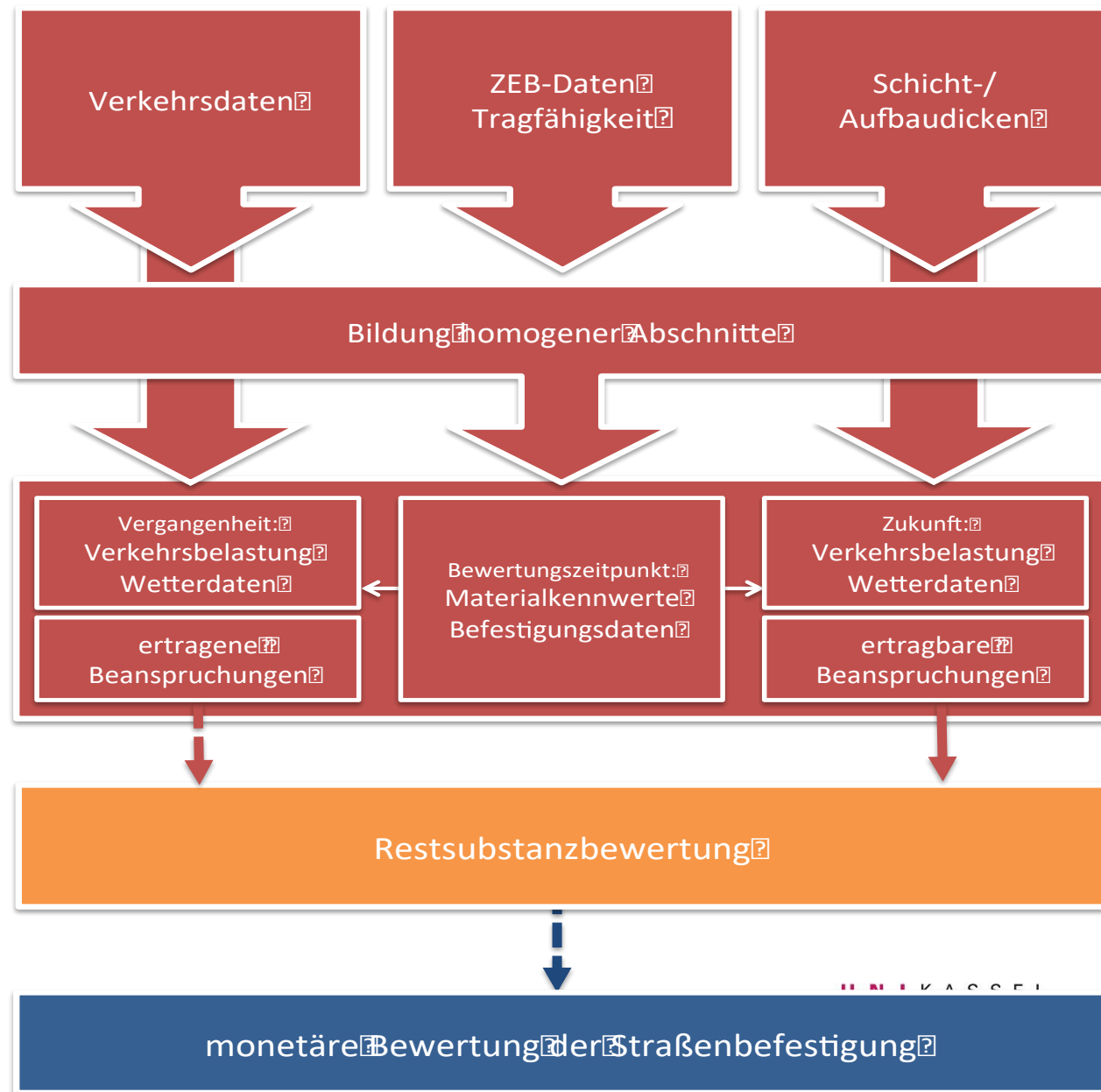


Quellen:  
 InteMat4PMS: Integration of material-science based performance models into life-cycle analysis processed in the frame of pavement management systems; Final report; 2013

Table 4: Calculated remaining life represented by number of load repetitions of an equivalent 10-tons standard axle load (ESAL)

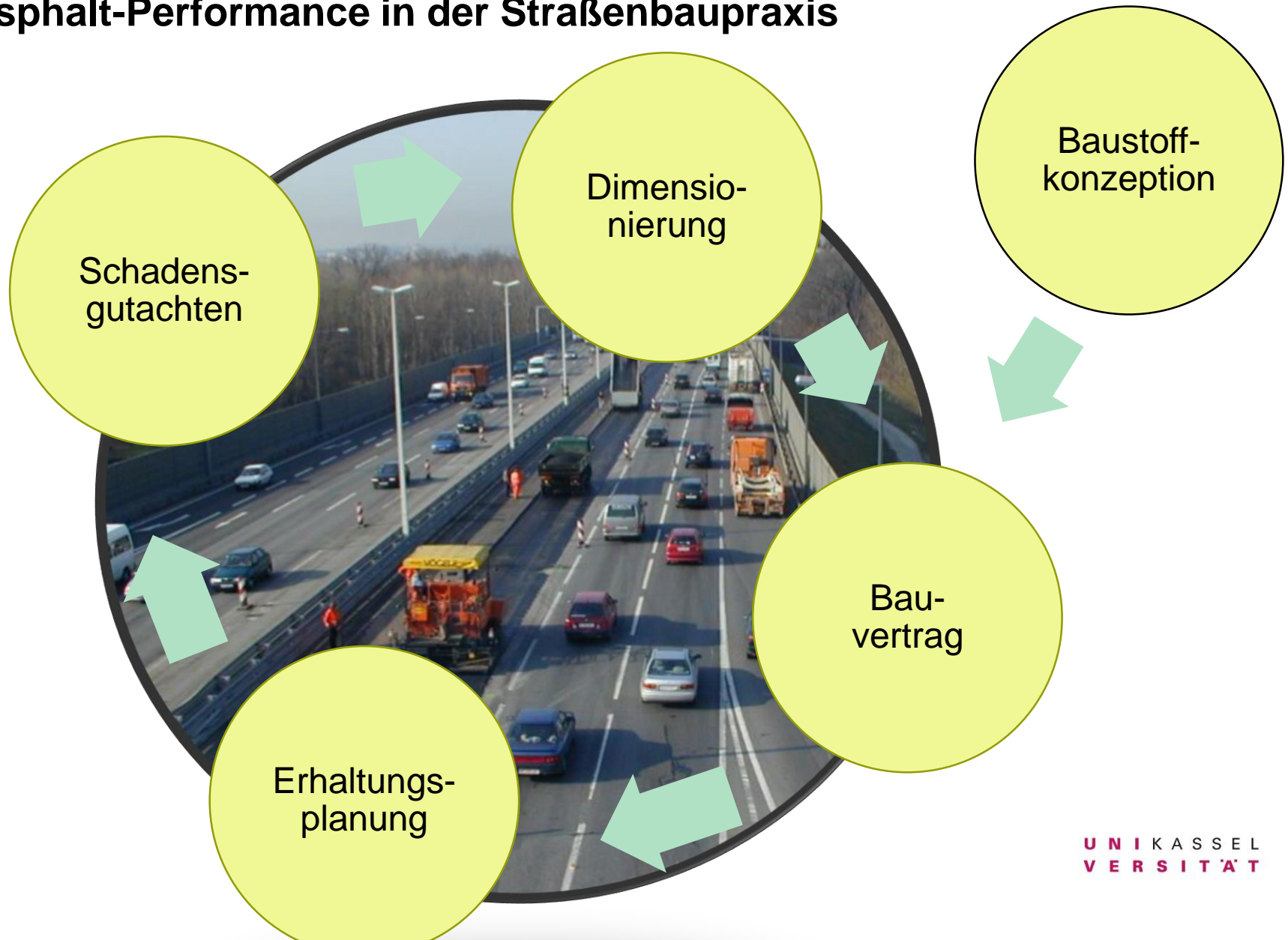
Year	ESAL [-]	
	Section 1	Section 2
2007	27 043 130	4 465 138
2010	19 847 422	-
2012	17 800 010	1 064 764

## RSO: Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise (Entwurf)



Quelle:  
RSO 2014 (Entwurf)

# Asphalt-Performance in der Straßenbaupraxis





## Asphalt-Performance: Werkzeuge für höhere Qualität!

- Steifigkeit
- Verformungsbeständigkeit
- Ermüdungsbeständigkeit
- Dauerhaftigkeit
- Kälterisswiderstand
- Verbundsteifigkeit zwischen Schichten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wesentliche Merkmale	Leistung	
1. Haftung des Bindemittels an der Gesteinskörnung	s. unten	
2. Steifigkeit	s. unten	
3. Beständigkeit gegen bleibende Verformungen	s. unten	
4. Beständigkeit gegen Ermüdung	s. unten	
5. Griffbarkeit	s. unten	
6. Beständigkeit gegen Abrieb	NPD	
7. Geräuschabsorption	s. unten	
8. Dauerhaftigkeit	s. unten	
1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	Bindemittelgehalt gemäß Erstprüfung (Soll)	6,7 M.-%
2, 3, 5, 7, 8,	Korngrößenverteilung	
	Siebdurchgang bei 16 mm	100,0 M.-%
	Siebdurchgang bei 11,2 mm	95,0 M.-%
	Siebdurchgang bei 8 mm	60,0 M.-%
	Siebdurchgang bei 5,6 mm	40,0 M.-%
	Siebdurchgang bei 2 mm	25,0 M.-%
	Siebdurchgang bei 0,063 mm	10,0 M.-%
2, 3, 4, 5, 7, 8	Minimaler Hohlraumgehalt Maximaler Hohlraumgehalt (ermittelt am Marshall-Probekörper)	$V_{\min 1,5}$ $V_{\max 4,0}$
1, 2, 3, 4, 8	Temperatur des Asphaltmischgutes	$T_{\min 150}^{\circ}\text{C}$ $T_{\max 190}^{\circ}\text{C}$
2, 3, 4, 5, 7, 8	Hohlraumausfüllungsgrad (Bitumenausfüllungsgrad)	$VFB_{\min NR}$ $VFB_{\max NR}$
3, 8	Beständigkeit gegen bleibende Verformung	keine Anforderung
1, 8	Wasserempfindlichkeit	$ITSR_{NR}$
1, 4, 8	Bindemittelablauf	$D_{NR}$
6, 8	Beständigkeit gegen Abrieb durch Spikes-Reifen	$Abr_{NR}$