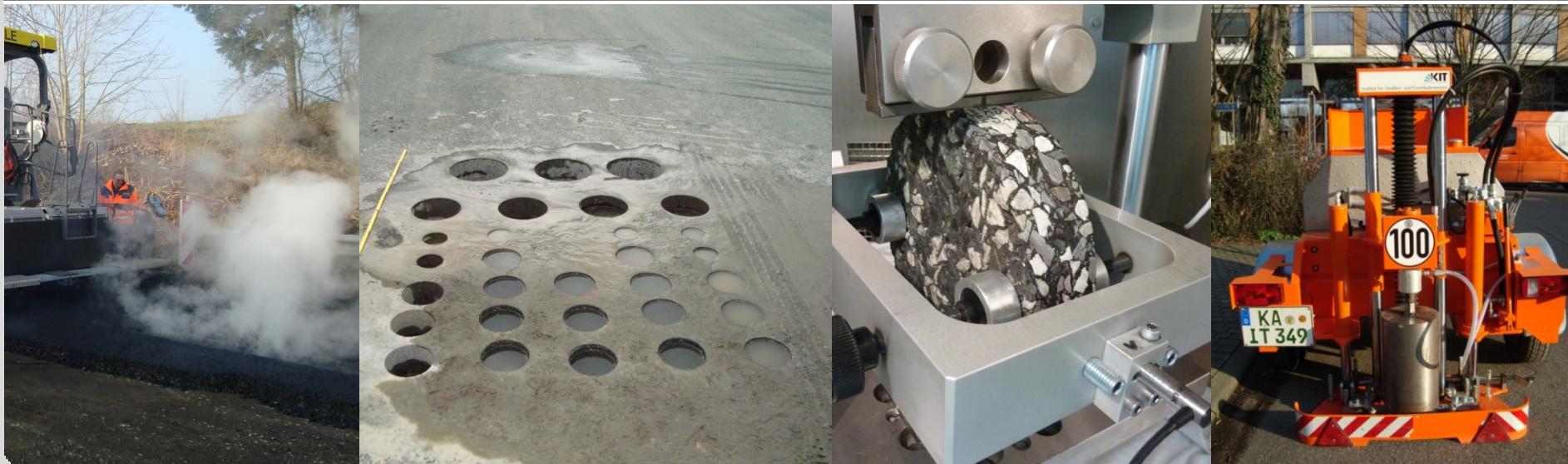


Performance von Asphalt

Vorschlag für Anforderungswerte und deren Einbindung in den Bauvertrag

Konrad Mollenhauer, Universität Kassel



Gliederung

- Bauproduktenverordnung:
 - Beschreibung der Leistung von Asphaltmischgut über Performance-Eigenschaften
 - Ergänzungen im Europäischen Regelwerk
 - Überprüfung der vorhandenen und vorgeschlagenen Kategorien
- Anwendung der RDO im konventionellen Bauvertrag
 - Bisherige Vorgehensweise
 - Auswirkungen der „Phasen“ – Simulation einer Kontrollprüfung
 - Vorschlag eines bauvertraglichen Anforderungssystems

Problem Bauproduktenverordnung BPVO (305/2011)

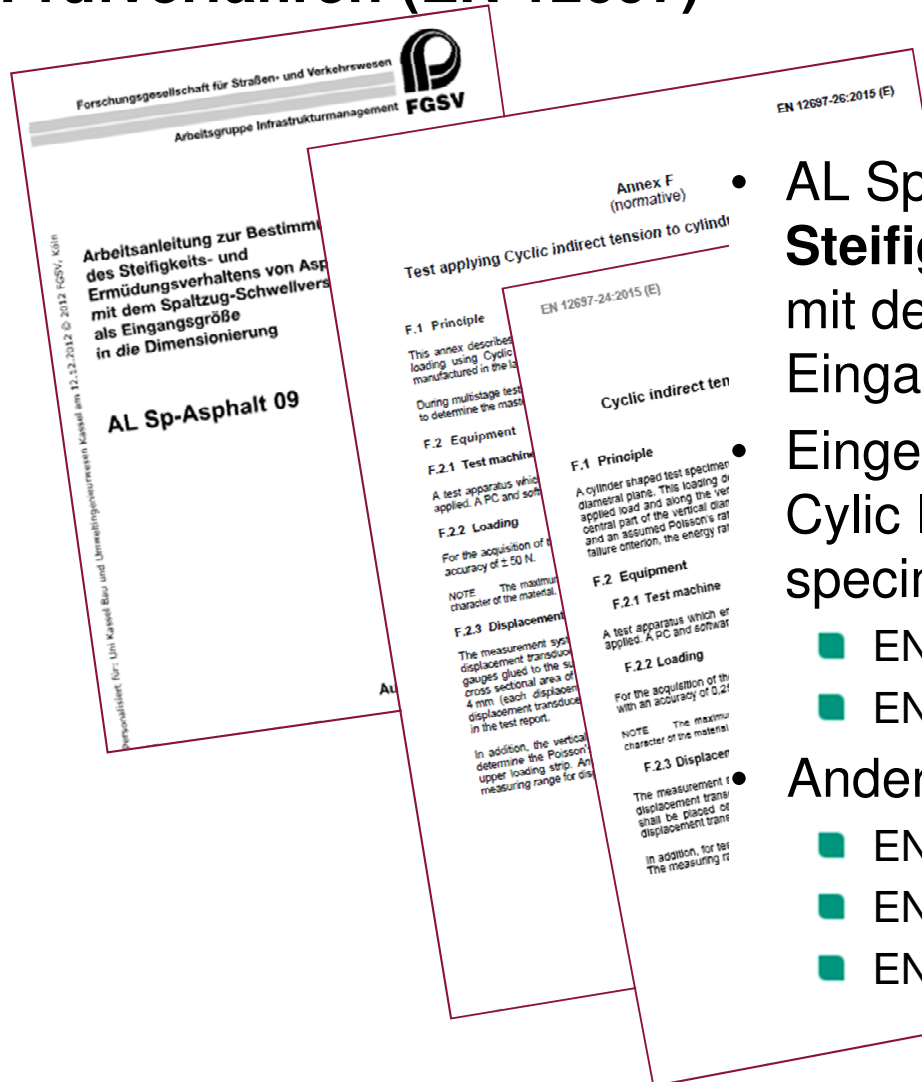
- Bauproduktenverordnung, Artikel 8:
 - (5): Ein Mitgliedstaat stellt sicher, dass öffentliche oder private Stellen, [...] , die Verwendung von Bauprodukten, die die CE-Kennzeichnung tragen, **weder durch zusätzliche Vorschriften noch durch Auflagen** behindern, wenn die erklärten Leistungen den Anforderungen für diese Verwendung in dem betreffenden Mitgliedstaat entsprechen.
 - (6) **Die Mitgliedstaaten passen die Verfahren, die sie in ihren Anforderungen an Bauwerke verwenden, sowie** andere nationale Regeln in Bezug auf **die Wesentlichen Merkmale** („*diejenigen Merkmale des Bauprodukts, die sich auf die Grundanforderungen an Bauwerke beziehen*“) **von Bauprodukten an die harmonisierten Normen an.**
- Eingangsgrößen für die Dimensionierung müssen gemäß harmonisierten Normen bestimmt und gefordert werden
 - Prüfverfahren: DIN EN 12697
 - Anforderungen: DIN EN 13108

Wesentliche Merkmale (Asphalt)

1. Adhäsion zwischen Bindemittel und Gestein
- 2. Steifigkeit**
- 3. Widerstand gegen bleibende Verformungen**
- 4. Ermüdungswiderstand**
- 5. Griffigkeit**
6. Widerstand gegen Abrieb
7. Brandverhalten
8. Geräuschabsorption
9. Dauerhaftigkeit

Wesentliche Merkmale	Leistung		Harmonisierte technische Spezifikation
1. Adhäsion zwischen Bindemittel und Gestein 2. Steifigkeit 3. Widerstand gegen bleibende Verformungen 4. Ermüdungswiderstand 5. Griffigkeit 6. Widerstand gegen Abrieb 7. Brandverhalten 8. Geräuschabsorption 9. Dauerhaftigkeit			
1, 2, 3, 4, 5, 8, 9	Bindemittelgehalt gemäß Erstprüfung (Soll)	6,7 M.-%	EN 13108-5:2006
2, 3, 5, 8, 9	Korngrößenverteilung Siebdurchgang bei 16 mm Siebdurchgang bei 11,2 mm Siebdurchgang bei 8 mm Siebdurchgang bei 5,6 mm Siebdurchgang bei 2 mm Siebdurchgang bei 0,063 mm	100,0 M.-% 95,0 M.-% 60,0 M.-% 40,0 M.-% 25,0 M.-% 10,0 M.-%	EN 13108-5:2006
2, 3, 4, 5, 8, 9	Maximaler Hohlraumgehalt MPK Minimaler Hohlraumgehalt MPK	$V_{max 4,0}$ $V_{min 1,5}$	EN 13108-5:2006
1, 2, 3, 4, 9	Temperatur des Asphaltmischgutes	$T_{max} 190 \text{ °C}$	EN 13108-5:2006
2, 3, 4, 5, 8, 9	Hohlraumausfüllungsgrad	$T_{min} 150 \text{ °C}$	EN 13108-5:2006
3, 9	Widerstand gegen bleibende Verformung	KLF	EN 13108-5:2006
1, 9	Wasserempfindlichkeit	KLF	EN 13108-5:2006
1, 4, 9	Bindemittelablauf	KLF	EN 13108-5:2006
6, 9	Widerstand gegen Abrieb durch Spikes-Reifen	KLF	EN 13108-5:2006
7, 9	Brandverhalten	KLF	EN 13108-5:2006

Ergänzungen im harmonisierten Regelwerk: Prüfverfahren (EN 12697)



- AL Sp-Asphalt 09:
Steifigkeits- und Ermüdungsverhalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung

Eingeführt in:
Cyclic Indirect Tension on CYlindrical specimen (CIT-CY)

- EN 12697-24, Annex F (2015)
- EN 12697-26, Annex F (2015)

Andere Teile der EN 12697:

- EN 12697-25, Einaxialer Druck-Schwellversuch
- EN 12697-46, Abkühl- und Zugversuche
- EN 12697-49, Griffigkeit

Ergänzungen im harmonisierten Regelwerk: Anforderungsnormen (EN 13108)

- Für welche Performance-Eigenschaften werden Anforderungen benötigt?

- RDO-Asphalt:
 - Steifigkeitsmodul
 - Ermüdungswiderstand
- Weitere Performance-Eigenschaften:
 - Kälterisswiderstand
 - Verformungswiderstand
 - Griffigkeit

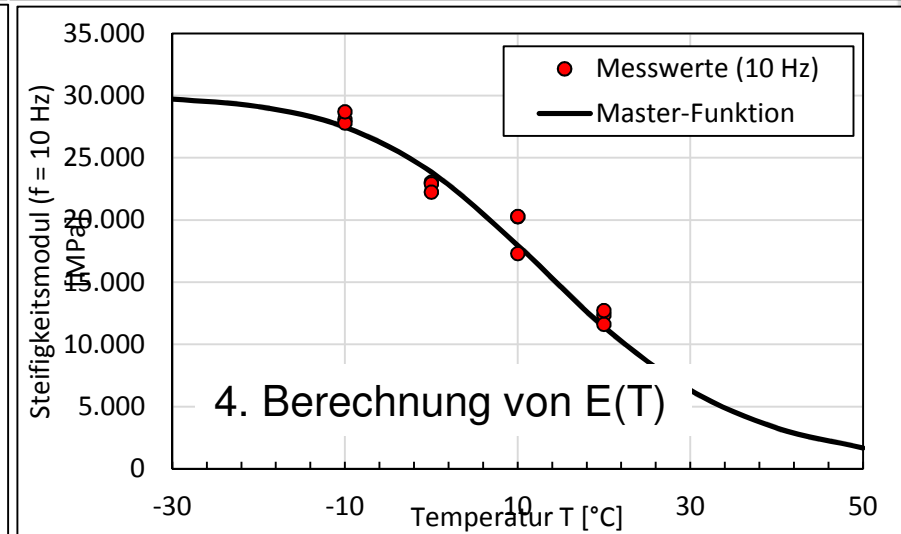
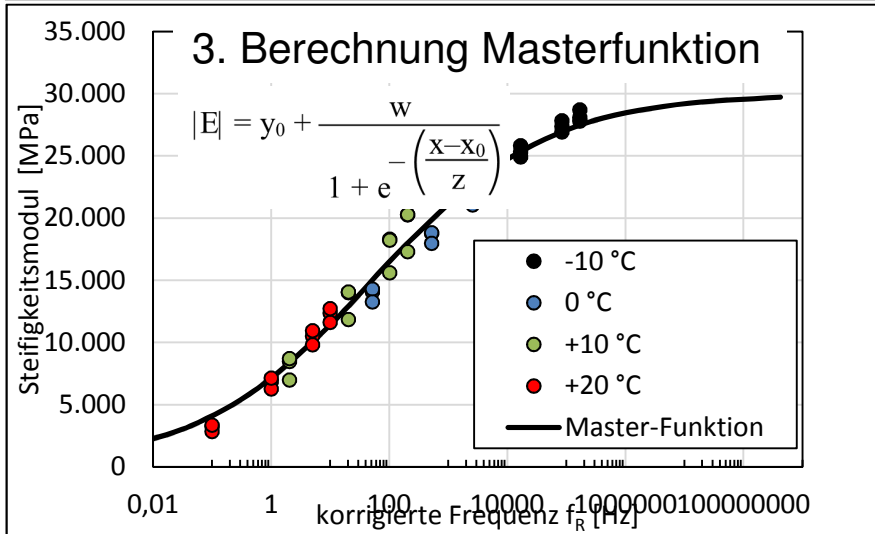
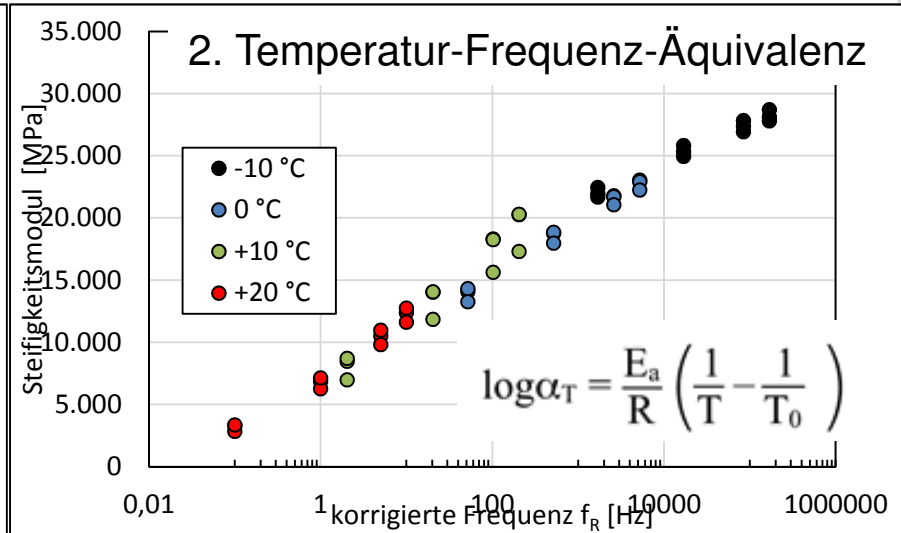
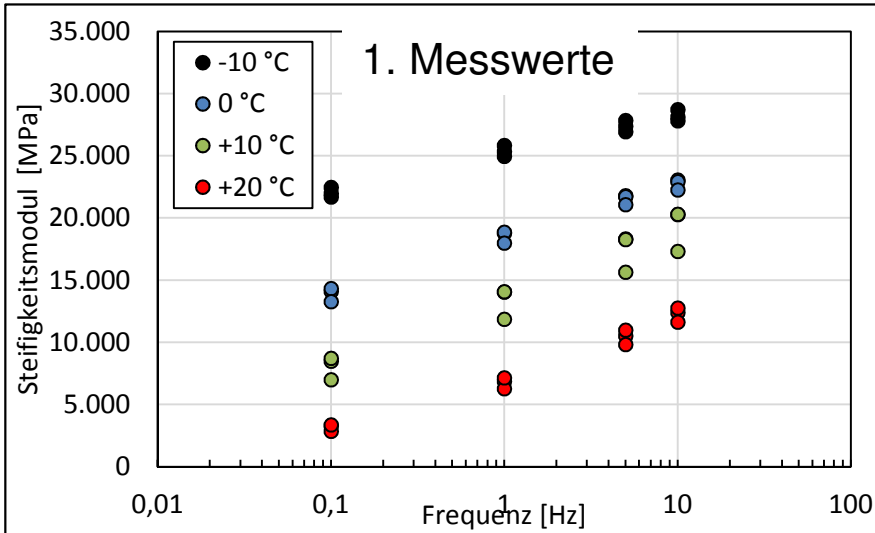
- Welche sind bereits in EN 13108 (2006) enthalten

- Steifigkeitsmodul
- Ermüdungswiderstand
- Verformungswiderstand

Geeignet?

Wesentliche Merkmale	Leistung	Harmonisierte technische Spezifikation
1. Adhäsion zwischen Bindemittel und Gestein 2. Steifigkeit 3. Widerstand gegen bleibende Verformungen 4. Ermüdungswiderstand 5. Griffigkeit 6. Widerstand gegen Abrieb 7. Brandverhalten 8. Geräuschabsorption 9. Dauerhaftigkeit		
1, 2, 3, 4, 5, 8, 9	Bindemittelgehalt gemäß Erstprüfung (Soll) 6,7 M.-%	EN 13108-5:2006
2, 3, 5, 8, 9	Korngrößenverteilung Siebdurchgang bei 16 mm Siebdurchgang bei 11,2 mm Siebdurchgang bei 8 mm Siebdurchgang bei 5,6 mm Siebdurchgang bei 2 mm Siebdurchgang bei 0,063 mm	100,0 M.-% 95,0 M.-% 60,0 M.-% 40,0 M.-% 25,0 M.-% 10,0 M.-%
2, 3, 4, 5, 8, 9	Maximaler Hohlraumgehalt MPK Minimaler Hohlraumgehalt MPK	$V_{max\ 4,0}$ $V_{min\ 1,5}$
1, 2, 3, 4, 9	Temperatur des Asphaltmischgutes $T_{max\ 190\ ^\circ C}$	$T_{max\ 150\ ^\circ C}$
2, 3, 4, 5, 8, 9	Hohlraumausfüllungsgrad	KLF
3, 9	Widerstand gegen bleibende Verformung	KLF
4, 9	Wasserempfindlichkeit	KLF
1, 4, 9	Bindemittelablauf	KLF
6, 9	Widerstand gegen Abrieb durch Spikes-Reifen	KLF
7, 9	Brandverhalten	KLF

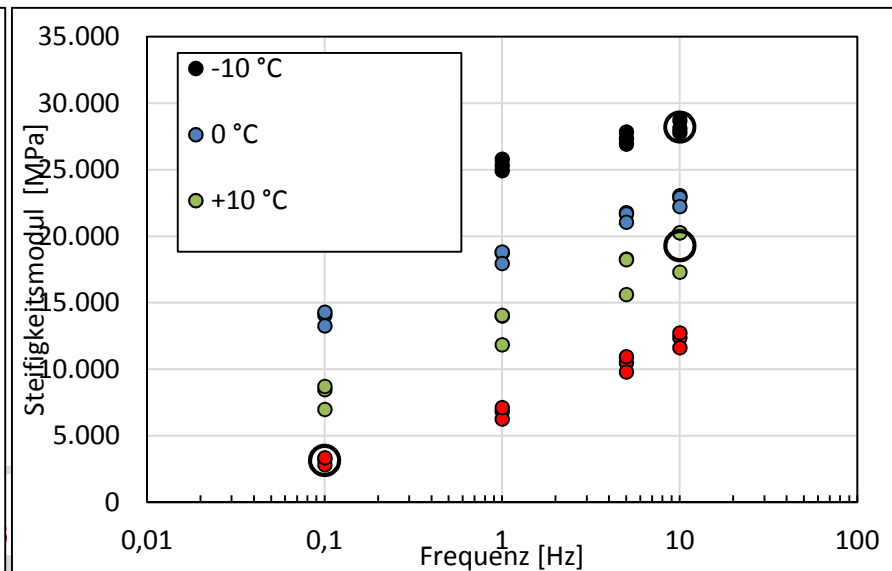
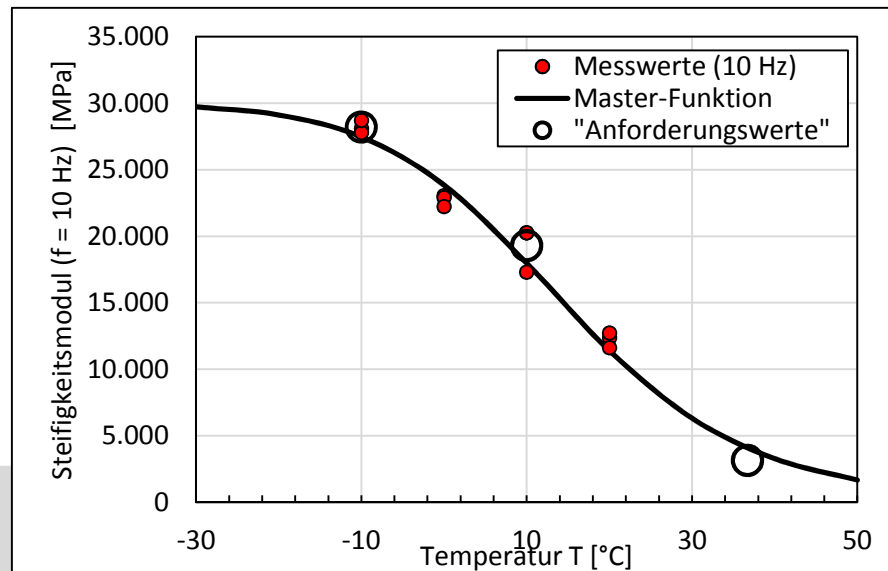
Steifigkeit: Anforderungen an Prüfsystematik für die RDO



Steifigkeit:

Anforderungswerte an den Steifigkeitsmodul

- Anforderungen an Funktionsparameter der Masterfunktion (y_0, w, x_0, z)
 - 👍 Erforderlich für die Dimensionierung nach RDO
 - 👎 Hängen ab vom Auswerteverfahren (Master-Funktion)
 - 👎 Andere Master-Funktionsgleichungen werden ausgeschlossen
- Anforderungen an Messwerte:
 $E(20\text{ °C} - 0,1\text{ Hz})$; $E(10\text{ °C} - 10\text{ Hz})$; $E(-10\text{ °C} - 10\text{ Hz})$
 - 👎 Nicht direkt für die Dimensionierung verwendbar
 - 👍 Nicht durch Auswertung (Bildung der Masterfunktion) beeinflusst
 - 👍 Weniger „fehleranfällig“ (Einfluss Mensch)
 - 👍 Verwendbar für andere Auswerteverfahren



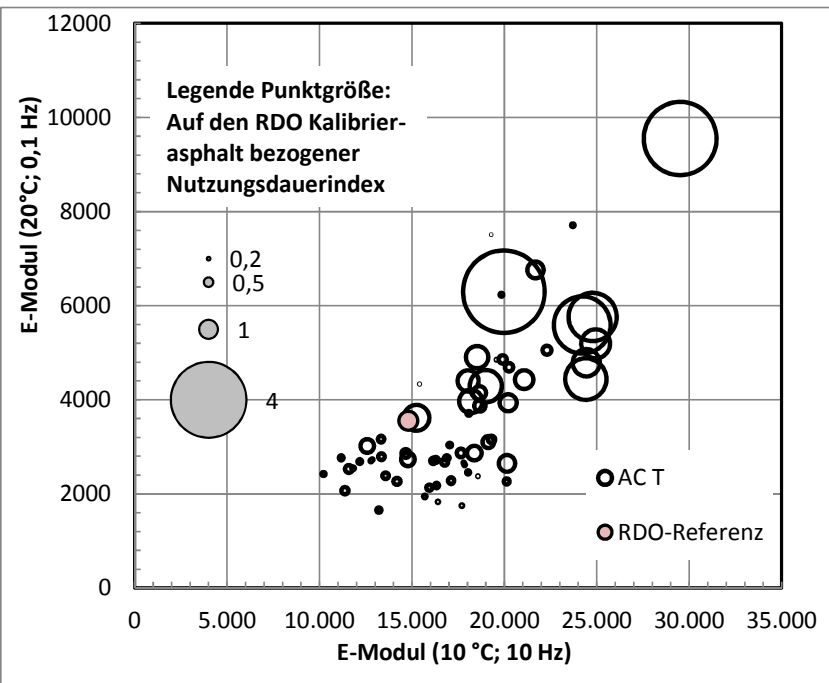
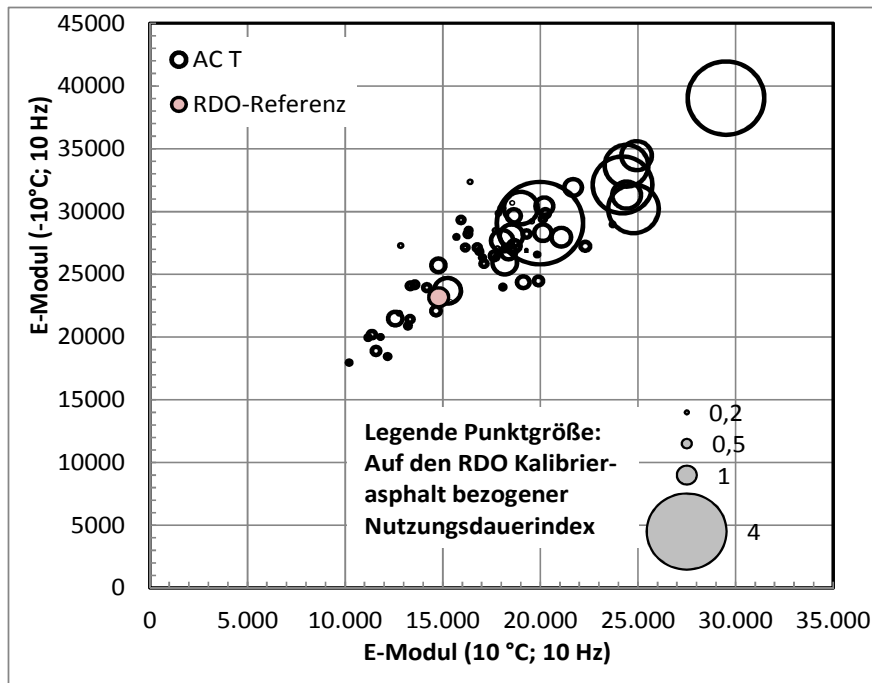
Dimensionierungsrelevanz der Steifigkeit

- Nutzungsdauerindex: $I_N = \frac{N_i}{N_{RDO}}$

N_i : rechnerische Nutzungsdauer,

N_{RDO} : rechnerische Nutzungsdauer mit RDO Kalibrierasphalt

- Mindeststeifigkeit als sinnvoller Anforderungswert



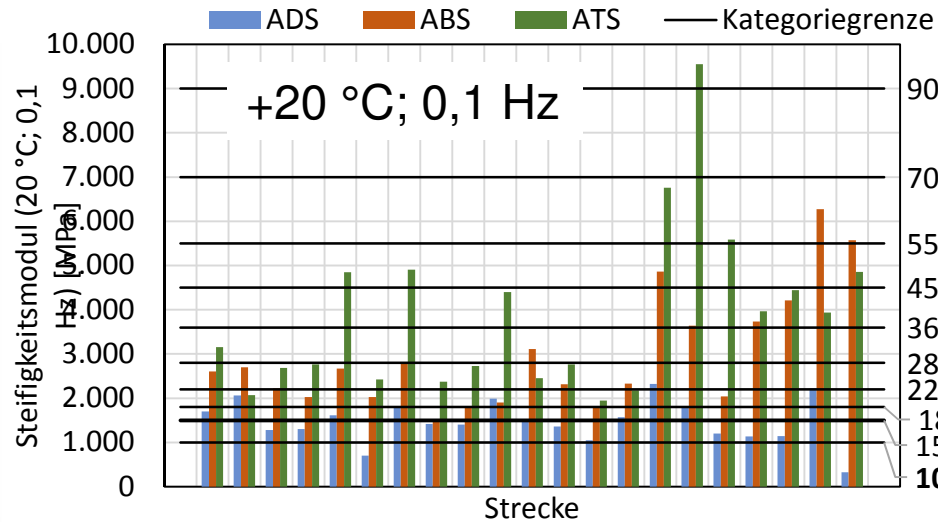
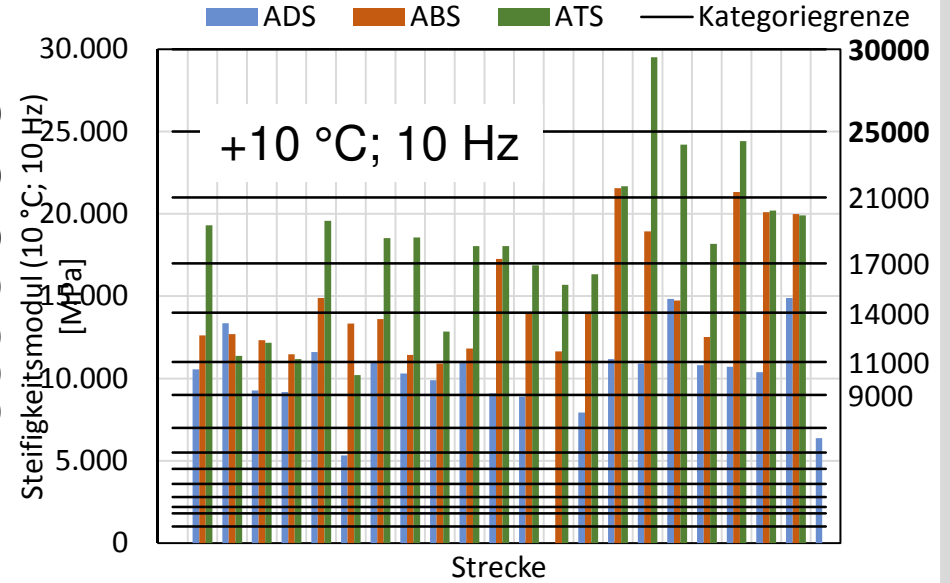
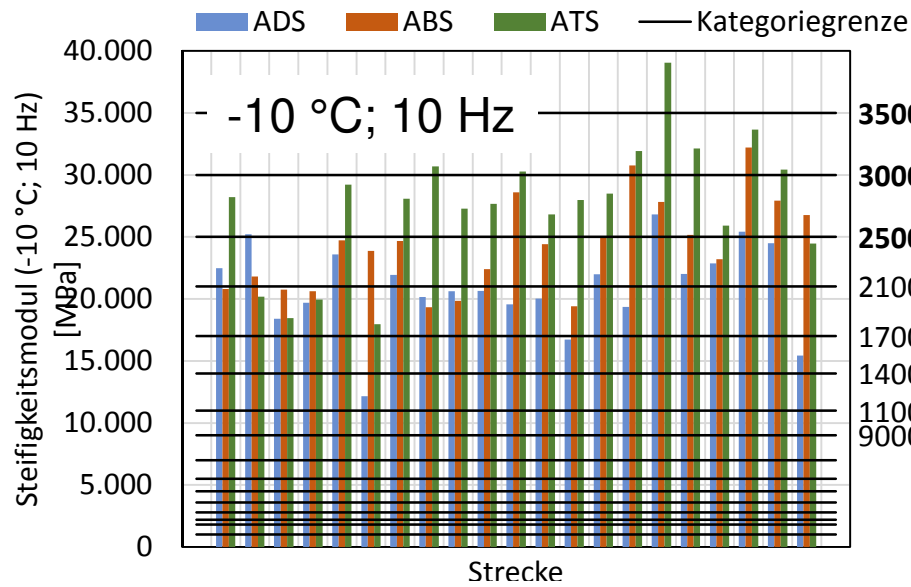
Steifigkeit: Prüfbedingungen (EN 13108-20) – Entwurf 2015

- Ergänzung des Spaltzug-Schwellversuchs (CIT-CY)
 - CIT-CY – 20 °C – 0,1 Hz
 - CIT-CY – 10 °C – 10 Hz
 - CIT-CY – -10 °C – 10 Hz
- Sind bisher beschriebene Kategorien geeignet?

Table D.3 — Methods, procedures and test conditions for the determination of stiffness

Reference	Type of loading	Temperature	Frequency or loading time
D.3.1	2PB-TR	15 °C	10 Hz
D.3.2	2PB-TR	30 °C	10 Hz
D.3.3	2PB-PR	15 °C	10 Hz
D.3.4	3PB-PR	15 °C	10 Hz
D.3.5	4PB-PR	20 °C	8 Hz
D.3.5.1	4PB-PR	10 °C	10 Hz
D.3.6	DTC-CY	15 °C	10 Hz
D.3.7	DT-CY or DT-PR	15 °C	0,02 s
D.3.8	IT-CY	10 °C	124 ms
D.3.9	IT-CY	15 °C	124 ms
D.3.10	IT-CY	20 °C	124 ms
D3.11	CIT-CY	10 °C	10 Hz
D3.12	CIT-CY	20°C	0,1 Hz
<i>D3.13</i>	<i>CIT-CY</i>	<i>-10 °C</i>	<i>10 Hz</i>

Steifigkeits-Kategorien



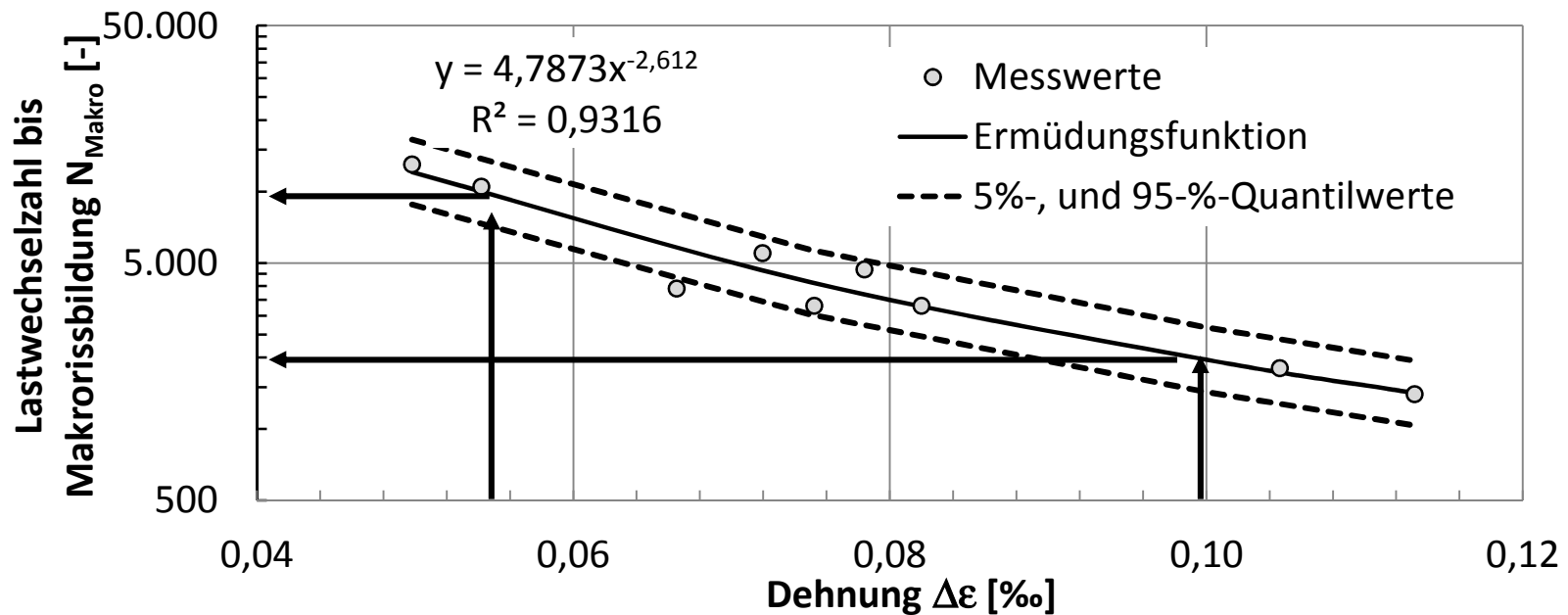
Mindest
Ergänzung
(EN 13131-1)

- $S_{min 1}$
- $S_{min 2}$
- $S_{min 3}$
- $S_{min 3}$

Table 16 — Minimum stiffness, S_{min}

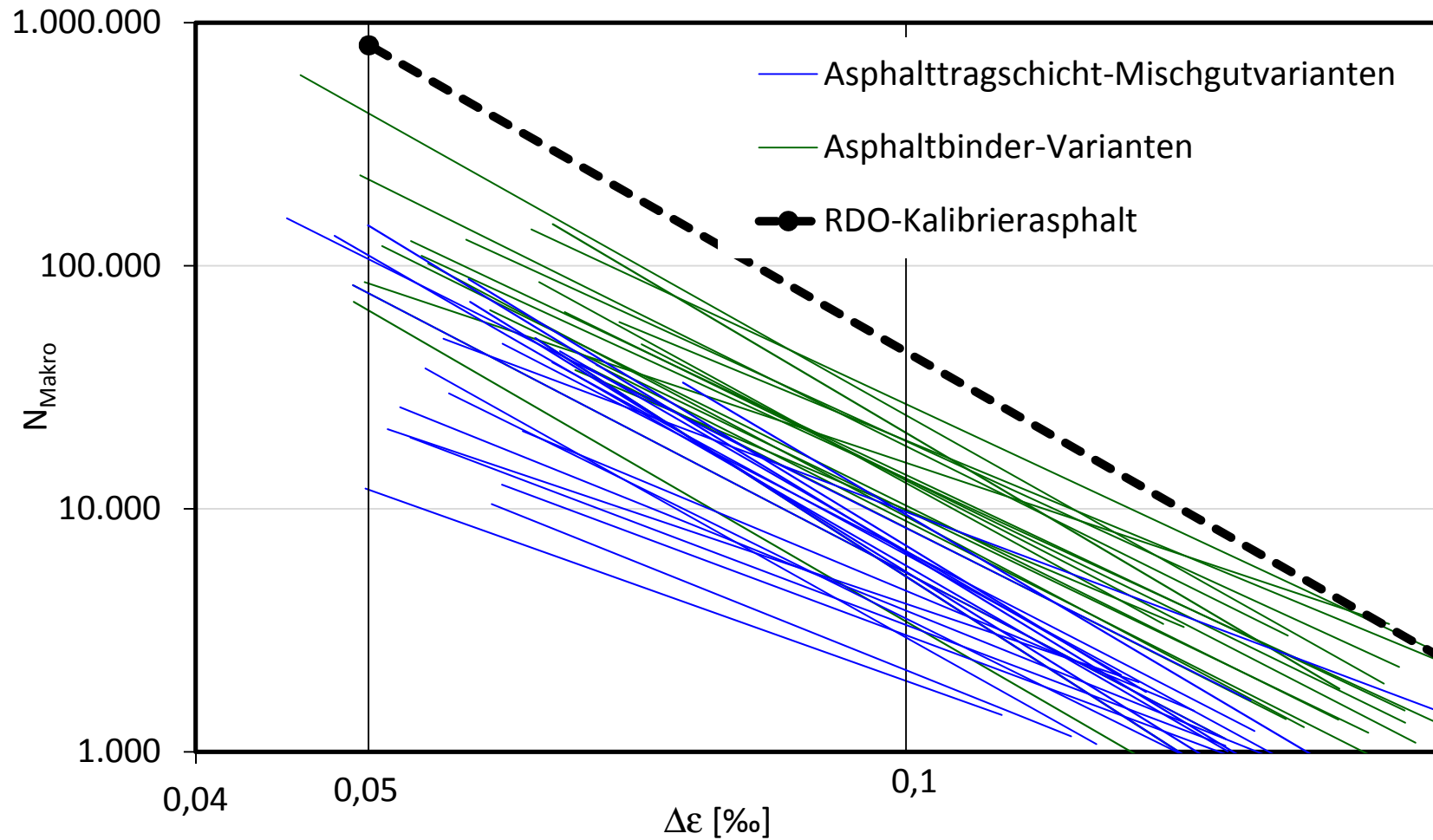
Minimum stiffness MPa	Category S_{min}
21 000	$S_{min 21 000}$
17 000	$S_{min 17 000}$
14 000	$S_{min 14 000}$
11 000	$S_{min 11 000}$
9 000	$S_{min 9 000}$
7 000	$S_{min 7 000}$
5 500	$S_{min 5 500}$
4 500	$S_{min 4 500}$
3 600	$S_{min 3 600}$
2 800	$S_{min 2 800}$
2 200	$S_{min 2 200}$
1 800	$S_{min 1 800}$
1 500	$S_{min 1 500}$
No requirement	$S_{min NR}$

Ermüdungswiderstand

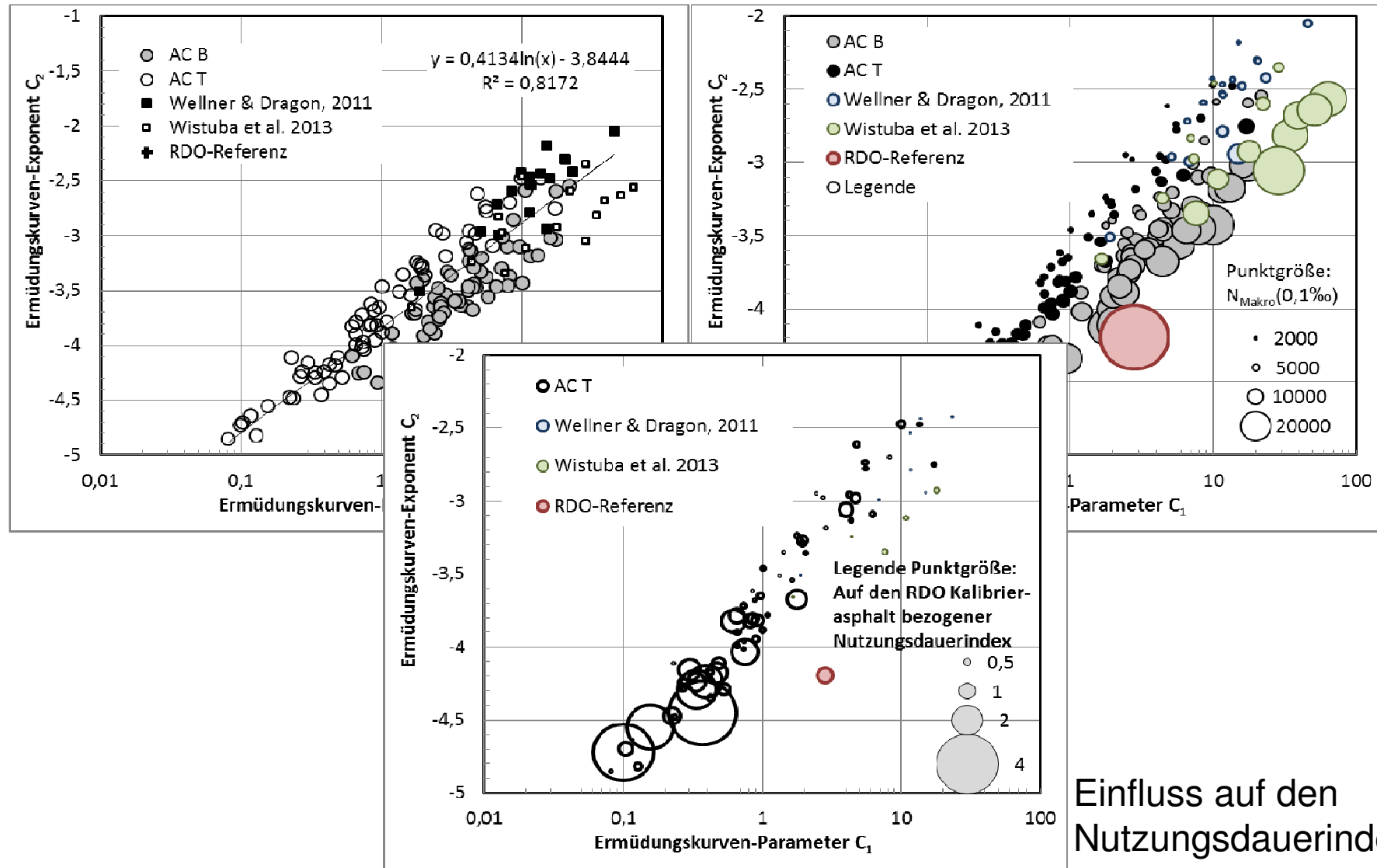


- Bisher enthält EN 13108-20 Kategorien für ε_6 (Dehnung, welche nach 1.000.000 Lastwechseln zum Ermüdungseintritt führt)
 - Nicht für CIT-CY geeignet
 - Nicht ausreichend zur Beschreibung der Ermüdungsfunktion (Exponent ist erforderlich für RDO)
- Neue Ermüdungskategorie: $N_{\text{macro,min}}$
 - Ertragbare Lastwechselzahlen bei 0,05 % bzw. 0,1 % Dehnung

Ermüdungsparameter $N_{\text{Makro}}(0,05 \text{ ‰})$ bzw. $N_{\text{Makro}}(0,1 \text{ ‰})$



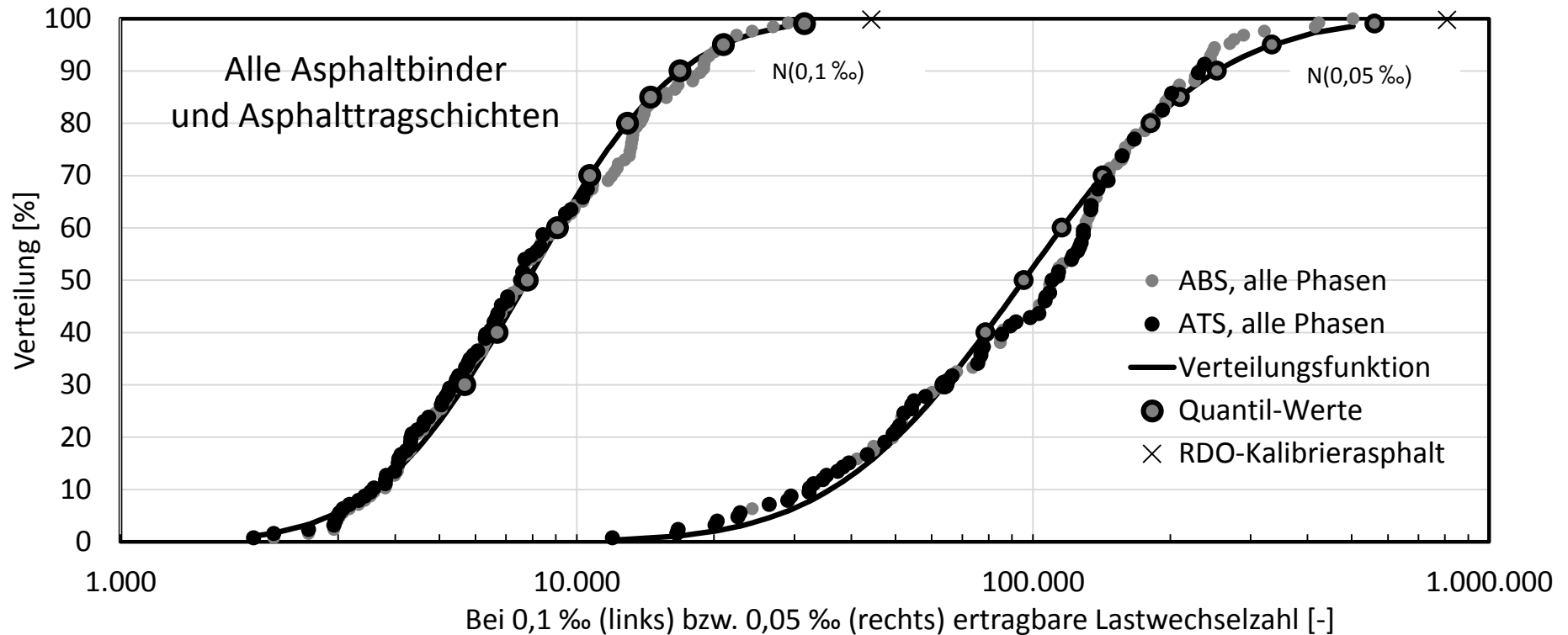
Ermüdungsfunktionsparameter C_1 und C_2



Einfluss auf den Nutzungsdauerindex

Verteilung der Ermüdungsparameter

$N_{\text{Makro}}(0,05 \text{ ‰})$ bzw. $N_{\text{Makro}}(0,1 \text{ ‰})$



Neue Anforderungskategorien $N_{\text{macro,min}}$

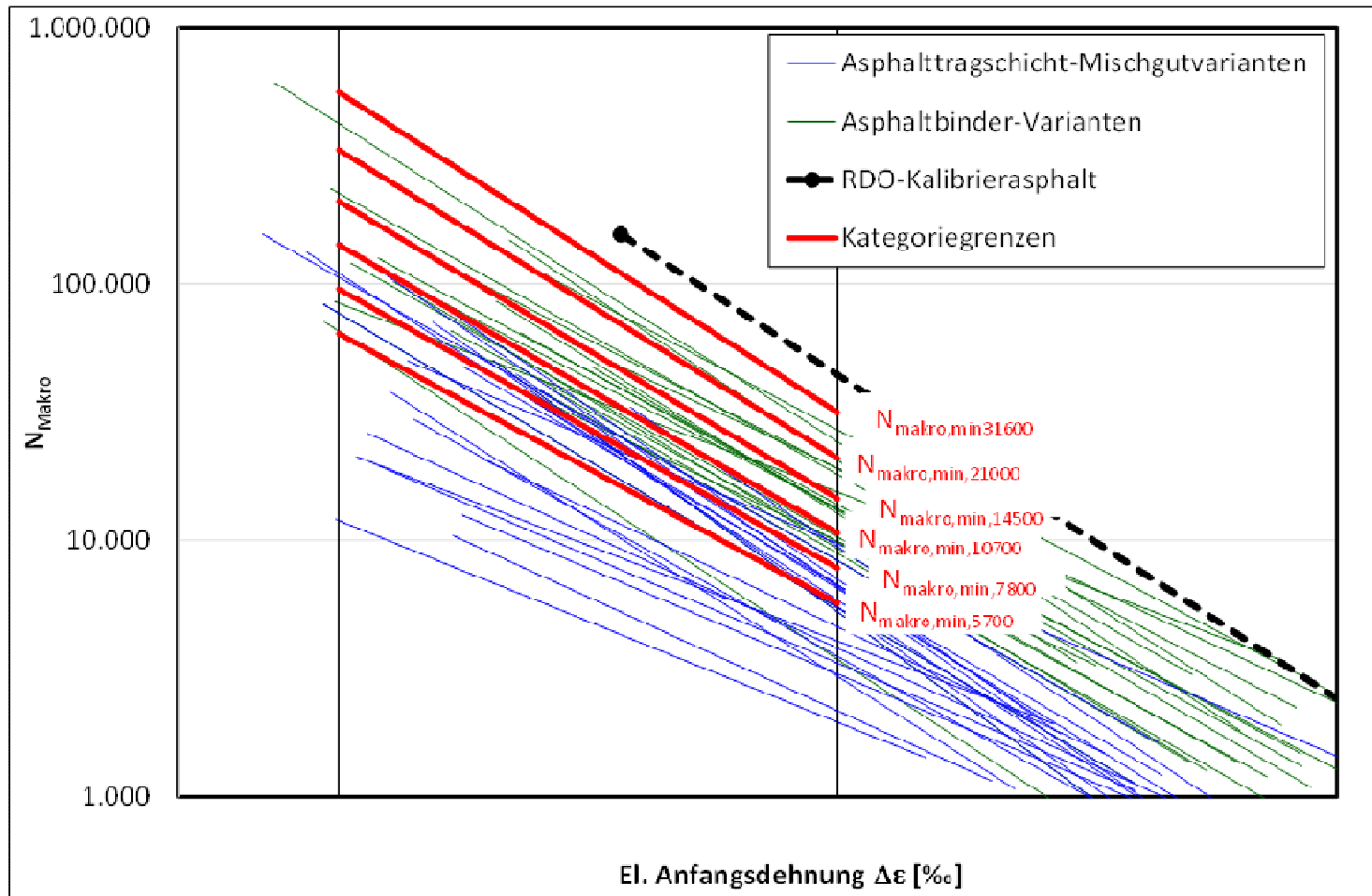
Quantilwert der Normalverteilung	Minimale Lastwechselzahl bei einer Dehnung von $\epsilon_{\text{el,anf}} = 0,1 \text{ ‰}$	Minimale Lastwechselzahl bei einer Dehnung von $\epsilon_{\text{el,anf}} = 0,05 \text{ ‰}$	Kategorie $N_{\text{Makro,min}}$	Informativ: Ermüdungsfunktionsparameter C_1	Informativ: Ermüdungsfunktionsparameter C_2
30 %	5.686	64.059	$N_{\text{Makro,min},5.700}$	1,824	-3,494
50 %	7.795	95.504	$N_{\text{Makro,min},7.800}$	1,892	-3,615
70 %	10.686		$N_{\text{Makro,min},10.700}$	1,963	-3,736
85 %	14.541				-3,854
95 %	20.967				-3,995
99 %	31.593				-4,152
	No requirements				-

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

Minimum load cycle number until macro crack formation for $\Delta\epsilon = 0,1 \text{ ‰}$	Minimum load cycle number until macro crack formation for $\Delta\epsilon = 0,05 \text{ ‰}$	Category $N_{\text{macro min}}$
3 000	30 000	$N_{\text{macro min}} 3/30$
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	No requirement	$N_{\text{macro min}} \text{NR}$

Hinweis:
In EN 13108 (2015) in leicht modifizierter Form

Neue Anforderungskategorien $N_{\text{makro,min}}$



*Hinweis:
In EN 13108 (2015) in leicht modifizierter Form umgesetzt!*

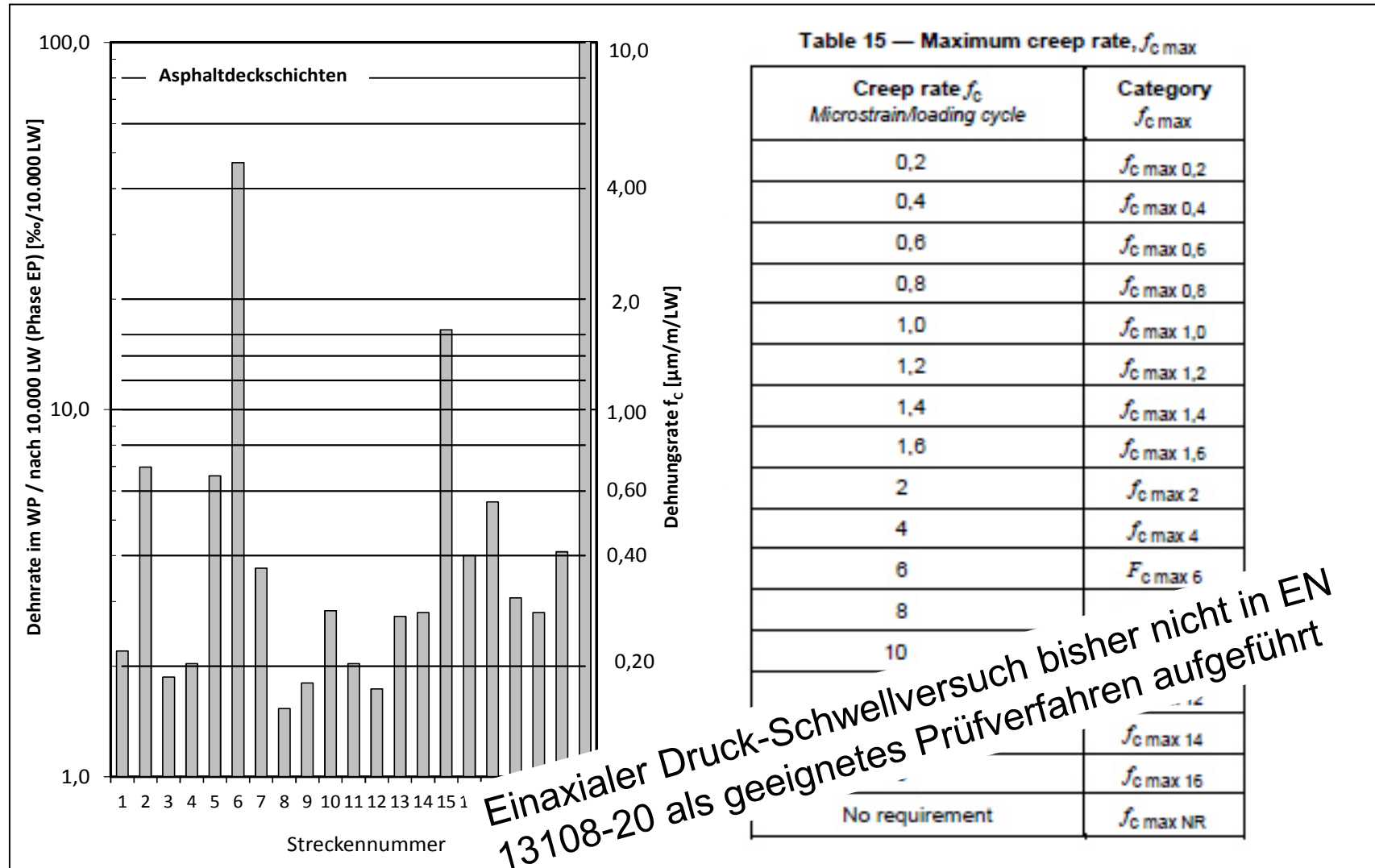
Kategorien für die Kälterissemfindlichkeit

- Kategorien an maximale Bruchtemperatur in EN 13108 für Asphaltbetone und anderes Asphaltdeckschichtmischgut implementiert
- Für eine differenzierte Kategorisierung geeignet.

Tabelle 22 — Maximale Bruchtemperatur $TSRST_{max}$

Maximale Bruchtemperatur °C	Kategorie $TSRST_{max}$
-15,0	$TSRST_{max}$ 15,0
-17,5	$TSRST_{max}$ 17,5
-20,0	$TSRST_{max}$ 20,0
-22,5	$TSRST_{max}$ 22,5
-25,0	$TSRST_{max}$ 25,0
-27,5	$TSRST_{max}$ 27,5
-30,0	$TSRST_{max}$ 30,0
Keine Anforderung	$TSRST_{max}$ NR

Kategorien für den Verformungswiderstand



Einaxialer Druck-Schwellversuch bisher nicht in EN 13108-20 als geeignetes Prüfverfahren aufgeführt

Kategorien für die Griffigkeit

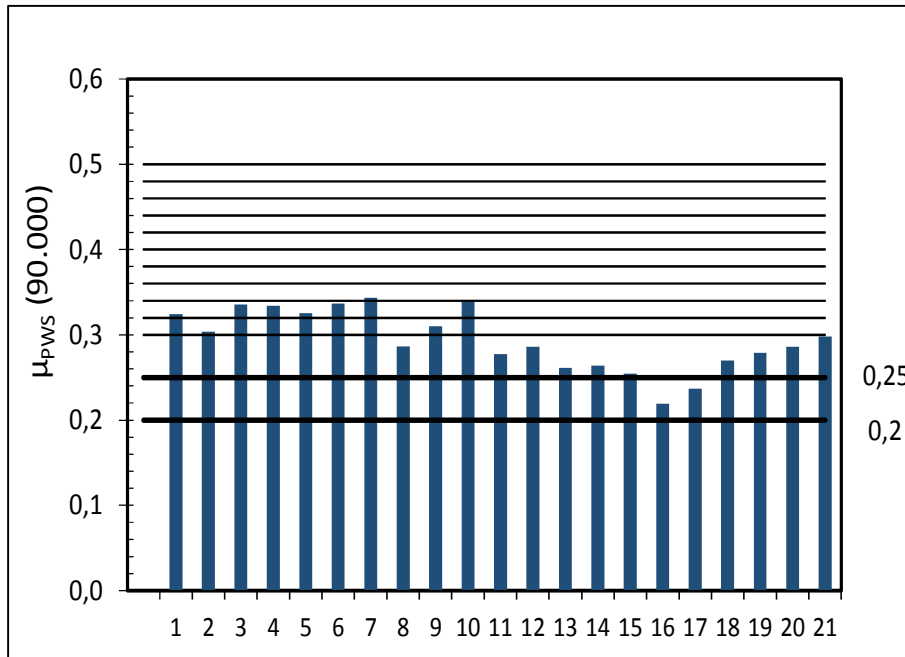


Table 23 — Minimum friction after polishing, FAP_{min}

Minimum friction after polishing	Category FAP_{min}
0,30	FAP_{min30}
0,32	FAP_{min32}
0,34	FAP_{min34}
0,36	FAP_{min36}
0,38	FAP_{min38}
0,40	FAP_{min40}
0,42	FAP_{min42}
0,44	FAP_{min44}
0,46	FAP_{min46}
0,48	FAP_{min48}
0,50	FAP_{min50}
No requirement	FAP_{minNR}

■ Zwei Kategorien (FAP_{min20} und FAP_{min25}) sollten ergänzt werden!

Anwendung von performance-Eigenschaften im konventionellen Bauvertrag

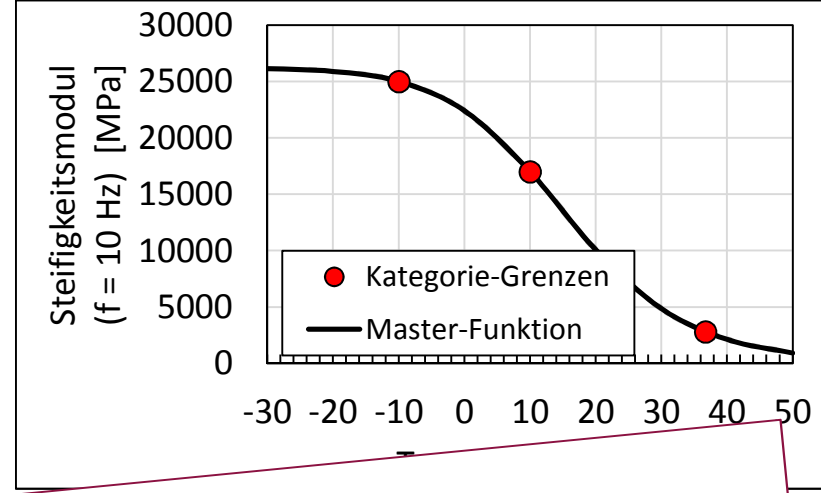
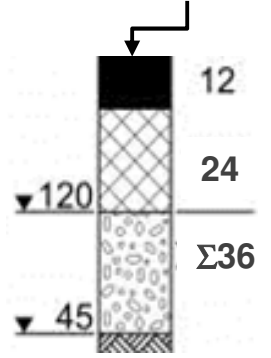
Neue Möglichkeiten der rechnerischen Dimensionierung

- Formale Anforderungen der Bauproduktenverordnung für die dimensionierungsrelevanten Eigenschaften erfüllt
 - Steifigkeitsmodul
 - Ermüdungswiderstand

- Vorschlag für die Anwendung der RDO im konventionellen Bauvertrag:
 - Auftraggeber führt rechnerische Dimensionierung anhand von Kategorien für Steifigkeit und Ermüdungswiderstand durch
 - Auftraggeber schreibt Befestigung aus
- Auftragnehmer / Asphalthersteller
 - Wählt geeignetes Asphaltmischgut aus
 - Dimensionierungsrelevante Materialkategorien sind Inhalt der Erstprüfung

Auftraggeber: Dimensionierung und Ausschreibung

- Dimensionierung:
 - Auswahl von Baustoffparametern
 - Steifigkeits-Temperaturfunktion
 - Ermüdungsfunktion
 - Berechnung des Schichtpakets



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 $N_{\text{macro}} \min 15000$

Auftragnehmer: Auswahl eines geeigneten Asphaltes

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 $S_{\min 2\ 800}$

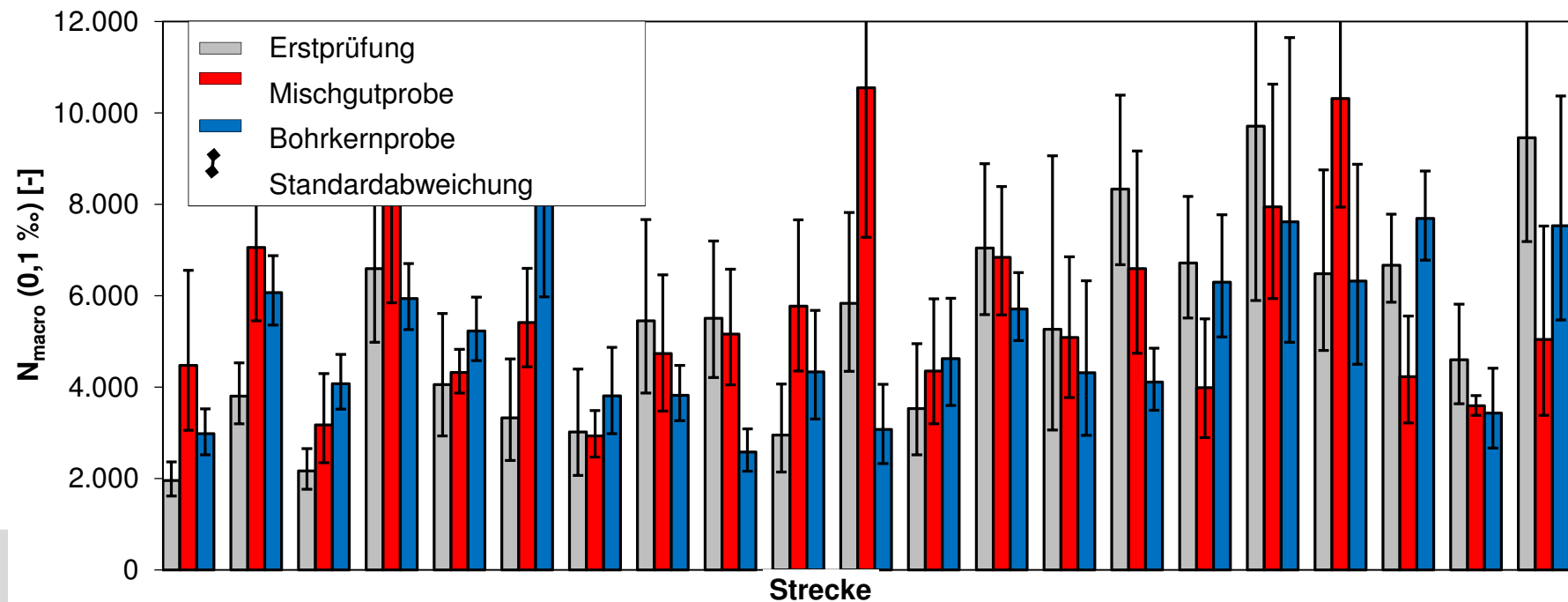
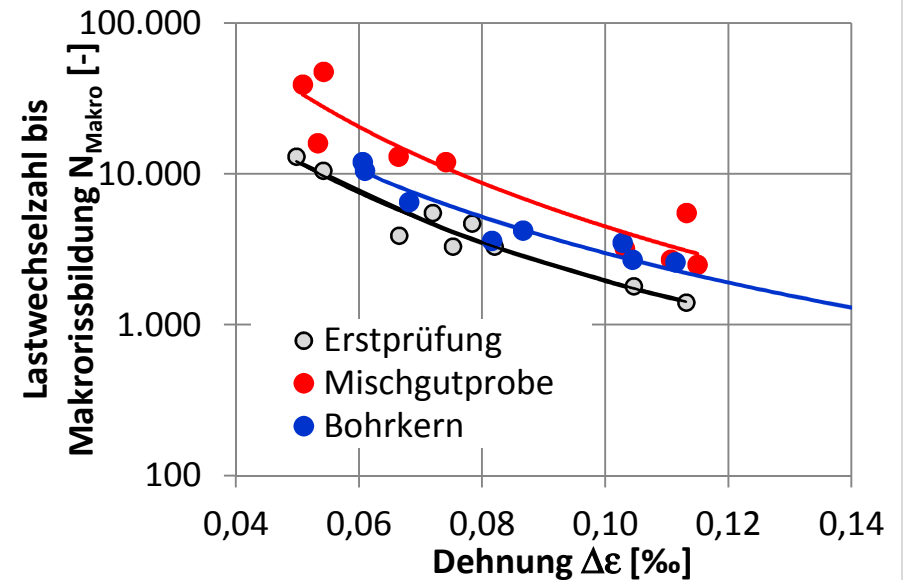
Ermüdungswiderstand: Kategorie

$N_{\text{macro min 15000}}$

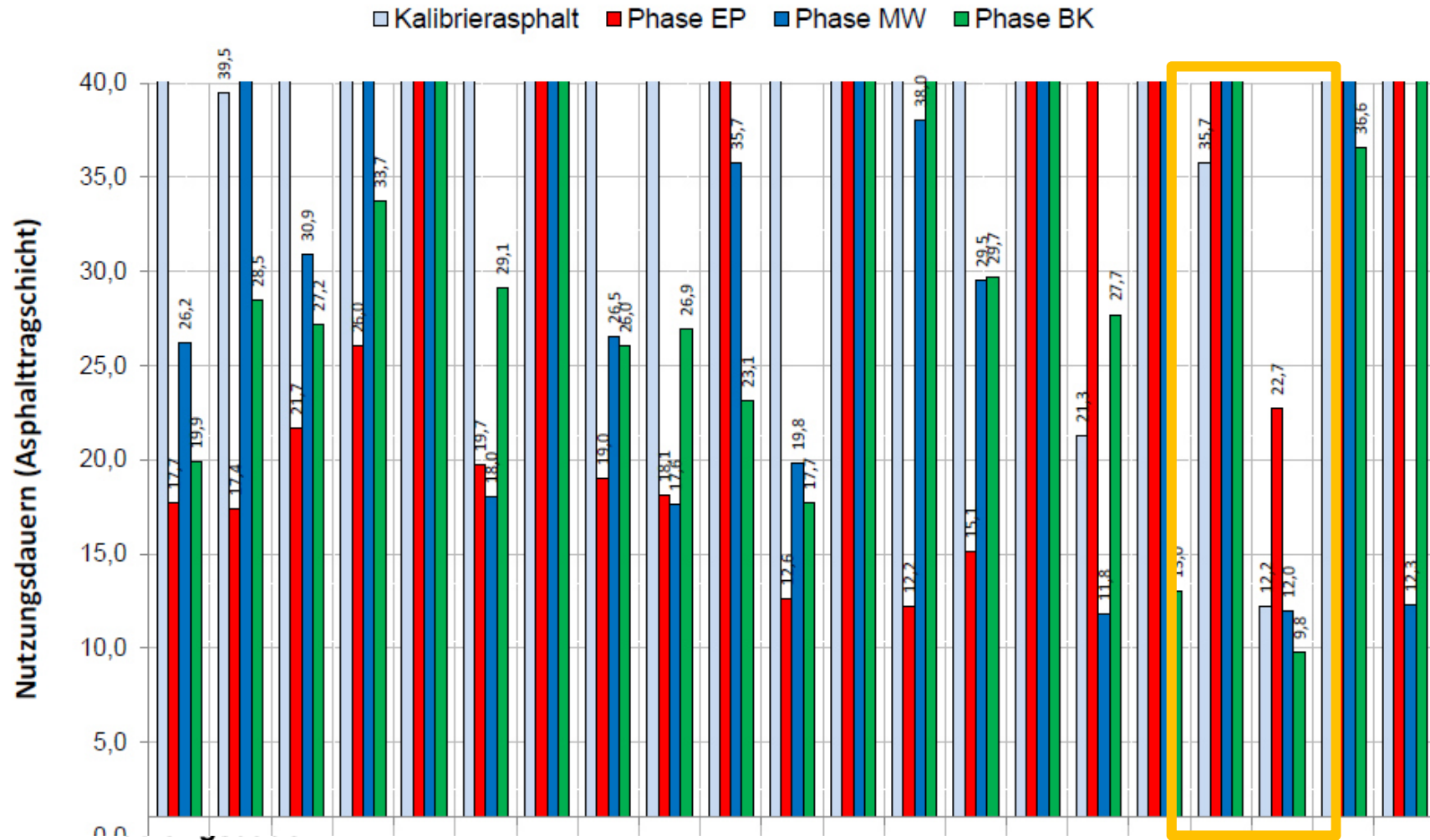
Kategorie	ViaToll	ViaSuper	ViaDuper	...
Mindeststeifigkeit (-10°C, 10 Hz)	$S_{\min 21\ 000}$	$S_{\min 25\ 000}$	$S_{\min 30\ 000}$	
Mindeststeifigkeit (+10°C, 10 Hz)	$S_{\min 17\ 000}$	$S_{\min 17\ 000}$	$S_{\min 25\ 000}$	
Mindeststeifigkeit (20°C, 0,1 Hz)	$S_{\min 5\ 500}$	$S_{\min 4\ 500}$	$S_{\min 4\ 500}$	
Ermüdungswiderstand	$N_{\text{macro min 10000}}$	$N_{\text{macro min 15000}}$	$N_{\text{macro min 25000}}$	
Kälterissbeständigkeit	...			
...				

Vertragsabwicklung Toleranzen?

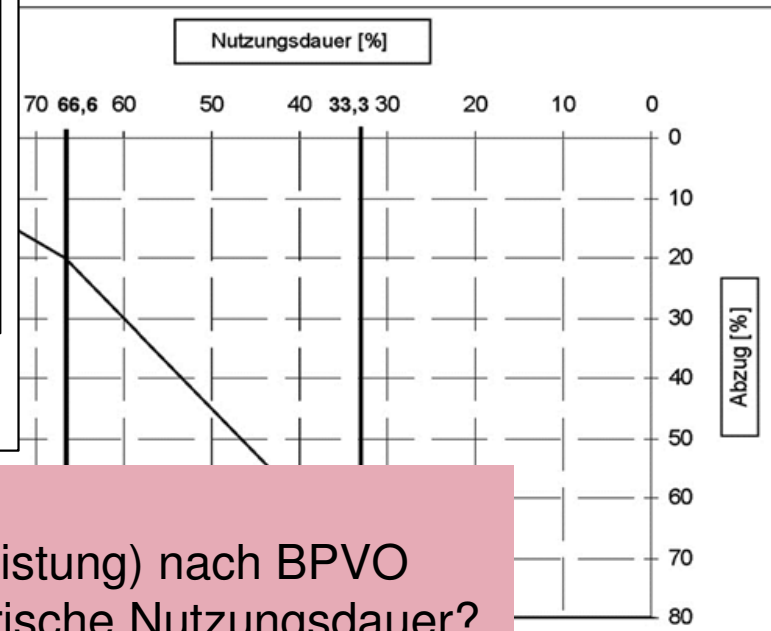
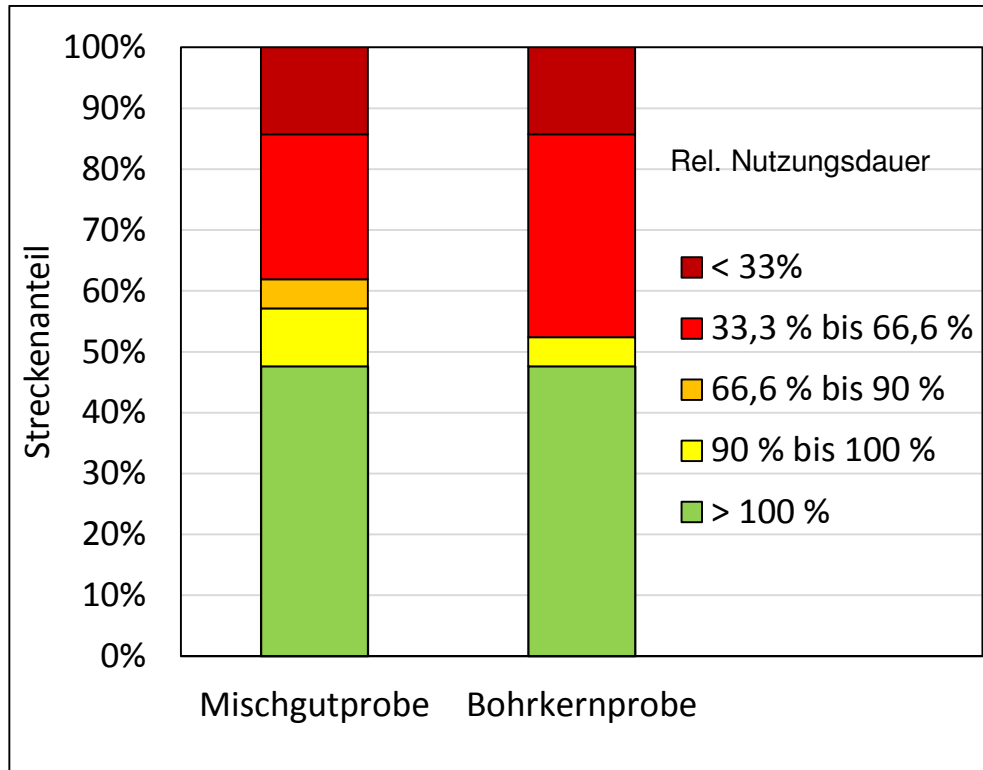
- Bauvertragliche Anforderungen:
 - Mindest-Steifigkeitsmoduln
 - Mindest-Ermüdungswiderstand
 - (keine prognostizierte Nutzungsdauer!)
- Ergebnisse aus FE 07.0253
 - Erstprüfung
 - Mischgutprobe
 - Bohrkernprobe



Berechnete Nutzungsdauer



Vertragsabwicklung



Formelles Problem:

- Nutzungsdauer keine Eigenschaft (Leistung) nach BPVO
- Neue EN 12697 erforderlich: Rechnerische Nutzungsdauer?

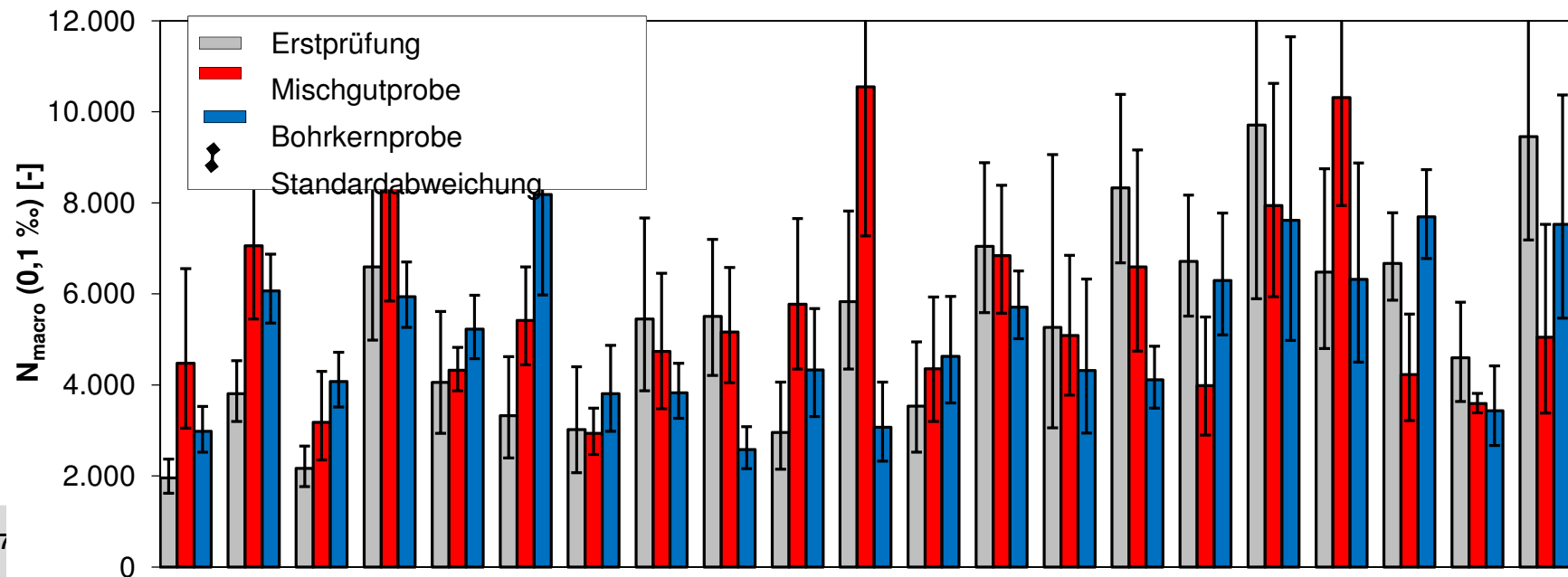
Bild 1: Abzug in Abhängigkeit von der Verringerung der Nutzungsdauer

Leistungen nach BPVO

- Ermüdungswiderstand
- Steifigkeitsmodul
- Keine systematischen Zusammenhänge zwischen Steifigkeit und Ermüdungswiderstand zwischen den untersuchten Proben:

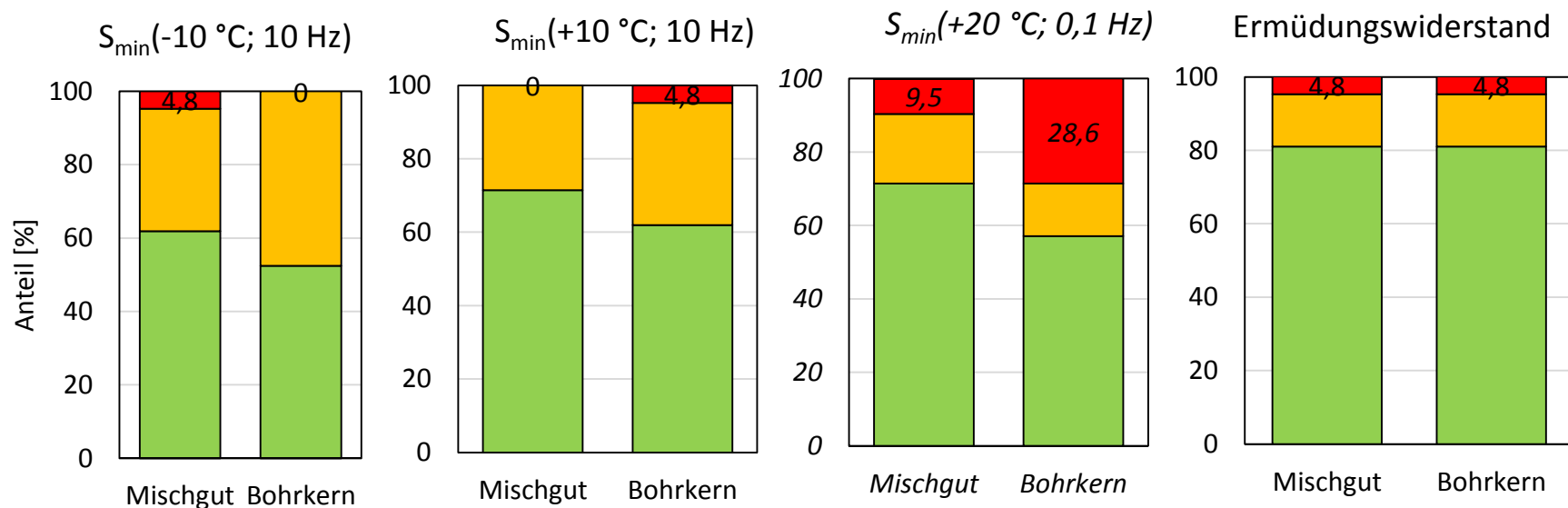
- Erstprüfung
- Mischgutprobe
- Bohrkernprobe

Aber (zum Teil) signifikante Unterschiede!



Vertragsabwicklung - Lösungsvorschlag

- In der Dimensionierung verwendete Kennwerte werden als Anforderungswerte (Kontrollprüfung) verwendet
 - Auftragnehmer / Mischguthersteller muss Risiko eingehen
 - Auftragnehmer / Mischguthersteller bieten Asphalt mit jeweils höheren Kategorien an und verwenden diesen bei der Ausführung



Gleiche oder bessere Kategorie

1 Kategorie schlechter

2 oder mehr Kategorien schlechter

... als in Erstprüfung

Zusammenfassung

- Rechnerische Dimensionierung sollte Standard werden
- Voraussetzungen für vertragliche Anforderungen sind geschaffen
 - Prüfverfahren
 - Anforderungskategorien sind in harmonisierten Normen implementiert
- Bisher bei Kontrollprüfungen tolerierte Materialunterschiede können erhebliche Auswirkungen auf die Performanceigenschaften haben
 - Berechnung theoretischer Nutzungsdauern kann Abweichungen erheblich vergrößern
- Faire Risikoverteilung zwischen AG und AN ist möglich
 - AG führt rechnerische Dimensionierung auf Grundlage von kategorisierten Materialeigenschaften durch
 - AN trägt Risiko, dass Baustoffe diese Eigenschaften erfüllen, jedoch nicht über berechnete Nutzungsdauer

Performance von Asphalt

Vorschlag für Anforderungswerte und deren Einbindung in den Bauvertrag

Vielen Dank!

