



**Technische
Universität
Braunschweig**



**Institut für Straßenwesen
TU Braunschweig**



Neue Erkenntnisse zur Ermüdungsprüfung

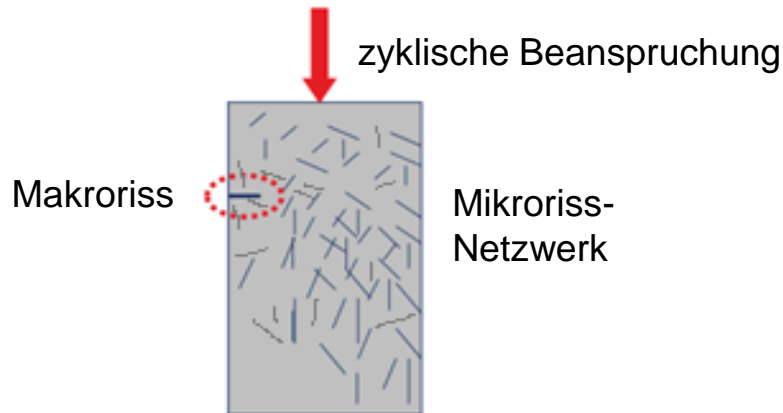
M. Sc. Ivan Isailović

Ermüdung von Asphalt

Unter Materialermüdung versteht man im Allgemeinen ein allmähliches Versagen des Materials infolge Dauerbeanspruchung.

Obwohl die Einzellast kleiner als die Festigkeit des Materials ist, wird infolge der Lastwiederholungen eine allmähliche Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften festgestellt (Rissbildung).

Die Schädigung wird üblicherweise durch Mikrorisse initiiert, die sich im Laufe der Zeit zu sichtbaren Makrorissen vereinigen und anschließend zum Bruchversagen des Materials führen.



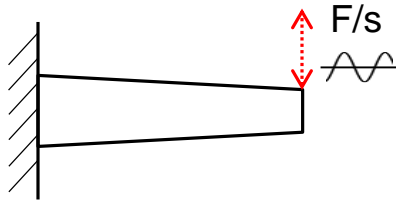
Quelle: Di Benedetto, 2013

Ermüdung von Asphalt

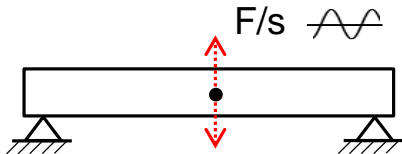
Prüfverfahren für die Ermittlung der Ermüdungskennwerte:

• Biegeprüfungen

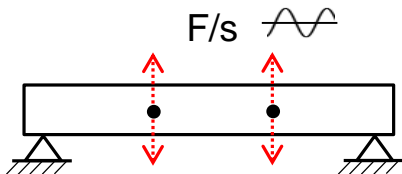
2-Punkt-Biegeprüfung (2PB-PR/TR)



3-Punkt-Biegeprüfung (3PB-PR)

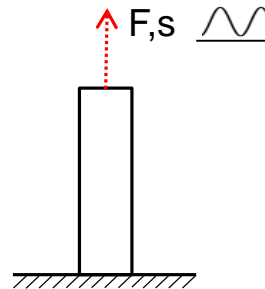


4-Punkt-Biegeprüfung (4PB-PR)

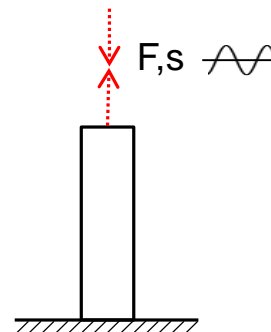


• Einaxiale Prüfungen

Zug-Schwellprüfung (DT-CY oder DT-PR)

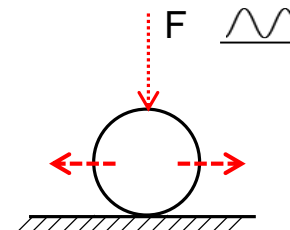


Zug-Druck-Wechselprüfung (DTC-CY)



• Indirekte Zugprüfung

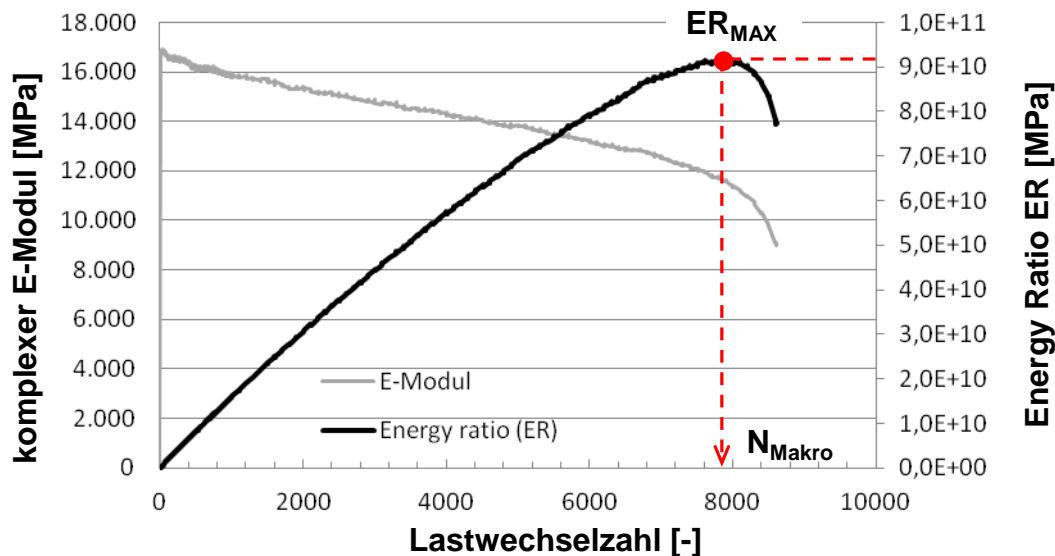
Spaltzug-Schwellprüfung (CIT-CY oder IT-CY)



Ermüdung von Asphalt

Spaltzug-Schwellprüfung

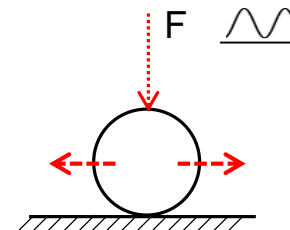
- Die Prüfbedingungen sind in der AL Sp-Asphalt 09 definiert.
- Bei dieser **Ermüdungsprüfung** wird eine zylindrische Asphaltprobe einer **kontinuierlichen** sinusförmigen Belastung mit einer Frequenz von **10 Hz** bei **20 °C** ausgesetzt.



$$ER(n) = n \cdot |E^*|_n \quad [MPa]$$

• Indirekte Zugprüfung

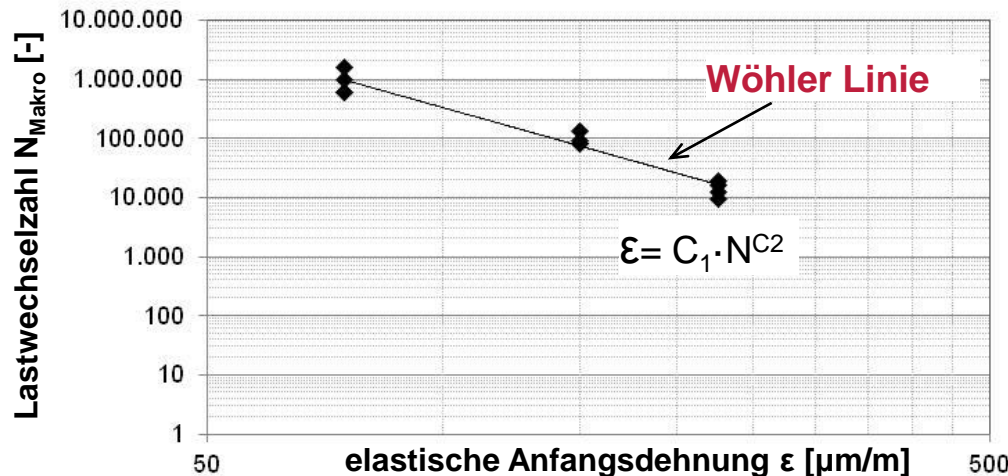
Spaltzug-Schwellprüfung
(CIT-CY oder IT-CY)



Ermüdung von Asphalt

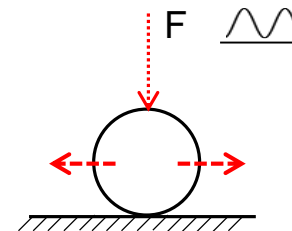
Spaltzug-Schwellprüfung

- Die Prüfbedingungen sind in der AL Sp-Asphalt 09 definiert.
- Bei dieser **Ermüdungsprüfung** wird eine zylindrische Asphaltprobe einer **kontinuierlichen** sinusförmigen Belastung mit einer Frequenz von **10 Hz** bei **20 °C** ausgesetzt.
- Durchgeführt bei mindestens 3 Belastungsamplituden mit dreifacher Belegung der Versuchsergebnisse ist es möglich eine Ermüdungslinie (Wöhler-Linie) zu definieren.



Indirekte Zugprüfung

Spaltzug-Schwellprüfung
(CIT-CY oder IT-CY)



?! →

Berücksichtigung bei der rechnerischen Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RDO Asphalt)

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Aufbau: Zeile 1 aus RStO

B = 100 Mio., Klimazone I

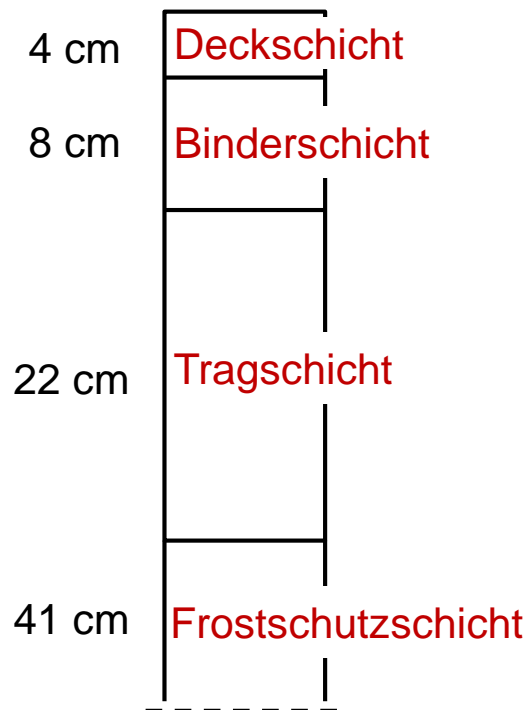


Tabelle 8.1.1: Sicherheitsfaktor γ für das Planum und die Tragschichten

Sicherheitsbedürfnis	TS mit hydr. BM ^(*)	KTS, STS, FSS ^(*)	Planum ^(*)
hoch	2,5	1,5	2,5
mittel	1,5	1,2	2,0
niedrig	1,0	1,0	1,5

Tabelle 8.1.2: Zuordnung Sicherheitsbedürfnis und Verkehrsbelastung

Sicherheitsbedürfnis		Hoch	Mittel	Niedrig
Verkehrsbelastung, ausgedrückt als:	bemessungsrelevante Beanspruchung B gemäß den RStO [äquivalente 10-t-Achs-übergänge]	> 3 Mio.	0,3 bis 3,0 Mio.	< 0,3 Mio.
	Bauklasse gemäß den RStO	SV bis II	III und IV	V und VI

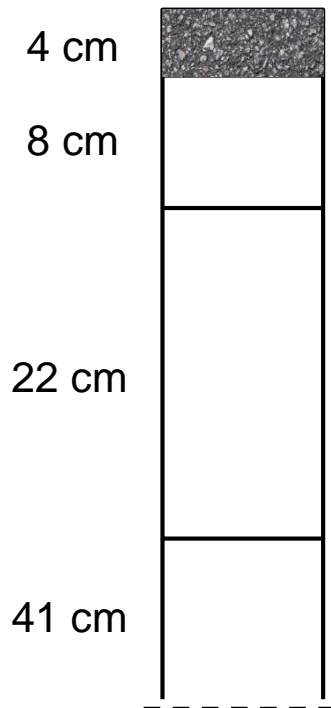
Tabelle 8.2: Sicherheitsbeiwerte F (Gl. (A 6.15)) für die Asphalttragschichten

Asphalttragschicht	Niveau RStO
auf FSS	2,10 ^(*)
auf Bodenverfestigung/Bodenverbesserung	1,10 ^(*)
auf STS, KTS, TS mit hydraulischen Bindemitteln	0,60 ^(*)

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Aufbau: Zeile 1 aus RStO

B = 100 Mio.



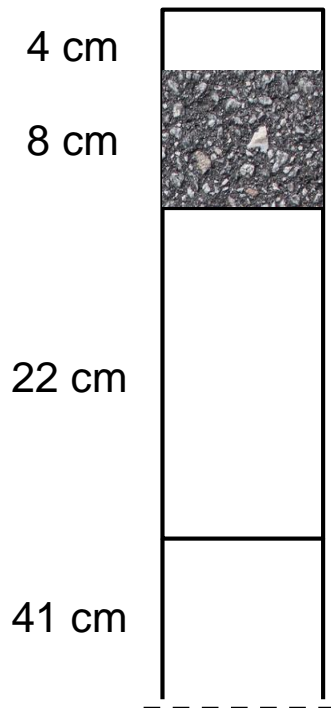
Deckschicht (RDO Asphalt)

Temperatur [°C]	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Steifigkeits- modul [MPa]	26.319	24.664	22.196	19.172	16.255	13.443	10.729	8.111	5.581	3.425	2.119	1.332	850	550	360

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Aufbau: Zeile 1 aus RStO

B = 100 Mio.



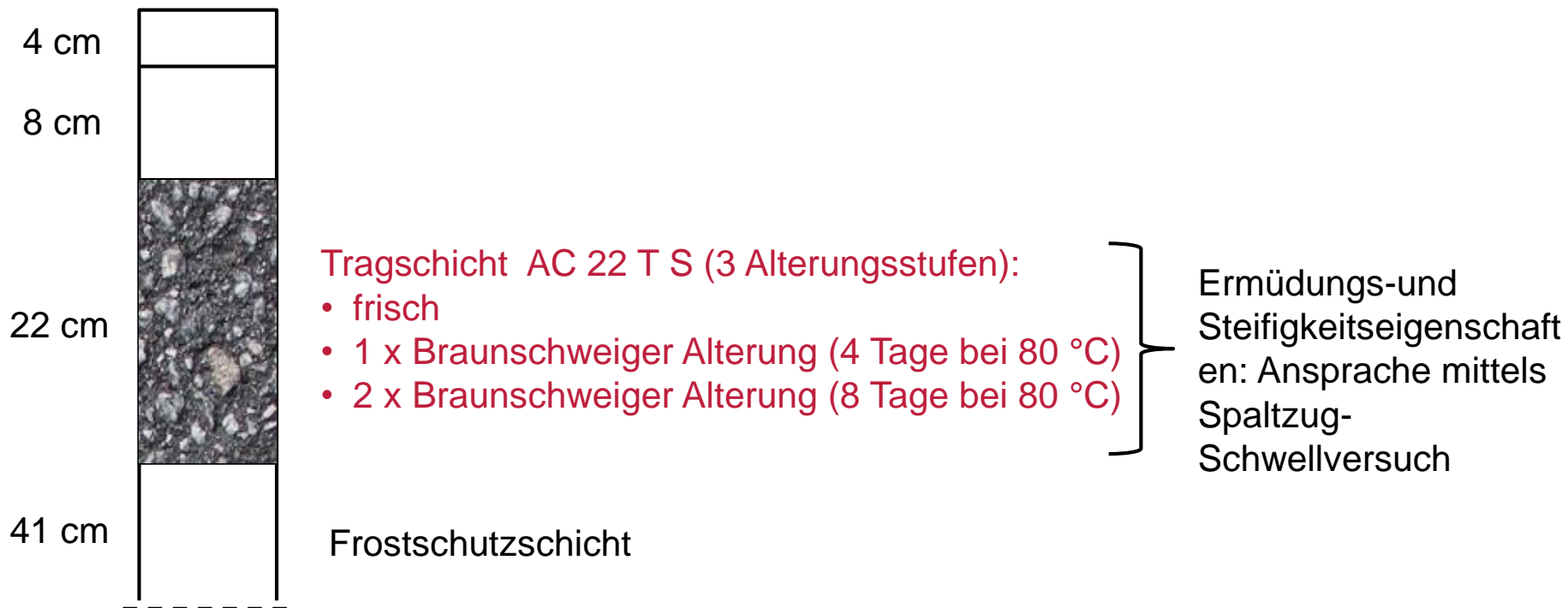
Binderschicht (RDO Asphalt)

Temperatur [°C]	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Steifigkeits- modul [MPa]	30.473	29.449	27.876	25.502	22.214	18.913	15.729	12.655	9.686	6.817	4.124	2.402	1.424	858	525

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Aufbau: Zeile 1 aus RStO

B = 100 Mio.



RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Zusammensetzung AC 22 T S

Merkmal	Massenprozent	Asphalt AC 22 T S
≤ 0,063 mm	M.-%	5
0,063 - 0,125 mm	M.-%	1,2
0,125 - 0,25 mm	M.-%	2,7
0,25 - 1 mm	M.-%	11,4
1 - 2 mm	M.-%	8,2
2 - 5,6 mm	M.-%	12,2
5,6 - 8 mm	M.-%	15,2
8 - 11,2 mm	M.-%	14,3
11,2 - 16 mm	M.-%	18,8
16 - 22,4 mm	M.-%	9,9
22,4 - 31,5 mm	M.-%	1,1
Summe	M.-%	100
Gesteinsart	-	Kalkstein
Zugabe Asphaltgranulat	M.-%	30
Bindemittelsorte	-	50/70
Bindemittelgehalt	M.-%	4,1
Rohdichte	g/cm ³	2,564
Raumdichte MPK	g/cm ³	2,374
Hohlraumgehalt	V.-%	7,4

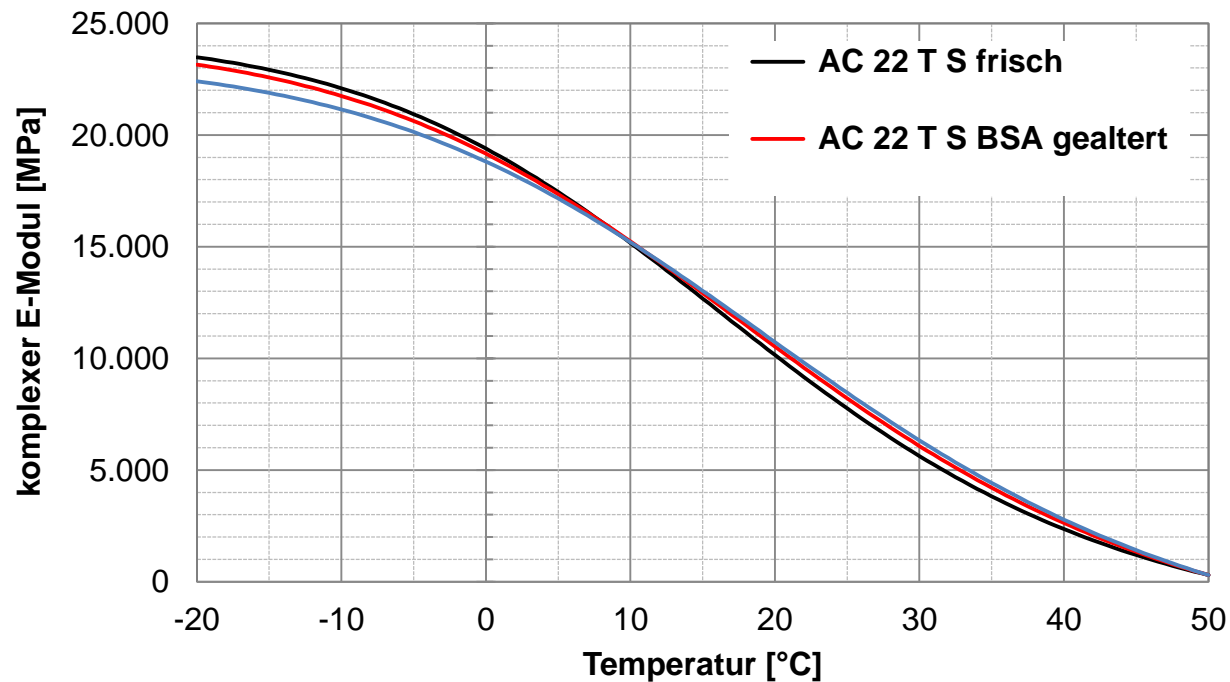
Merkmal	AC 22 T S frisch	AC 22 T S 1 x BSA gealtert	AC 22 T S 2 x BSA gealtert
Erweichungspunkt RuK	52,2	60,4	61,4
Mittlere Raumdichte der ϕ 150 mm Bohrkerne [g/cm³]	2,364	2,356	2,358
St. Abw. [g/cm³]	0,0062	0,0087	0,0175

plausibler Vergleich zwischen den
Varianten

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Steifigkeit AC 22 T S:

→ Spaltzug-Schwellversuche bei 20 °C, 10 °C, 0 °C und -10 °C

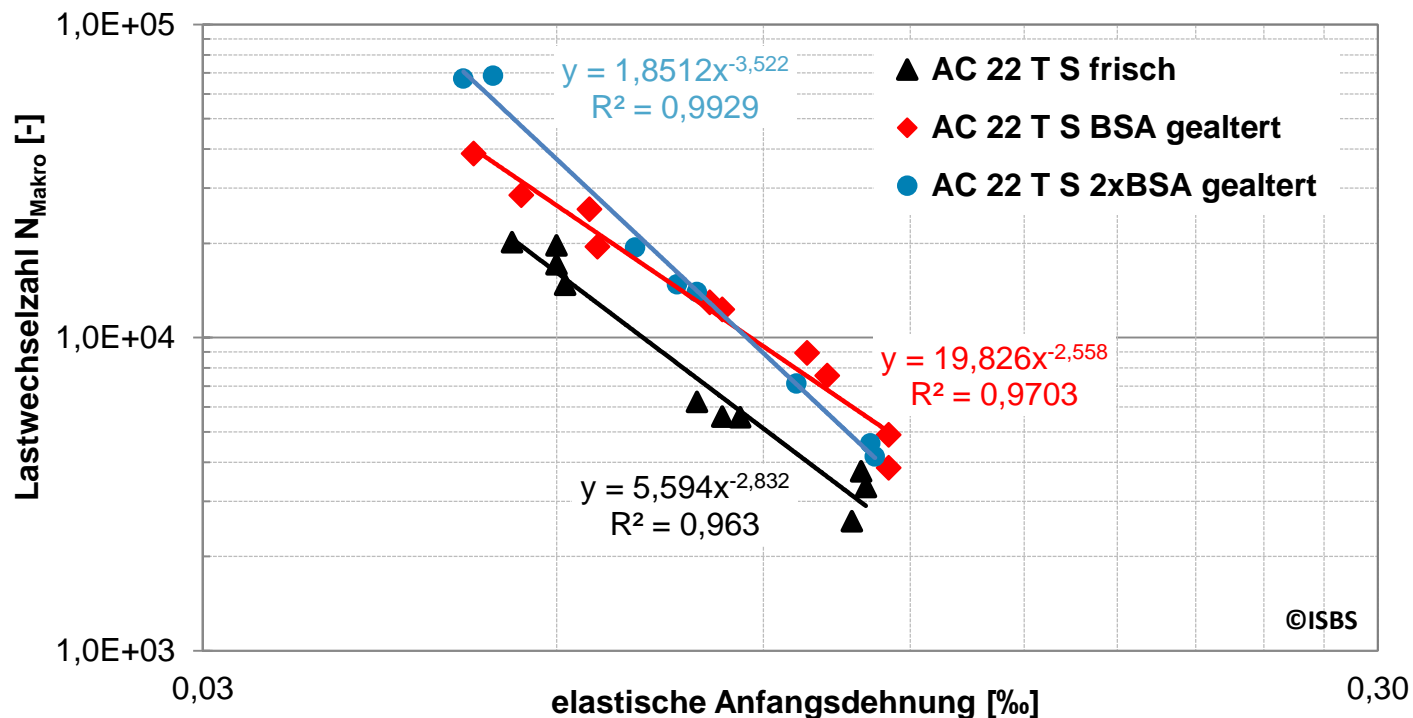


Tendenziell höhere Steifigkeiten mit der Alterung über 8 °C
Tendenziell niedrigere Steifigkeiten mit der Alterung unter 8 °C

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Ermüdungswiderstand AC 22 T S:

→ Spaltzug-Schwellversuche bei 20 °C und bei gleichen Oberspannungen (0,35 MPa; 0,475 MPa; 0,60 MPa)

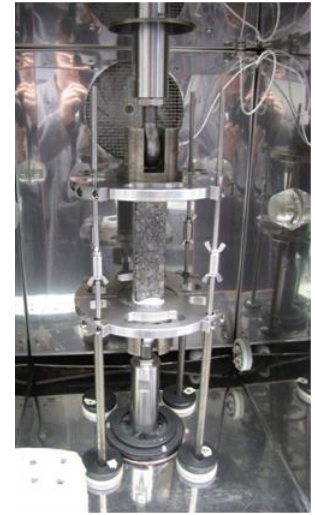
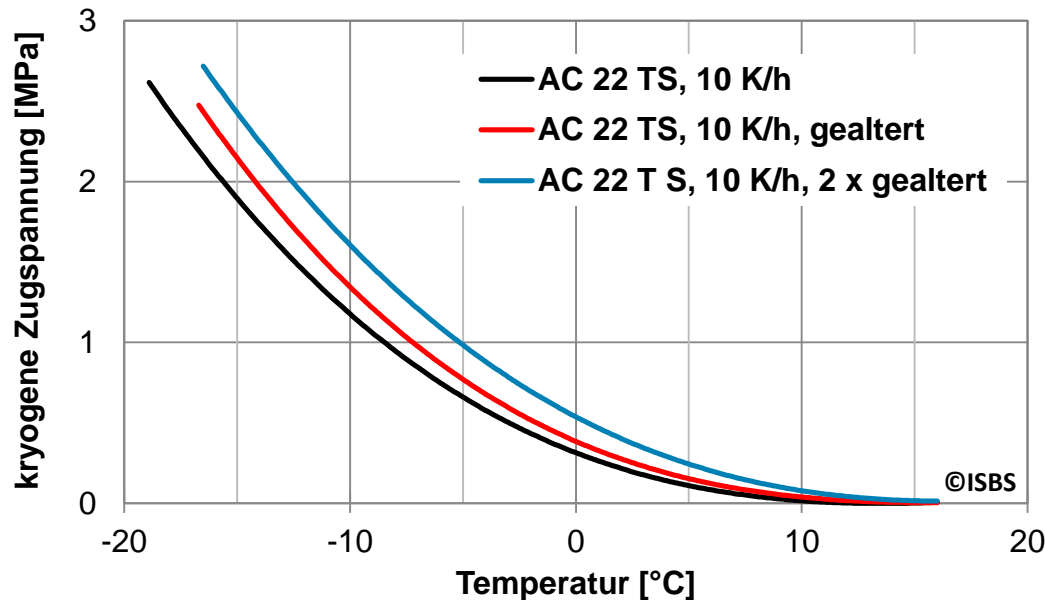


**Verbesserter Ermüdungswiderstand durch Alterung!?
Wie spiegelt sich das in den RDO Asphalt wieder?**

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Widerstand gegen Kälterissbildung am AC 22 T S:

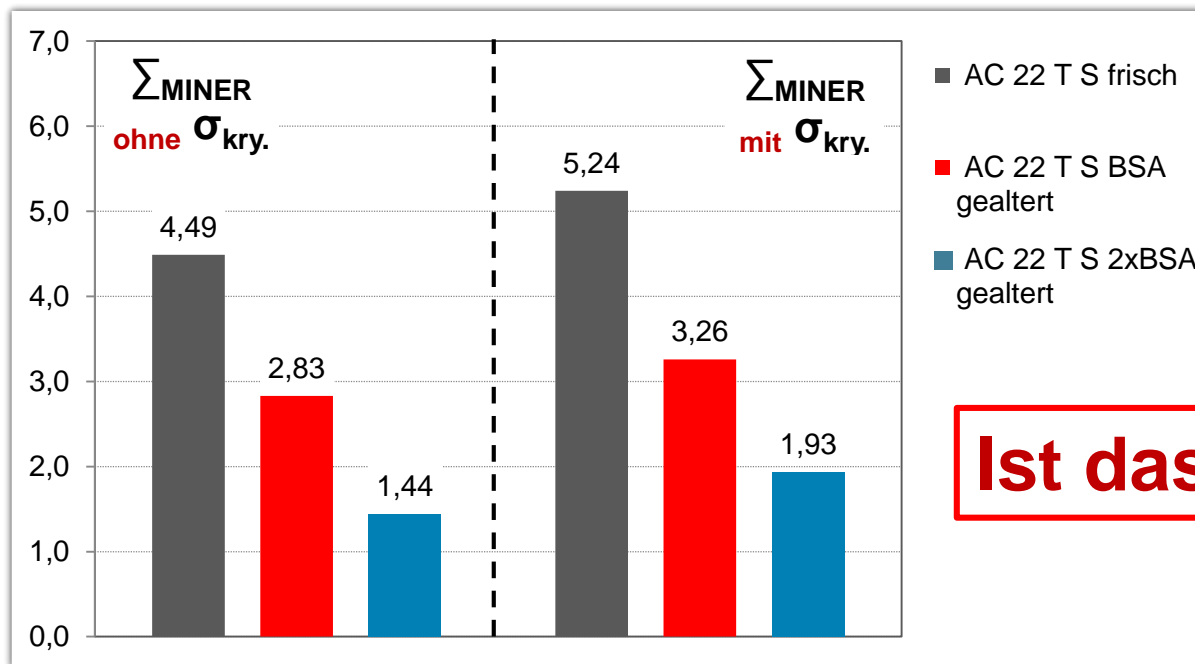
→ Abkühlversuche



➔ Anstieg der kryogenen Spannungen durch die Alterung → erwartet

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Ergebnisse der RDO Asphalt:



Ist das plausibel?

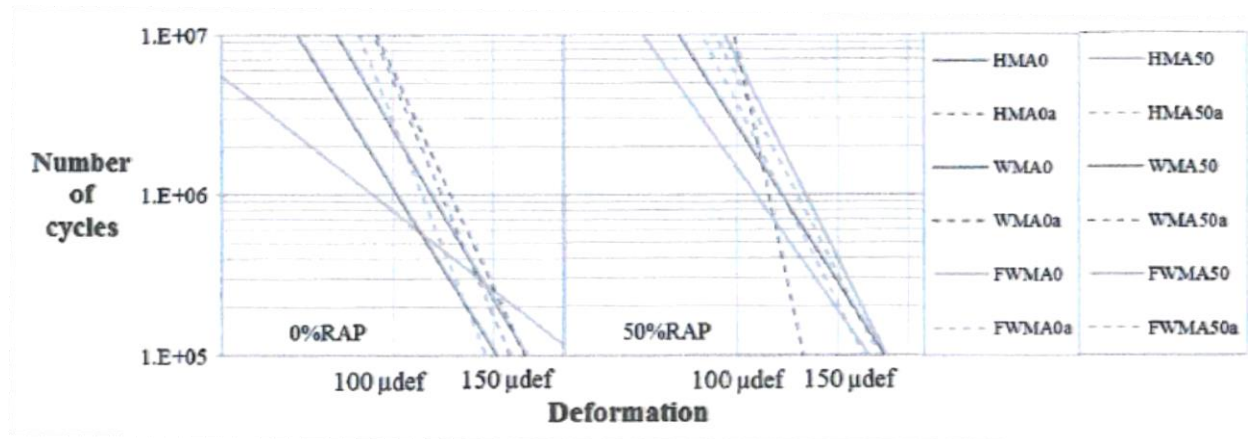


Die rechnerische Lebensdauer der Asphaltbefestigung steigt mit der Alterung der Asphalttragschicht !?

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Offene Fragen:

- Werden die Asphalte mit einem hohen Asphaltgranulatanteil ähnlich beurteilt? → wurde **international** und national beobachtet



Mixture	ICo (%)	Complex modulus $ E^* $ (MPa) 15 °C 10 Hz	Phase angle ϕ (°)	ϵ_6 Corrected (10^{-6} mm)	Fatigue slope (1/b)
HMA0	1.80	12,497	15.0	115	-5.99
HMA0a	4.96	14,156	10.8	123	-8.35
HMA50	4.08	14,590	12.2	127	-7.08
HMA50a	8.27	15,847	11.3	122	-6.99

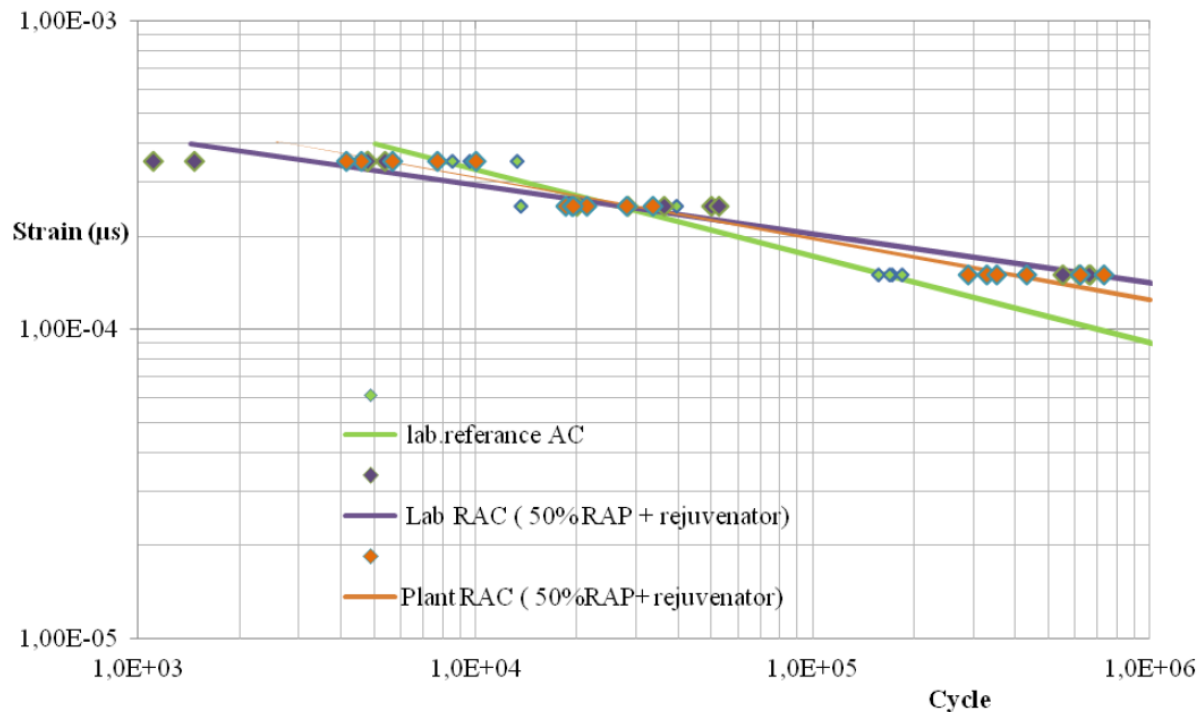
2-Punkt-Biegeprüfung bei 10 °C und 25 Hz

Quelle: Perez-Martinez et al., 2016

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Offene Fragen:

- Werden die Asphalte mit einem hohen Asphaltgranulatanteil ähnlich beurteilt? → wurde **international** und national beobachtet



- 56 % Anstieg des ϵ_6 Wertes im Vergleich zur Referenz ohne AG.**

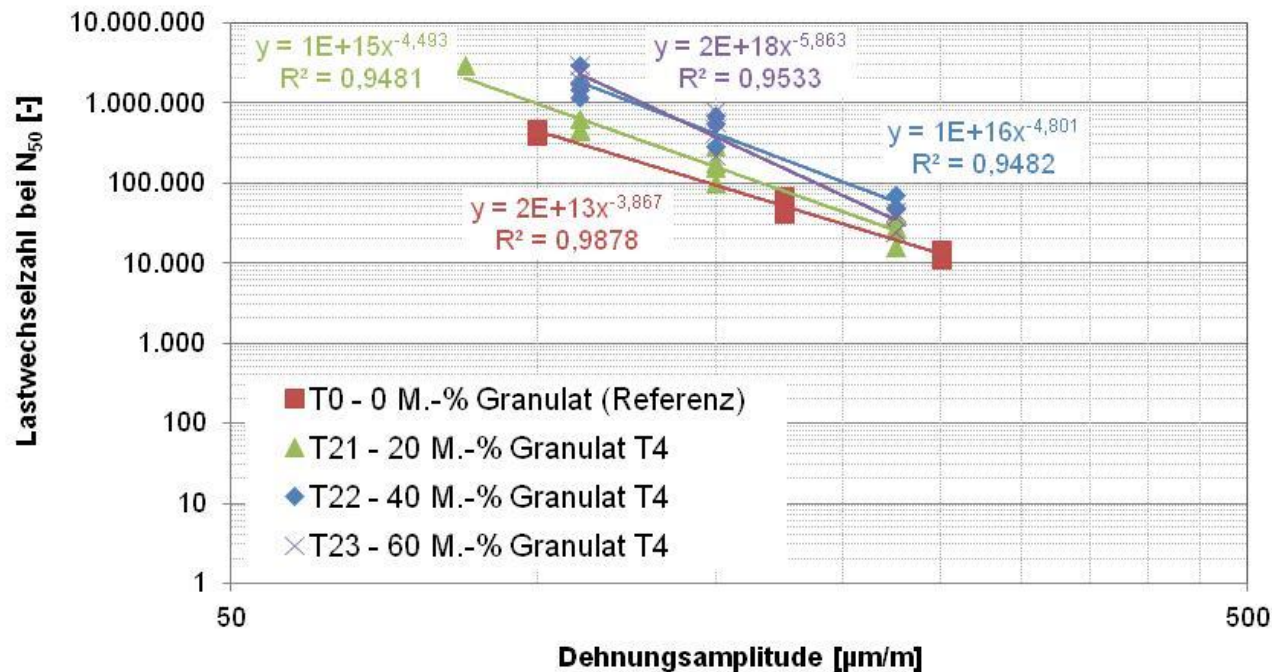
4-Punkt-Biegeprüfung bei 20 °C und 10 Hz

Quelle: Sonmez et al., 2016

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Offene Fragen:

- Werden die Asphalte mit einem hohen Asphaltgranulatanteil ähnlich beurteilt? → wurde international und **national** beobachtet



4-Punkt-Biegeprüfung bei 20 °C und 30 Hz

Quelle: Wistuba et al., 2015

RDO am Beispiel eines AC 22 T S in 3 Alterungsstufen

Offene Fragen und Zwischenfazit:

- Ist die **Ermüdungsbeurteilung bei** einer Temperatur von **20 °C richtig**? Können diese Werte eine zuverlässige Bewertung des Ermüdungswiderstandes ermöglichen, und damit bei der RDO Asphalt benutzt werden?
- Werden damit „**gute**“ **Asphaltkonzepte benachteiligt** und „**schlechte**“ **favorisiert**?
- Werden neue **Asphaltzusätze richtig beurteilt**?
- **Andere Ansätze** für eine bessere Ermüdungsbeurteilung **sind bisher nicht publiziert**. Der zunehmende Einsatz von Recycling-Baustoffen in Asphaltstraßen erfordert **ein rasches Handeln! Das ISBS erprobt derzeit eine neue Methodik zur Beurteilung des Ermüdungsverhaltens.**



Das Ziel:

- Bessere Aussage über den Ermüdungswiderstand von Asphalt bei ähnlichem Laboraufwand.
- Berücksichtigung eines breiteren Temperaturbereichs.

Neues Ermüdungskonzept

Wie können mehrere Temperaturen bei vergleichbarem Laboraufwand berücksichtigt werden?



Entwicklung eines neuen Prüfkonzeptes am ISBS

Neues Ermüdungskonzept

Aus Gründen des Erfinderschutzes ausgeblendet

Fazit

- Die Ermüdungskennwerte bei einer Temperatur von 20 °C sind nicht ausreichend für eine zuverlässige Bewertung des Ermüdungswiderstandes, weil sie zur falschen Interpretation insbesondere in der RDO Asphalt führen können.
- Ein neues Ermüdungskonzept wurde entwickelt, das eine plausible Beurteilung des Ermüdungswiderstandes von Asphalt zulässt.
- Unter Berücksichtigung eines breiteren Temperaturbereichs weist das frische Mischgut die beste Ermüdungsbeständigkeit auf, was nicht der Fall in herkömmlichen Ermüdungsprüfungen ist.
- Der neue Performanceparameter kann gut für den Vergleich verschiedener Asphaltkonzepte verwendet werden.
- Der Laboraufwand ist im Vergleich zur herkömmlichen Ermüdungsprüfung minimal größer (12 statt 9 Prüfungen).
- **Ausblick:** Die vorgestellte neue Prüfsystematik sollte in Serienprüfungen schnellstmöglich erprobt werden.

Vielen Dank!