



Performance von Asphalt

Verformungswiderstand

Dr.-Ing. Manfred Hase



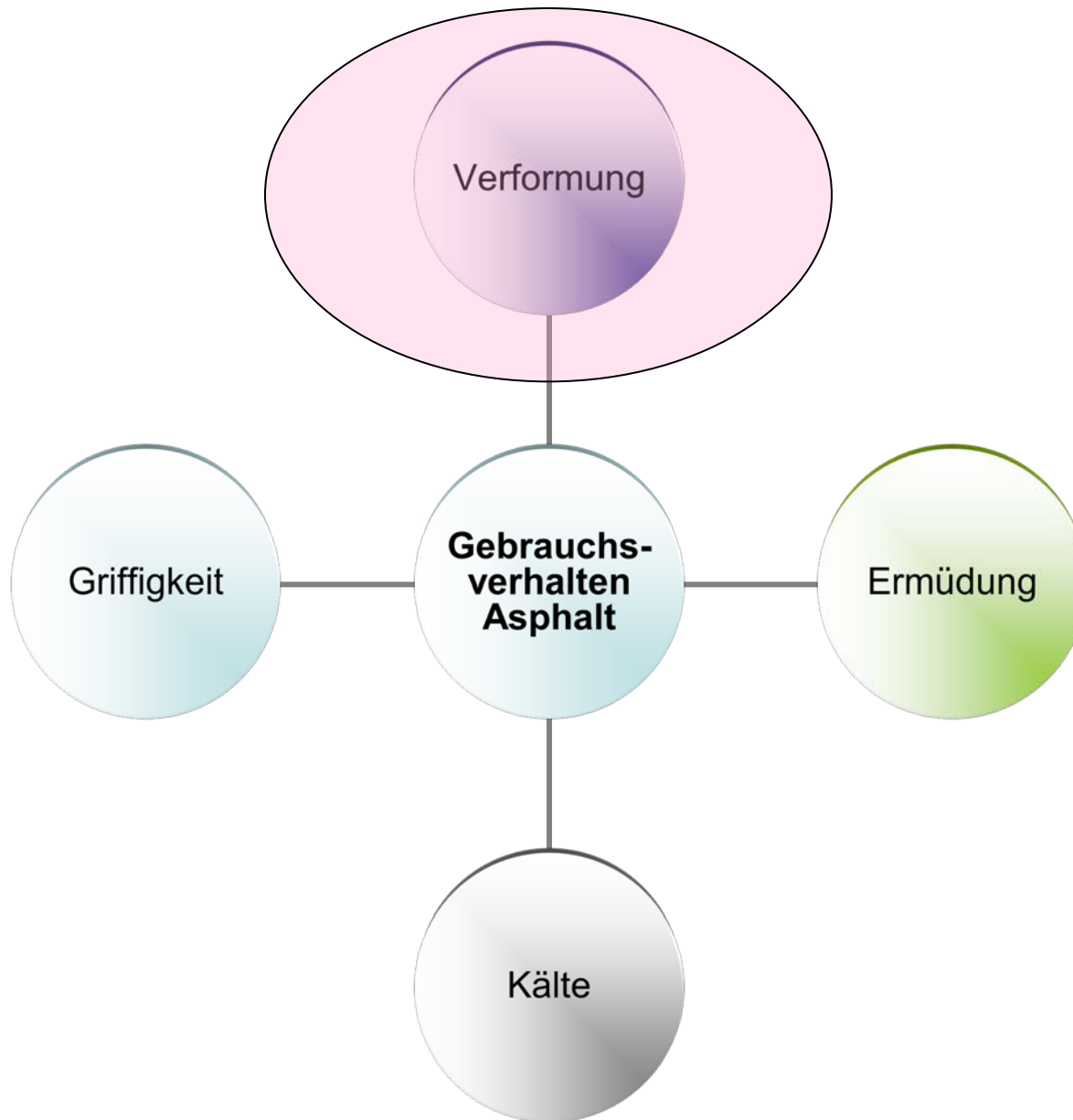
analytisch



konzeptionell



innovativ



Verformungsverhalten des Asphalts

Was beeinflusst das Verformungsverhalten des Asphalts?

Asphalte für den Straßenbau sind Gemische aus **Gesteinen** und **Bitumen**.

Gesteine verhalten sich bei Belastung als Einzelkorn **elastisch** und als Haufwerk auch plastisch.

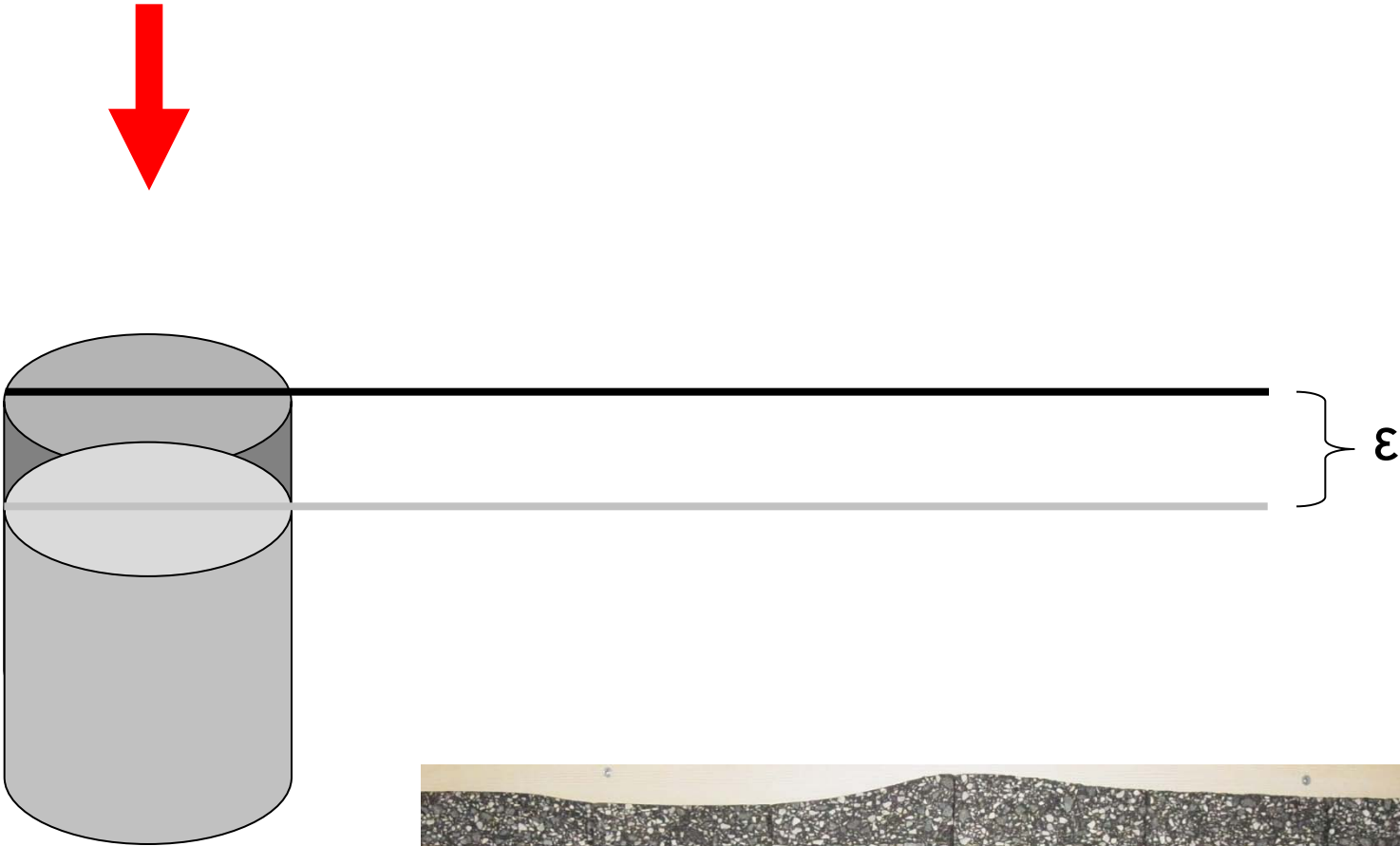
Das **Bitumen** reagiert **thermo-elastoviskos**.

Die **Eigenschaften der Komponenten Gesteine und Bitumen übertragen sich auf den Asphalt**.

Bei **Druckbeanspruchungen zeigen Asphalte ein elastisch-plastisch-viskoses Verhalten**.



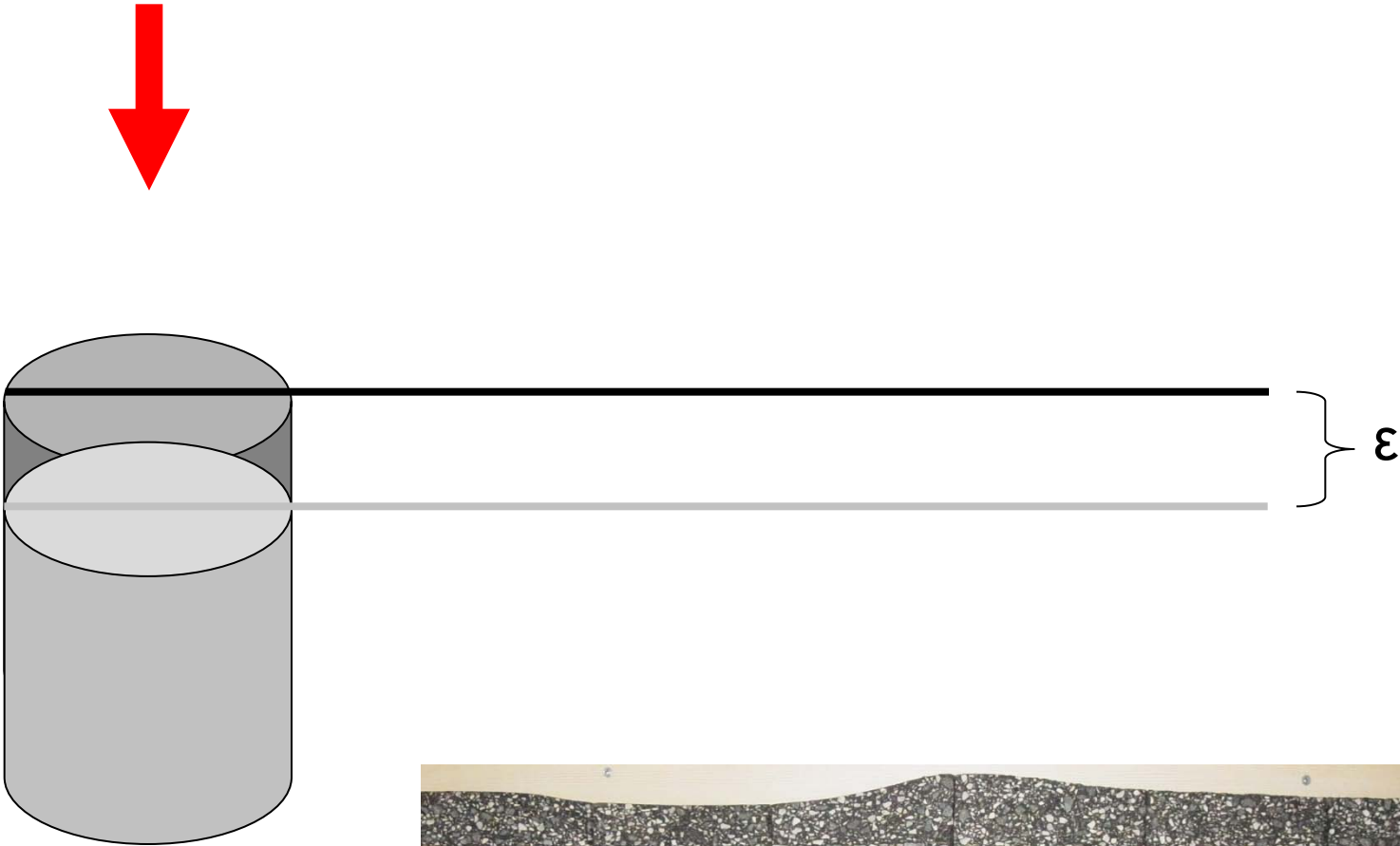
Verformungsverhalten des Asphalts



Keine bleibende Verformung = Asphalt kann sich wieder vollständig zurückverformen!



Verformungsverhalten des Asphalts



Bleibende Verformung = Asphalt kann sich nicht wieder vollständig zurückverformen!



Verformungsverhalten des Asphalts

Das Verformungsverhalten des Asphalts wird maßgeblich durch das eingesetzte Bitumen beeinflusst!

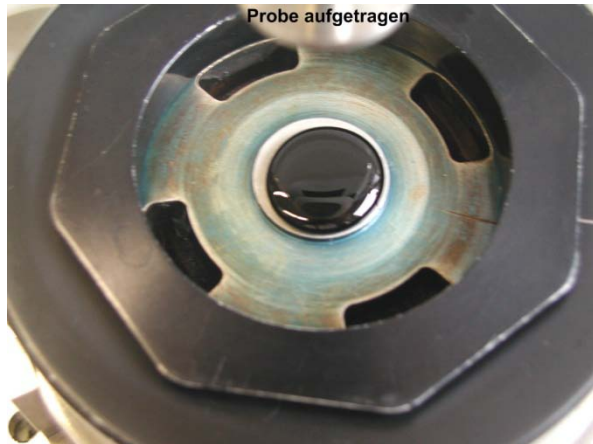
Vorteilhaft: Bitumen mit hohen elastischen Anteilen!

Wie kann man diese elastischen Anteile im Bitumen physikalisch nachweisen?

Performance orientierte Prüfverfahren

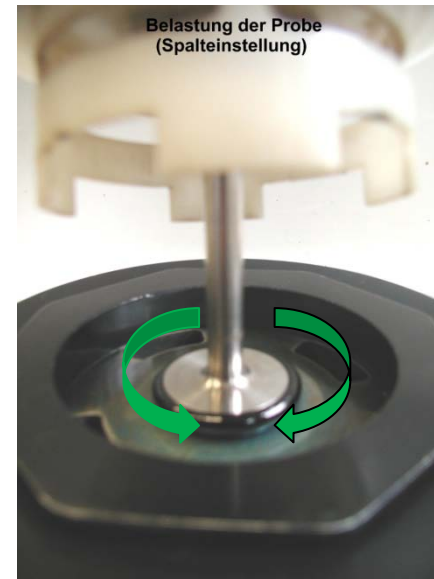
DSR-Versuch (Dynamisches Scher-Rheometer)

Performance-Prüfverfahren: DSR-Versuche (Dynamisches Scher-Rheometer)



komplexe Schubmodul (G^*)
als Widerstand des Prüfgutes
gegen die Beanspruchung

$$G^* = \frac{\tau_{\max}}{d_{\max}} \quad [\text{Pa}]$$

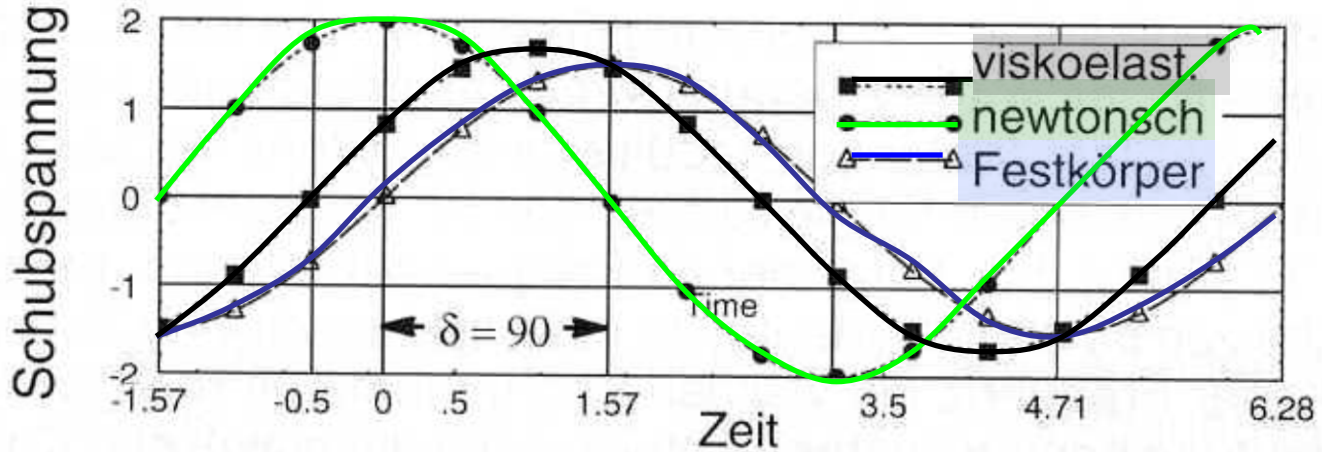
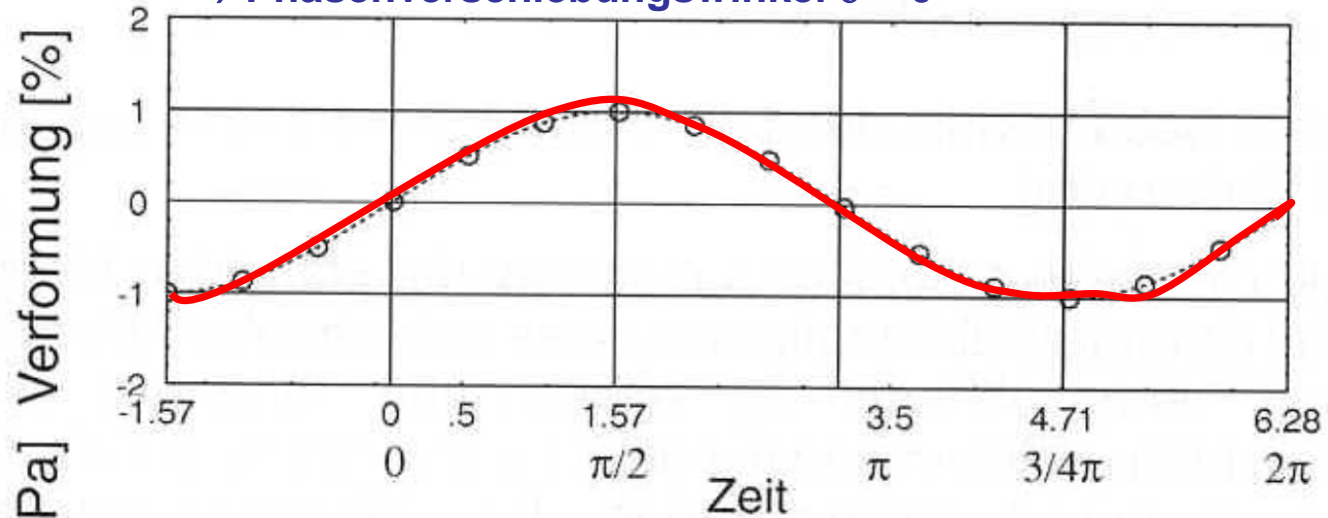


Phasenwinkel (δ)
als zeitliche Verzögerung des
Materials auf die Beanspruchung

$$\delta = \omega(\Delta t) \quad [^\circ]$$

Oszillation einer idealelastischen Substanz

⇒ Phasenverschiebungswinkel $\delta = 0^\circ$



Oszillation einer idealviskosen Substanz

⇒ Phasenverschiebungswinkel $\delta = 90^\circ$

Verformungsverhalten des Asphalts

Das Verformungsverhalten des Asphalts wird maßgeblich durch das eingesetzte Bitumen beeinflusst!

Vorteilhaft: Bitumen mit hohen elastischen Anteilen!

Wie kann man diese elastischen Anteile im Bitumen physikalisch nachweisen?

Performance orientierte Prüfverfahren

DSR-Versuch (**D**ynamisches **S**cher-**R**heometer)

MSCR-Test

(Multiple Stress Creep and Recovery Test)

MSCR-Test (DSR)

(Multiple Stress Creep and Recovery Test)

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen



Arbeitsanleitung
zur Bestimmung des Verformungsverhaltens
von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln
im Dynamischen Scherrheometer (DSR)
– Durchführung der MSCR-Prüfung
(Multiple Stress Creep and Recovery Test)
AL MSCR-Prüfung (DSR)

W 1

Ausgabe 2012

Das Prüfverfahren dient der Bestimmung der prozentualen Erholung und des nicht rückverformbaren Anteils von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln mittels Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCR -Prüfung).

Kriechen und Erholung

eine standardisierte, rheologische Prüfprozedur, bei der ein Probekörper für einen festgelegten Zeitabschnitt einer konstanten Belastung ausgesetzt ist und sich anschließend ohne Belastung während eines festgelegten Zeitabschnitts rückverformen kann.

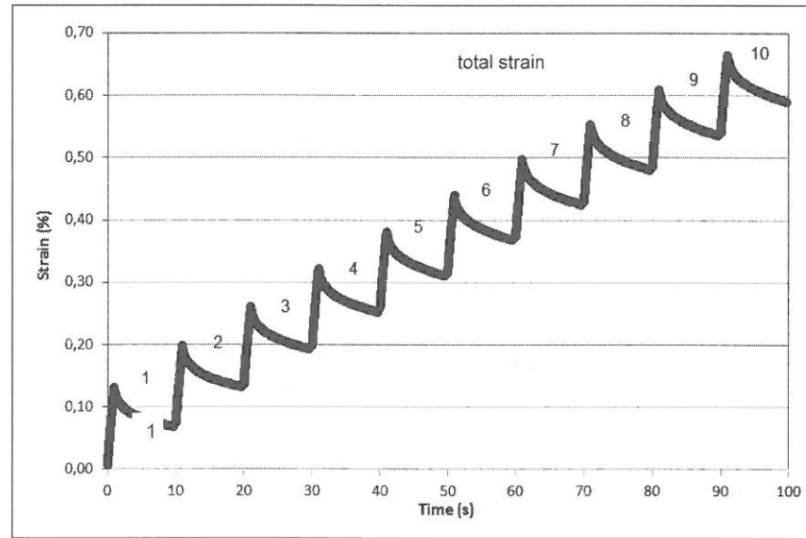
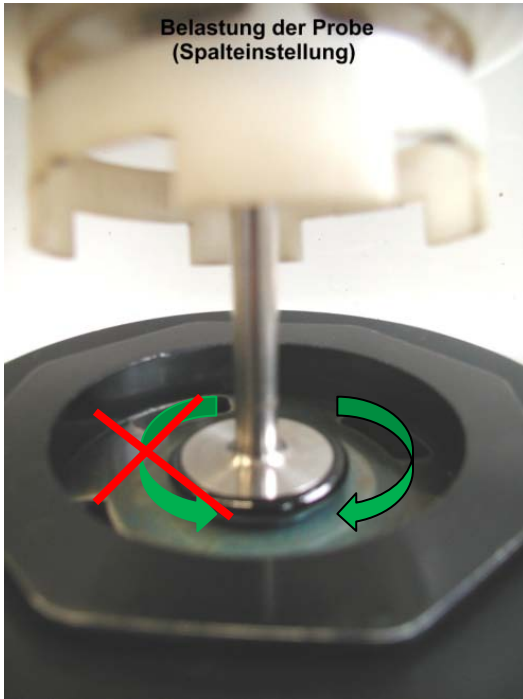
MSCR-Test (DSR)

(Multiple Stress Creep and Recovery Test)

Arbeitsanleitung
zur Bestimmung des Verformungsverhaltens
von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln
im Dynamischen Scherrheometer (DSR)
– Durchführung der MSCR-Prüfung
(Multiple Stress Creep and Recovery Test)
AL MSCR-Prüfung (DSR)

W 1

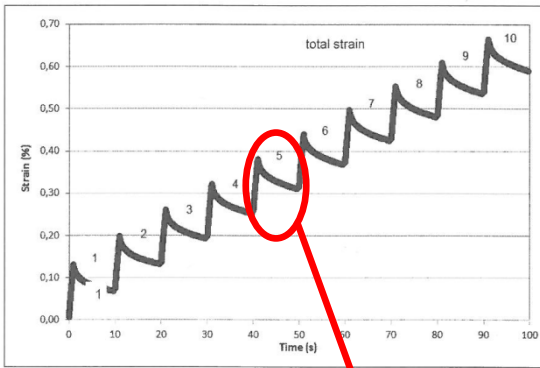
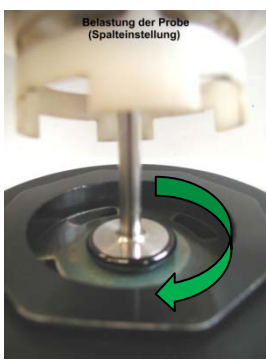
Ausgabe 2012



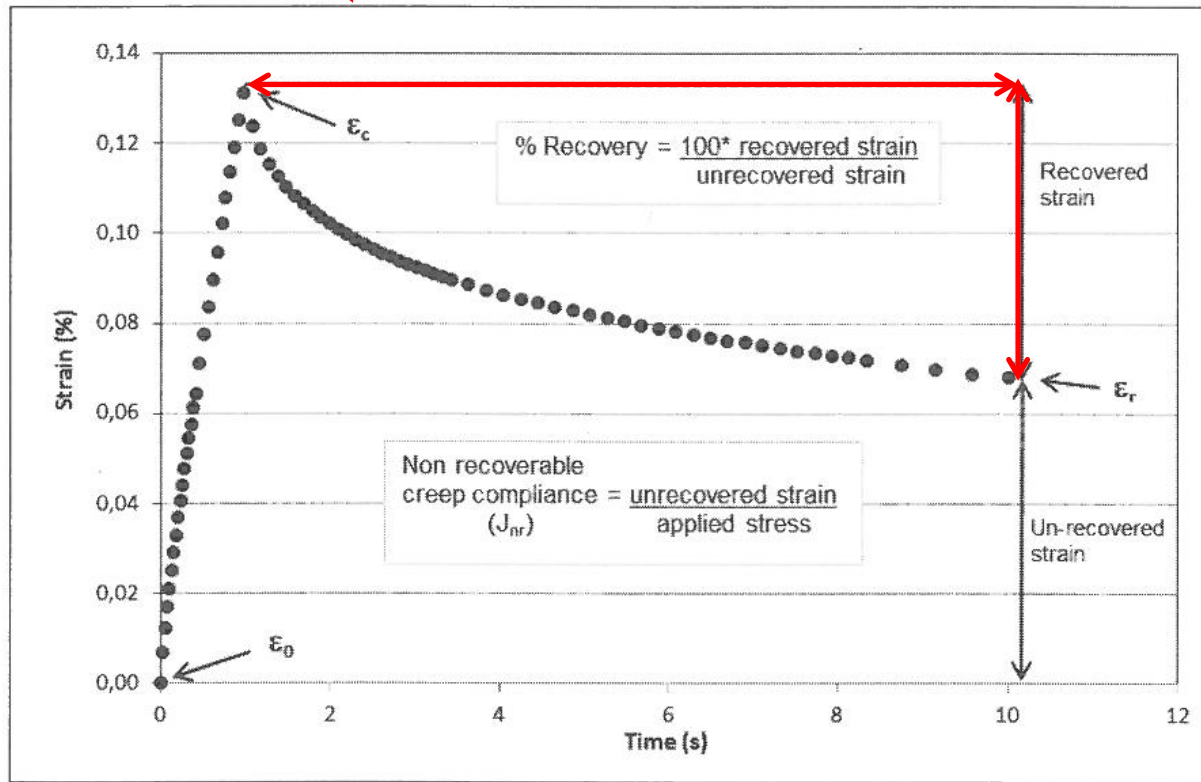
Typische Spannungs-Erholungs-Kurve nach 10 aufeinanderfolgenden Zyklen

Kriechen und Erholung

eine standardisierte, rheologische Prüfprozedur, bei der ein Probekörper für einen festgelegten Zeitabschnitt einer konstanten Belastung ausgesetzt ist und sich anschließend ohne Belastung während eines festgelegten Zeitabschnitts rückverformen kann.



Typische Spannungs-Erholungs-Kurve nach 10 aufeinanderfolgenden Zyklen



Typisches Belastungs-Erholungs-Verhalten

Das Verformungsverhalten des Asphalts wird maßgeblich durch das eingesetzte Bitumen beeinflusst!

Fragen:

Gibt es Unterschiede des Verformungsverhaltens der Asphalte beim Einsatz von Bitumen gleicher Sorte?

Hängt das Verformungsverhalten eines Asphalts vom Bitumenhersteller ab?

Warum diese Fragen?

Tabelle 2: Anforderungen an Elastomeer

Merkmale oder Eigenschaften	Einheit	Prüf
Penetration bei 25 °C	0,1 mm	DIN
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	DIN
Kraft-Duktilität: Formänderungsarbeit bei der angegebenen Temperatur *)	J/cm ²	DIN DIN
Flammpunkt	°C	DIN
Brechpunkt nach Frauß	°C	DIN
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	DIN
Elastische Rückstellung bei 10 °C	%	DIN
Plastizitätsbereich	°C	DIN Absc
Lagerbeständigkeit Differenz der Erweichungspunkte	°C	DIN DIN
Lagerbeständigkeit Differenz der Penetrationen	0,1 mm	DIN DIN
Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von		
Massenänderung	%	DIN
verbleibende Penetration	%	DIN
Zunahme des Erweichungspunktes Ring und Kugel	°C	DIN
Abfall des Erweichungspunktes Ring und Kugel	°C	DIN
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	DIN
Elastische Rückstellung bei 10 °C	%	DIN

Zusätzliche Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung

Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR)	-	Abs
Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer (BBR)	-	Abs

*) = siehe Abschnitt 5.2

NR =

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen



**Technische Lieferbedingungen
für Straßenbaubitumen
und gebrauchsfertige
Polymermodifizierte Bitumen**

TL Bitumen-StB 07

R 1

Ausgabe 2007

10/40-65 A	KL	40/100-65 A
10 bis 40	5	40 bis 100
≥ 65	5	≥ 65
≥ 2 (bei 10 °C)	2	≥ 3 (bei 5 °C)
≥ 235	3	≥ 235
≤ -5	7	≤ -15
≥ 50	3	≥ 70
NR	0	NR
NR	0	NR
≤ 5	2	≤ 5
NR	0	NR

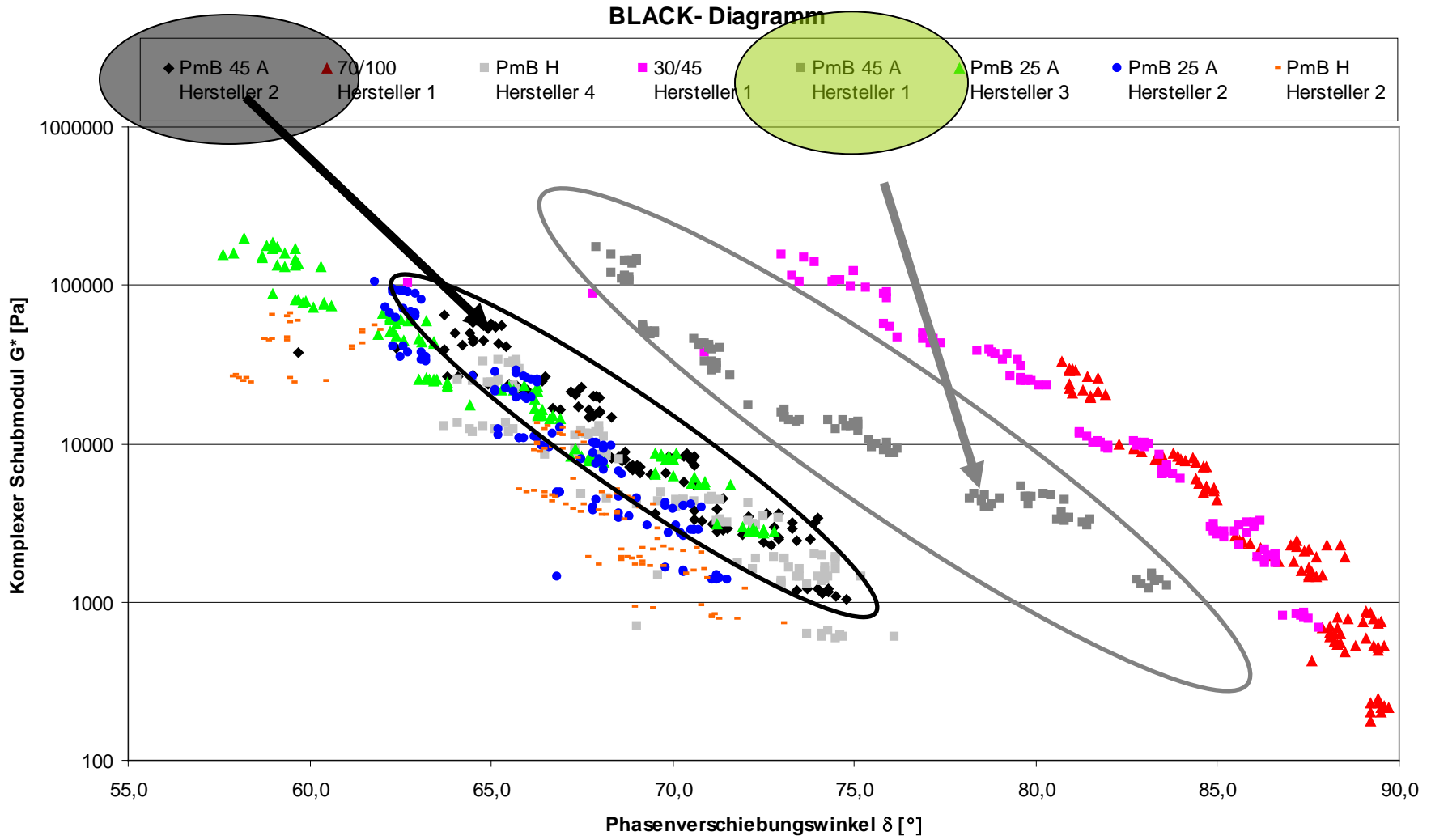
≤ 0,5	2	≤ 0,3
≥ 60	7	≥ 60
≤ 8	2	≤ 8
≤ 2	3	≤ 5
≥ 50	4	≥ 50
NR	0	NR

IA	1	IA
IA	1	IA

In einem **BLACK - Diagramm** werden die an einem Bindemittel bei unterschiedlichen Temperaturen und Frequenzen bestimmten Kennwerte **komplexer Schubmodul und Phasenverschiebungswinkel** in **Abhängigkeit voneinander dargestellt.**

Unterschiede im rheologischen Materialverhalten verschiedener Bindemittel Bindemittel können mit Hilfe von **BLACK - Diagrammen** veranschaulicht werden.

Black Diagramm



Im Auftrag des Bundesministeriums
für
Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Forschungsprojekt FE 07.225/2008/BGB

**Einfluss von Qualitätsunterschieden polymermodifizierter
bitumenhaltiger Bindemittel gleicher Sorte
auf das mechanische Verhalten von Asphalten**

Teil 1: Verformungsverhalten bei Wärme

Forschungsstelle:
Hansa-Nord-Labor GmbH
Ingenieur- und Prüfgesellschaft, Pinneberg



Dr.-Ing. Kerstin Schindler



Dipl.-Ing. Carsten Oelkers



Ziel des Forschungsvorhabens ist es herauszufinden, ob sich unterschiedliches rheologisches Stoffverhalten verschiedener Bindemittel gleicher Sorte auf das Verformungsverhalten der Asphalte bei Wärme auswirkt.



Zur Bestimmung des unterschiedlichen rheologischen Stoffverhaltens verschiedener Bindemittel gleicher Sorte auf das Verformungsverhalten von Asphalt wurden **drei Bitumensorten (25/55-55A, 40/100-65A, 10/40-65A)** von jeweils **vier verschiedenen Herstellern** verwendet. Als Mischgutvarianten werden **zwei Deckschichtvarianten (AC11DS, SMA11S)** und **eine Asphaltbindervariante (AC16BS)** ausgewählt.

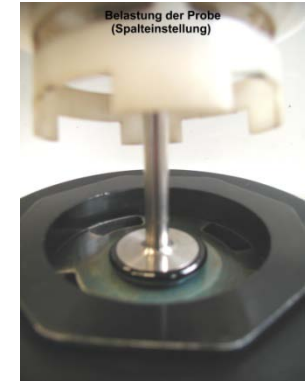
Rheologische Bitumeneigenschaften

DSR Analytik

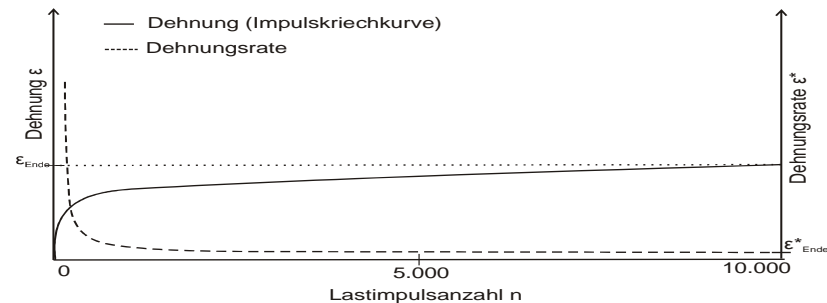
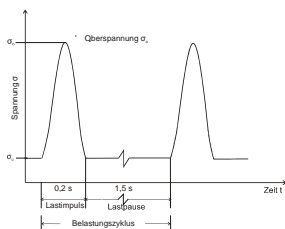
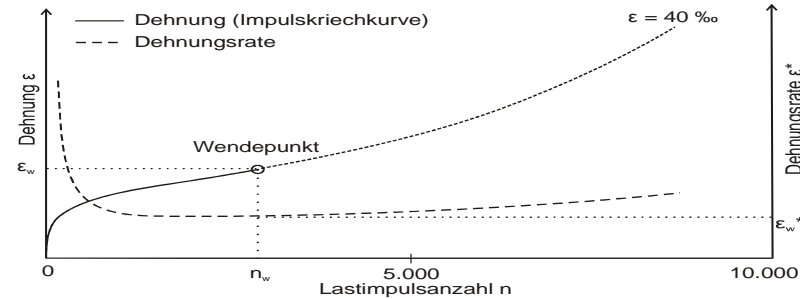
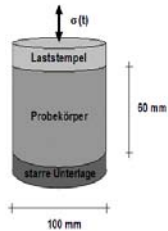
Temperatursweep von $T = 30^\circ \text{C}$ bis $T = 90^\circ \text{C}$

Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Tests durchgeführt.

- Temperatur von $T = 50^\circ \text{C}$
- 3 Laststufen (100 Pa, 1.600 Pa und 3.200 Pa)
- gesamte Dauer des MSCR-Tests = 300 s

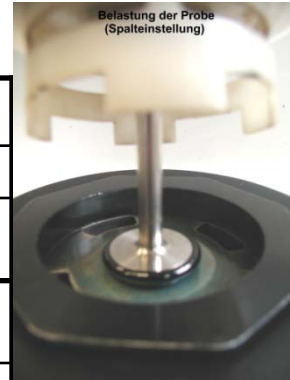


Ansprache des Verformungsverhaltens durch Einaxialer Druck-Schwellversuche



Temperatursweep von $T = 30^\circ \text{ C}$ bis $T = 90^\circ \text{ C}$

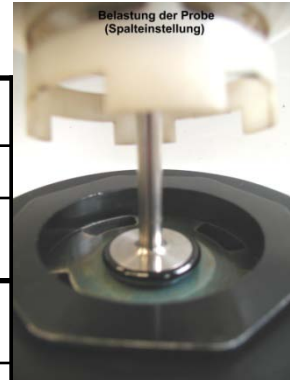
Temperatur $T [^\circ \text{ C}]$	25/55-55A (PmB 45 A) (Lieferzustand)											
	Hersteller 1			Hersteller 2			Hersteller 3			Hersteller 4		
	$G^* [\text{Pa}]$	$\delta [^\circ]$	$G^*/\sin\delta$	$G^* [\text{Pa}]$	$\delta [^\circ]$	$G^*/\sin\delta$	$G^* [\text{Pa}]$	$\delta [^\circ]$	$G^*/\sin\delta$	$G^* [\text{Pa}]$	$\delta [^\circ]$	$G^*/\sin\delta$
30° C	387882	56,2	467,37	667325	58,8	785,20	716541	53,6	892,12	496099	58,9	580,45
40° C	97420	63,0	109,37	131829	68,2	142,17	164010	64,8	181,29	103261	68,9	110,70
50° C	25311	65,9	27,73	30529	70,6	32,39	37835	69,1	40,50	22331	72,5	23,41
60° C	7564	67,5	8,19	8358	75,9	8,62	9946	74,9	10,30	5956	75,2	6,16
70° C	2560	69,7	2,73	2413	81,5	2,44	2786	81,4	2,82	1889	78,4	1,93
80° C	933	72,9	0,98	759	84,6	0,76	866	75,7	0,87	655	81,8	0,66
90° C	431	76,3	0,44	271	86,2	0,27	307	87,5	0,31	247	85,3	0,25



Komplexer Schubmodul G^* , Phasenwinkel δ , $G^*/\sin\delta$ (Mittelwerte) für Bitumen der Sorte 25/55-55A (PmB 45 A) im Lieferzustand

Temperatursweep von $T = 30^\circ \text{ C}$ bis $T = 90^\circ \text{ C}$

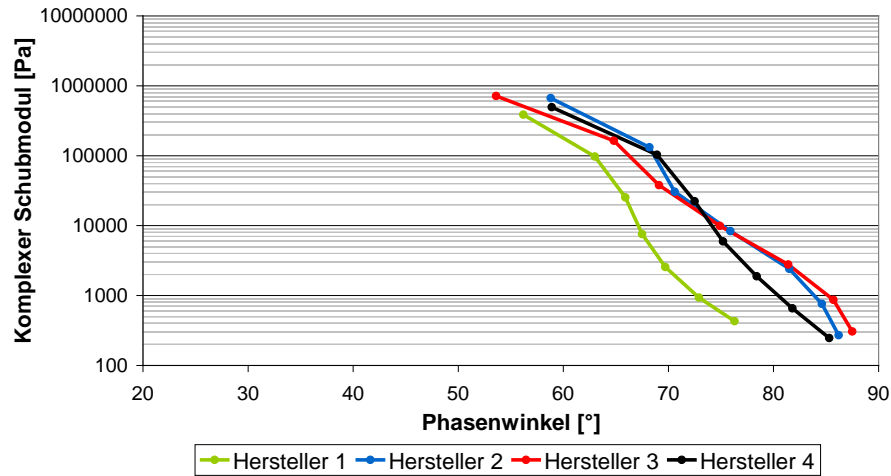
Temperatur $T [^\circ \text{ C}]$	25/55-55A (PmB 45 A) (Lieferzustand)											
	Hersteller 1			Hersteller 2			Hersteller 3			Hersteller 4		
	G^* [Pa]	δ [$^\circ$]	$G^*/\sin\delta$	G^* [Pa]	δ [$^\circ$]	$G^*/\sin\delta$	G^* [Pa]	δ [$^\circ$]	$G^*/\sin\delta$	G^* [Pa]	δ [$^\circ$]	$G^*/\sin\delta$
30° C	387882	56,2	467,37	667325	58,8	785,20	716541	53,6	892,12	496099	58,9	580,45
40° C	97420	63,0	109,37	131829	68,2	142,17	164010	64,8	181,29	103261	68,9	110,70
50° C	25311	65,9	27,73	30529	70,6	32,39	37835	69,1	40,50	22331	72,5	23,41
60° C	7564	67,5	8,19	8358	75,9	8,62	9946	74,9	10,30	5956	75,2	6,16
70° C	2560	69,7	2,73	2413	81,5	2,44	2786	81,4	2,82	1889	78,4	1,93
80° C	933	72,9	0,98	759	84,6	0,76	866	75,7	0,87	655	81,8	0,66
90° C	431	76,3	0,44	271	86,2	0,27	307	87,5	0,31	247	85,3	0,25



Komplexer Schubmodul G^* , Phasenwinkel δ , $G^*/\sin\delta$ (Mittelwerte) für Bitumen der Sorte 25/55-55A (PmB 45 A) im Lieferzustand

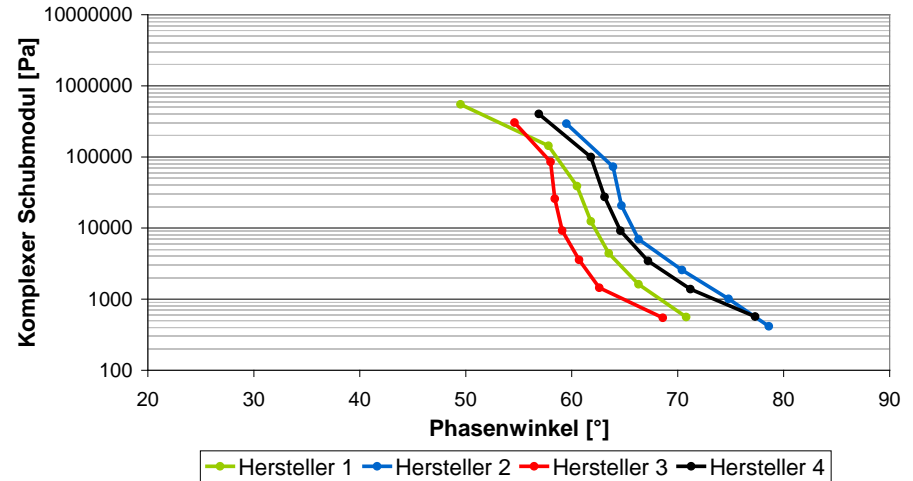
Black Diagramme

25/55-55A



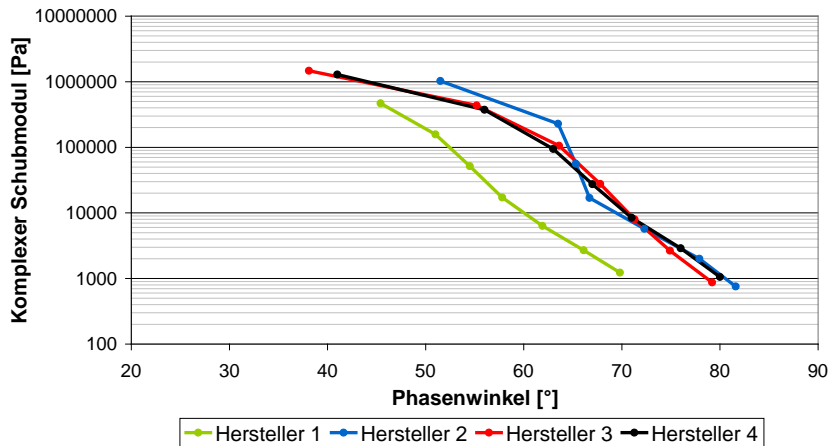
BLACK-Diagramm für Bitumen der Sorte **25/55-55A** (PmB 45 A) verschiedener Hersteller

40/100-65A, gealtert gemäß DIN EN 12607-1



BLACK-Diagramm für Bitumen der Sorte **40/100-64A** (PmB H) verschiedener Hersteller

10/40-65A



BLACK-Diagramm für Bitumen der Sorte **10/40-65A** (PmB 25 A) verschiedener Hersteller

(MSCR) Tests

Eigenschaft [Einheit]	25/55-55A (PmB 45 A)				40/100-65A (PmB H)				10/40-65A (PmB 25 A)			
	H 1	H 2	H 3	H 4	H 1	H 2	H 3	H 4	H 1	H 2	H 3	H 4
Lieferzustand												
durchschn., prozentuale Erholung bei 100 Pa [%]	58,3	17,6	22,7	36,5	74,6	63,9	87,8	69,4	76,9	53,6	55,7	56,8
durchschn., prozentuale Erholung bei 1.600 Pa [%]	54,5	16,4	20,3	36,7	71,6	59,6	89,9	62,5	65,8	48,1	48,6	57,5
durchschn., prozentuale Erholung bei 3.200 Pa [%]	53,3	14,7	18,3	34,0	74,1	56,3	90,7	65,0	64,5	47,7	48,4	58,0
$R_{diff,100-1.600}$ [%]	3,8	1,2	2,4	-0,2	3,0	4,3	-2,1	6,9	11,1	5,5	7,1	-0,7
$R_{diff,100-3.200}$ [%]	1,2	1,7	2,0	2,7	-2,5	3,3	-0,8	-2,5	1,3	0,4	0,2	-0,5
nach Alterung gemäß DIN EN 12607-1												
durchschn., prozentuale Erholung bei 100 Pa [%]	66,1	40,4	47,7	59,5	77,1	56,6	85,8	70,1	73,4	68,2	66,1	61,8
durchschn., prozentuale Erholung bei 1.600 Pa [%]	66,1	39,3	46,1	55,9	71,0	54,4	83,4	70,6	76,0	62,8	60,9	72,1
durchschn., prozentuale Erholung bei 3.200 Pa [%]	67,5	38,8	46,0	55,8	72,2	53,0	86,3	71,8	76,9	63,9	62,6	74,9
$R_{diff,100-1.600}$ [%]	0	1,1	1,6	3,6	6,1	2,2	2,4	-0,5	-2,6	5,4	5,2	-10,3
$R_{diff,100-3.200}$ [%]	-1,4	0,5	0,1	0,1	-1,2	1,4	-2,9	-1,2	-0,9	-1,1	-1,7	-2,8

(MSCR) Tests

Eigenschaft [Einheit]	25/55-55A (PmB 45 A)				40/100-65A (PmB H)				10/40-65A (PmB 25 A)			
	H 1	H 2	H 3	H 4	H 1	H 2	H 3	H 4	H 1	H 2	H 3	H 4
Lieferzustand												
Dehnungsrate bei 100 Pa [%/s]	1,8	3,9	2,5	3,5	0,7	1,6	0,4	1,7	0,5	0,9	0,4	0,4
Dehnungsrate bei 1.600 Pa [%/s]	32,0	64,4	40,8	58,5	13,5	31,3	5,7	36,1	11,5	15,1	8,2	6,7
Dehnungsrate bei 3.200 Pa [%/s]	69,6	133,8	85,5	127,3	26,8	74,8	13,7	70,8	27,0	31,4	17,1	13,5
nach Alterung gemäß DIN EN 12607-1												
Dehnungsrate bei 100 Pa [%/s]	0,6	1,0	0,5	0,6	0,5	1,9	0,2	0,7	0,2	0,3	0,2	0,1
Dehnungsrate bei 1.600 Pa [%/s]	10,4	16,8	8,2	11,4	9,9	33,5	5,0	11,3	3,1	5,2	2,7	1,5
Dehnungsrate bei 3.200 Pa [%/s]	21,6	34,3	16,5	24,1	20,4	74,0	9,1	23,4	6,9	10,4	5,6	2,9

(MSCR) Tests

Eigenschaft [Einheit]	25/55-55A (PmB 45 A)				40/100-65A (PmB H)				10/40-65A (PmB 25 A)			
	H 1	H 2	H 3	H 4	H 1	H 2	H 3	H 4	H 1	H 2	H 3	H 4
Lieferzustand												
akkumulierte Dehnung nach 300 Sekunden [-]	10,8	20,3	12,9	19,3	4,9	11,4	2,9	12,4	4,1	4,8	2,7	2,2
nach Alterung gemäß DIN EN 12607-1												
akkumulierte Dehnung nach 300 Sekunden [-]	3,5	5,3	2,6	3,8	3,5	11,6	1,9	3,9	1,1	1,7	0,9	0,5

(MSCR) Tests

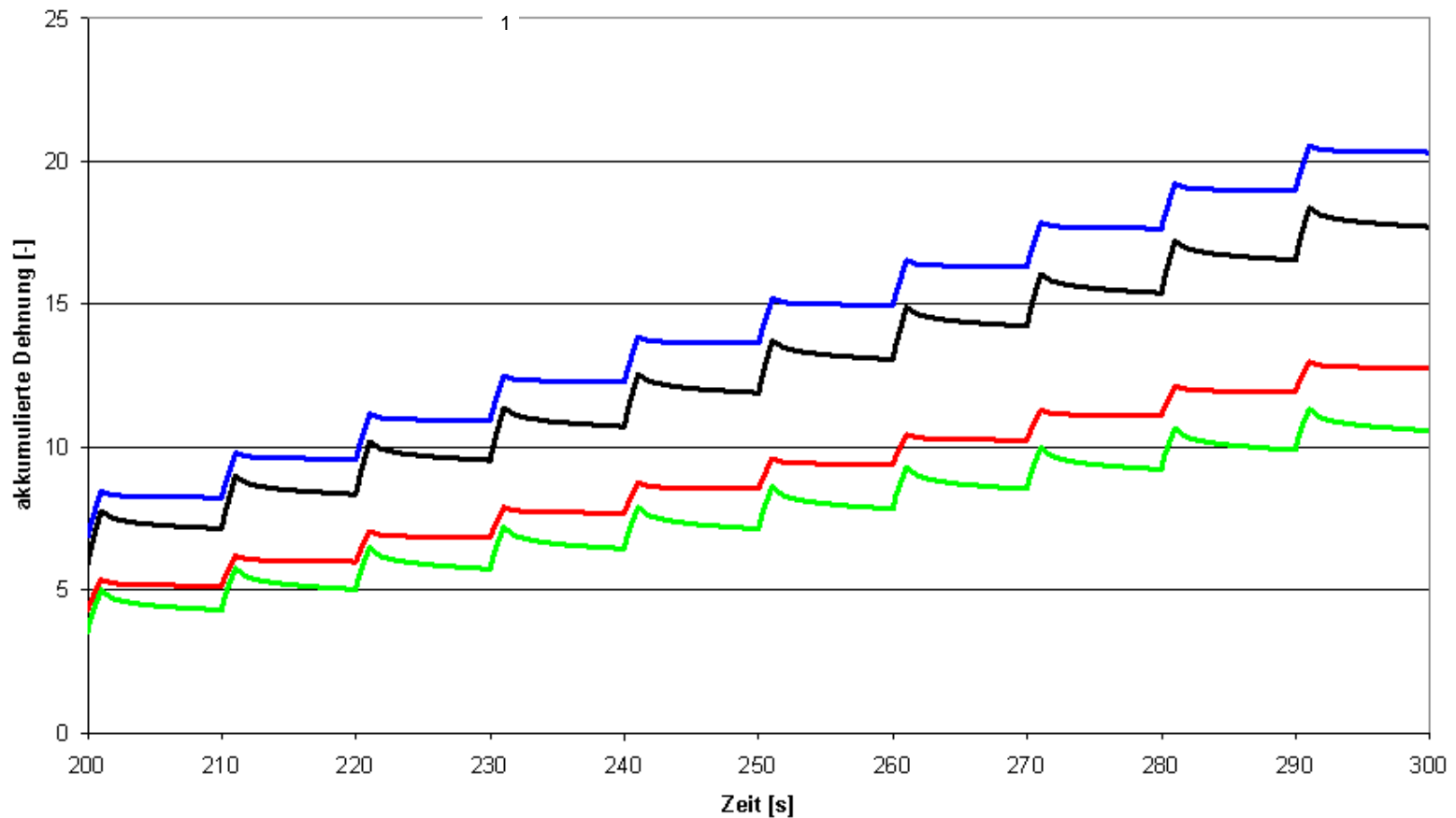
Hersteller

1

2

3

4



Akkumulierte Dehnung (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Zeit bei einer Temperatur von 50 °C und einer Spannung in der Belastungsphase von 3200 Pa für **Bitumen der Sorte PmB 45 A (25/55-55)**

Rheologische Unterschiede bei Bitumen gleicher Sorte sind vorhanden!

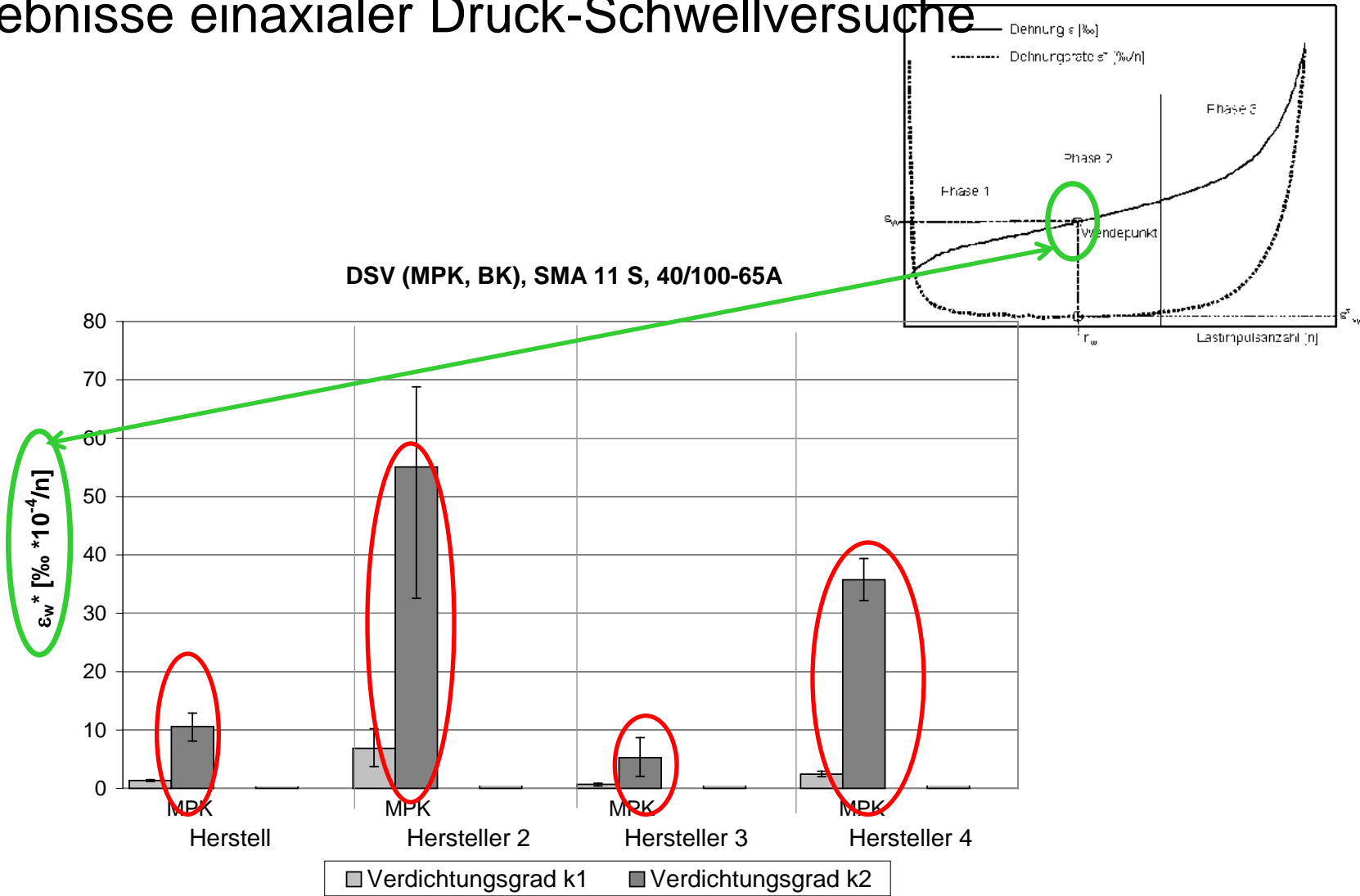
Durch die Hersteller wird das rheologische Verhalten von Bitumen gleicher Sorten beeinflusst!

Fragen:

Gibt es Unterschiede des Verformungsverhaltens der Asphalte beim Einsatz von Bitumen gleicher Sorte?

Hängt das Verformungsverhalten eines Asphalts vom Bitumenhersteller ab?

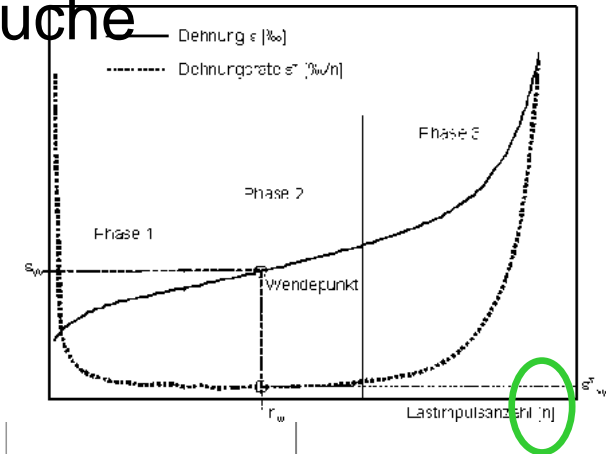
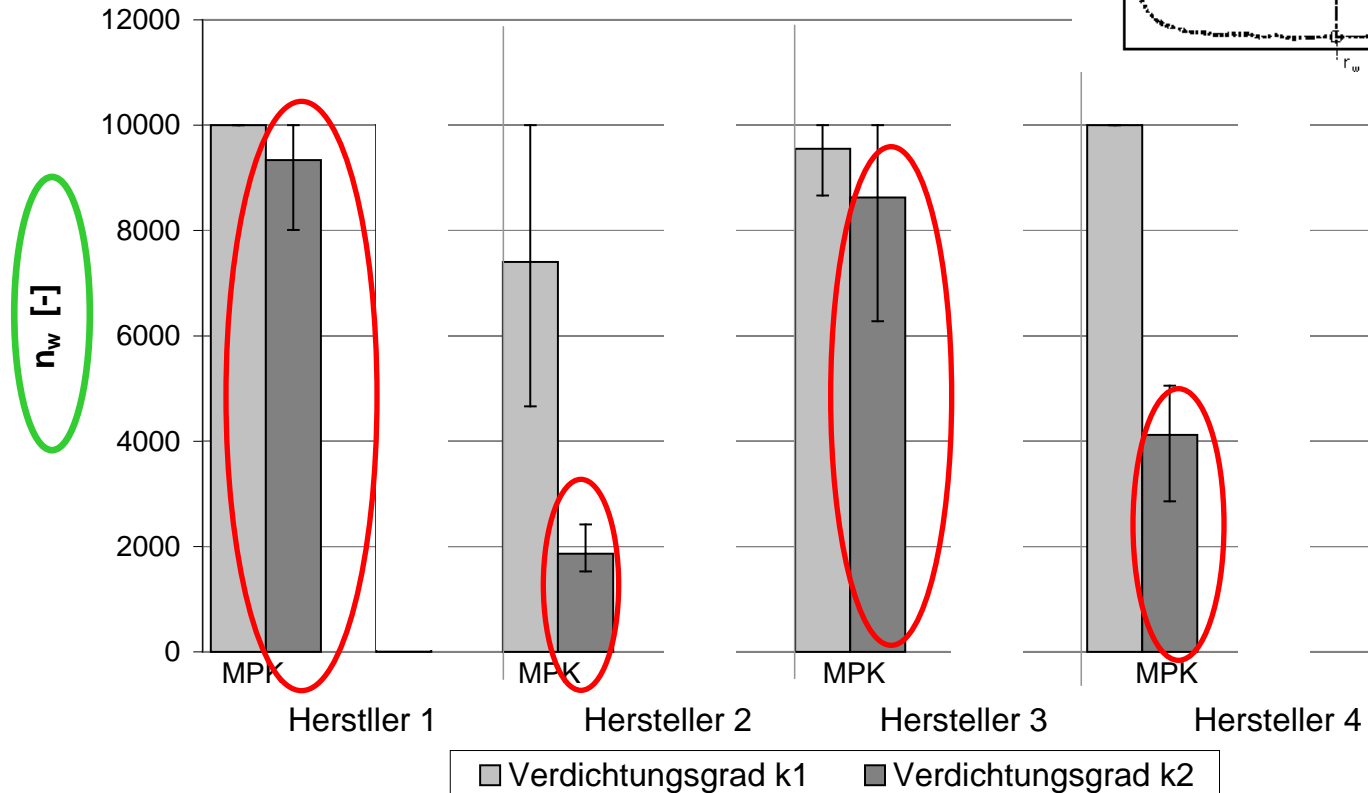
Ergebnisse einaxialer Druck-Schwellversuche



Dehnungsrate ϵ_w^* , DSV (MPK, BK), SMA 11S, 40/100-65A

Ergebnisse einaxialer Druck-Schwellversuche

DSV (MPK, BK), n_w , SMA 11 S, 40/100-65A



Anzahl der Lastwechsel n_w , DSV (MPK, BK), SMA 11S, 40/100-65A

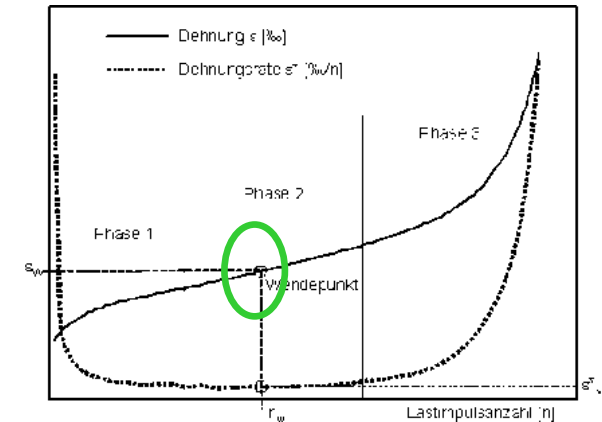
Beschreibung /Prognose des Verformungsverhaltens von Asphalten

Roos, R.; Charif, K.; Karcher, C.; u. v. m.: Schaffung eines Bewertungshintergrundes zur Prognostizierung der Standfestigkeit von Asphalten mit dem **Druck-Schwellversuch** – Hauptphase, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 868, 2003

Schellenberg, K.; Schellenberg, P.: „Die Wärmestandfestigkeit von Asphalt – **Der Druck-Schwellversuch** seit 25 Jahren in der Bewährung“ Straße und Autobahn 9, 2008

Karcher, C.: Prognose und Bewertung des Verformungsverhaltens von Asphalten mit dem **Druck-Schwellversuch** am Beispiel des Splittmastixasphaltes, Veröffentlichungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 54, Karlsruhe 2005

Für einen Nutzungszeitraum können die folgenden Beurteilungskriterien für einen bei Wärme ausreichend verformungsbeständigen Asphalt angegeben werden (vgl. Literatur):



Zusammengefasste Beurteilungskriterien für die **Dehnungsrate in Abhängigkeit der Verkehrsbeanspruchung:**

- Bauklasse IV und höher: ϵ_w^* bzw. $\epsilon_{10.000}^* < 50$
- Bauklasse III-II: ϵ_w^* bzw. $\epsilon_{10.000}^* < 30$
- Bauklasse SV und I mit normalen Beanspruchungen: ϵ_w^* bzw. $\epsilon_{10.000}^* < 21$
- Bauklasse I, SV mit besonderen Beanspruchungen Unterteilung gemäß Heft 868:
 - innerhalb **10 Jahren**
 - bis 30 Mio. äAÜ innerhalb **10 Jahren**: ϵ_w^* bzw. $\epsilon_{10.000}^* < 9$
 - bis 20 Mio. äAÜ innerhalb **10 Jahren**: ϵ_w^* bzw. $\epsilon_{10.000}^* < 13$
 - innerhalb **20 Jahren**
 - bis 70 Mio. äAÜ innerhalb **20 Jahren**: ϵ_w^* bzw. $\epsilon_{10.000}^* < 5$

Zur Ableitung von Anforderungswerten für Bitumeneigenschaften, deren Erfüllung als Kriterium für einen bei Wärme ausreichend verformungsbeständigen Asphalt zu interpretieren ist, wurden **Ergebnisse von Regressionsanalysen** aus dem Forschungsvorhaben mit den aus der **Literatur zu entnehmenden Beurteilungskriterien** für Ergebnisse einaxialer Druck-Schwellversuche miteinander verknüpft.

Empfohlene Anforderungswerte hinsichtlich Verformungsbeständigkeit

Mischgutart / Verdichtungsgrad / Bitumensorte	SMA11S / ca. 97 % - 98 % / 25/55-55A		SMA11S / ca. 97 %- 98 % / 40/100-65A	
	Anforderungswert durch., proz. Erholung bei 50 °C und 3200 Pa (MSCR-Test) [%]	Anforderungswert Phasenwinkel nach RTFOT-Alterung bei 50 °C (DSR-Analytik) [°]	Anforderungswert durch., proz. Erholung bei 50 °C und 3200 Pa (MSCR-Test) [%]	Anforderungswert Phasenwinkel nach RTFOT-Alterung bei 50 °C (DSR-Analytik) [°]
Verkehrsbeanspruchung				
Bauklasse IV und höher	mindestens 30,6	höchstens 61,3	mindestens 53,8	höchstens 64,6
Bauklasse III-II	mindestens 37,0	höchstens 59,9	mindestens 60,2	höchstens 62,1
Bauklasse SV und I mit normalen Beanspruchungen	mindestens 41,4	höchstens 59,3	mindestens 64,7	höchstens 61,0
Bauklasse SV und I mit besonderen Beanspruchungen				
bis 20 Mio. äÄÜ innerhalb 10 Jahren	mindestens 47,4	höchstens 58,7	mindestens 70,7	höchstens 60,0
bis 30 Mio. äÄÜ innerhalb 10 Jahren	mindestens 52,0	höchstens 58,4	mindestens 75,3	höchstens 59,5
bis 50 Mio. äÄÜ innerhalb 20 Jahren	mindestens 57,1	höchstens 58,2	mindestens 80,3	höchstens 59,1
bis 70 Mio. äÄÜ innerhalb 20 Jahren	mindestens 59,4	höchstens 58,1	mindestens 82,6	höchstens 59,0

**Im Auftrag des Bundesministeriums
für
Verkehr, Bau und Stadtentwicklung**

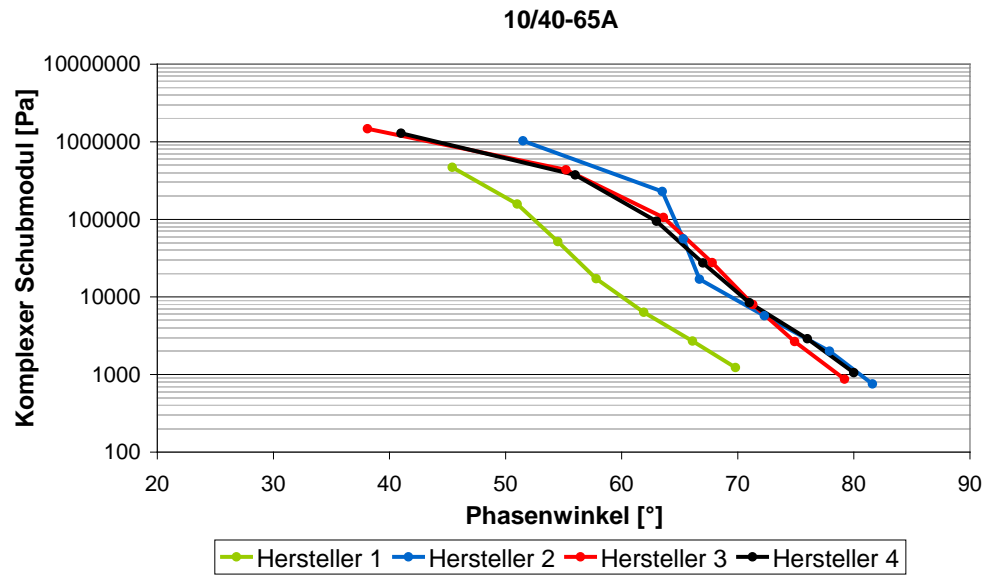
Forschungsprojekt FE 07.235/2008/BGB

Einfluss von Qualitätsunterschieden polymermodifizierter
bitumenhaltiger Bindemittel gleicher Sorte
auf das mechanische Verhalten von Asphalten,

Teil 2: Kälte-, Ermüdungs- und Steifigkeitsverhalten

Forschungsstelle:
Hansa-Nord-Labor GmbH
Ingenieur- und Prüfgesellschaft, Pinneberg

Fertigstellung des Forschungsvorhabens: 1. Halbjahr 2013



Auf das Bitumen kommt es an!