

**Abschlussbericht zum Projekt 444 6020012:
„Erstellung der Erst- und Kontrollprüfungen für eine
Erprobungsstrecke mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und
STORFLUX PLUS sowie Durchführung weitergehender
Untersuchungen“**

„Erstellung der Erst- und Kontrollprüfungen für eine Erprobungsstrecke mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS sowie Durchführung weitergehender Untersuchungen“

Ruhr-Universität Bochum

Fakultät für Bau- und
Umweltingenieurwissenschaften
Lehrstuhl für Verkehrswegebau

Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg

Dipl.-Ing. Nina Nytus

September 2018

Auftraggeber:

LandesBetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM RP)

Referenznr.: 4200019010

Inhaltsverzeichnis

1	Vorgehen.....	5
2	Untersuchungsprogramm.....	6
2.1	Voruntersuchungen.....	6
2.1.1	Asphaltgranulat.....	6
2.1.2	Festlegung der Zugabemenge der Rejuvenatoren.....	6
2.2	Untersuchungen im Rahmen der erweiterten Erst- und Kontrollprüfung.....	7
2.2.2	Spaltzug-Schwellversuch.....	7
2.2.3	Einaxialer Druck-Schwellversuch.....	8
2.2.4	Kälteeigenschaften.....	11
3	Ergebnisse.....	14
3.1	Ergebnisse der Voruntersuchungen.....	14
3.1.1	Asphaltgranulat.....	14
3.1.2	Festlegung der Zugabemenge der Rejuvenatoren.....	14
3.2	Ergebnisse der erweiterten Erstprüfung.....	35
3.2.1	Asphaltmischgutzusammensetzung und -eigenschaften.....	35
3.2.2	Bindemittleigenschaften.....	42
3.2.3	Ergebnisse des Spaltzug-Schwellversuches.....	43
3.2.4	Ergebnisse des einaxialen Druck-Schwellversuches.....	49
3.2.5	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit.....	51
3.2.6	Ergebnisse zu den Kälteeigenschaften.....	52
3.3	Ergebnisse der erweiterten Kontrollprüfung.....	56
3.3.1	Schichtenverbund und Schichtdicke.....	57
3.3.2	Asphaltmischgutzusammensetzung und -eigenschaften.....	58
3.3.3	Bindemittleigenschaften.....	59
3.3.4	Ergebnisse des Spaltzug-Schwellversuches.....	62
3.3.5	Ergebnisse des einaxialen Druck-Schwellversuches.....	70
3.3.6	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit.....	73
3.3.7	Ergebnisse zu den Kälteeigenschaften.....	74
3.4	Weitere Untersuchungen.....	78
3.4.1	Ebenheitsmessungen.....	78
3.4.2	Griffigkeitsmessungen.....	78
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	79
5	Literaturverzeichnis.....	82
	Abbildungsverzeichnis.....	83
	Tabellenverzeichnis.....	86
	Anhang 1.....	89
	Anhang 2.....	104

1 Vorgehen

Der Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum wurde vom LandesBetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz mit der Erstellung von erweiterten Erstprüfungen für die Erneuerung der Bundesstraße B37, Bad Dürkheim beauftragt. Bei der Erneuerung wurde der Einsatz von den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 (Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen) und STORFLUX PLUS (mineralölbasiertes Produkt) in der Asphaltdeckschicht und der Asphaltbinderschicht und zugleich der Einfluss verschiedener Asphaltgranulat-Anteile auf die Asphalteigenschaften erprobt. Folgende Varianten kamen dabei unter der Verwendung beider Rejuvenatoren zum Einsatz:

- SMA 16 B S mit 30 M.-% Asphaltgranulat
- SMA 16 B S mit 45 M.-% Asphaltgranulat
- SMA 16 B S mit 60 M.-% Asphaltgranulat
- AC 11 D S mit 20 M.-% Asphaltgranulat
- AC 11 D S mit 40 M.-% Asphaltgranulat
- AC 11 D S mit 60 M.-% Asphaltgranulat

Zusätzlich zu den Untersuchungen einer Erstprüfung nach ZTV Asphalt-StB 07/13 wurden durchgeführt:

- Untersuchung der zwei Asphaltgranulate (Asphaltdecke und Asphaltbinder):
Korngrößenverteilung, Bindemittelgehalt und Bindemittleigenschaften (Erweichungspunkt Ring und Kugel, komplexer Schermodul und Phasenwinkel im Temperaturbereich von -10 °C bis +150 °C)
- Festlegung der Zugabemengen der beiden Rejuvenatoren:
Bestimmung der Bindemittleigenschaften bei jeweils drei unterschiedlichen Zugabemengen, Alterung der Bindemittelgemische (RTFOT und PAV) und erneute Bestimmung der Bindemittleigenschaften
- Ermittlung der Temperatur-Steifigkeitsfunktion nach AL Sp-Asphalt 09
- Einaxialer Druck-Schwellversuch zur Bestimmung des Verformungsverhaltens gemäß TP Asphalt-StB, Teil 25 B1
- Bestimmung der Wasserempfindlichkeit (ITSR) der Asphaltgemische nach TP Asphalt-StB, Teil 12
- Ermittlung des Kälteverhaltens:
Einaxialer Zugversuch (4 Temperaturen) und Abkühlversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 46 A

Nach dem Bau der Erprobungsstrecken wurden die Bindemittel- sowie Asphalteigenschaften auch an Ausbauproben und Asphaltmischgutproben der Varianten der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht untersucht.

2 Untersuchungsprogramm

2.1 Voruntersuchungen

2.1.1 Asphaltgranulat

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden die Eigenschaften der zur Verwendung vorgesehenen Asphaltgranulate ermittelt. Dazu wurden die in Big Bags angelieferten Granulate am Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum homogenisiert und jeweils fünf Teilproben untersucht.

Folgende Eigenschaften der Asphaltgranulate wurden bestimmt:

- Bindemittelgehalt nach TP Asphalt-StB, Teil 1
- Korngrößenverteilung nach TL AG-StB 09
- Rohdichte nach TP Asphalt-StB, Teil 5

An den rückgewonnenen Bindemitteln wurden die folgenden Kennwerte ermittelt:

- Erweichungspunkt Ring und Kugel gemäß DIN EN 1427
- Komplexer Schermodul und Phasenwinkel in einem Temperaturbereich von -10 °C bis 150 °C gemäß DIN EN 14770

Für alle Untersuchungen im Dynamischen Scherrheometer (DSR) wurde für den Bereich des komplexen Schermoduls von 1 kPa bis 100 kPa entsprechend DIN EN 14770 ein Platte-Platte-Messsystem mit einem Durchmesser von 25 mm (PP25) und bei Werten > 100 kPa ein Messsystem mit einem Durchmesser von 8 mm verwendet. Der Spaltabstand betrug bei einem Durchmesser von 25 mm 1 mm und bei 8 mm-Durchmesser 2 mm. Aus den Ergebnissen der Temperatur-Sweeps wurden die Äquisteifigkeitstemperaturen bei einem komplexen Schermodul von 15 kPa ($T(G^* = 15 \text{ kPa})$) und die zugehörigen Phasenwinkel berechnet. Nach bisherigem Kenntnisstand entspricht bei Straßenbaubitumen die Äquisteifigkeitstemperatur $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ in etwa dem Erweichungspunkt Ring und Kugel (Radenberg, Nytus et al. 2014).

2.1.2 Festlegung der Zugabemenge der Rejuvenatoren

Ausgehend von den Äquisteifigkeitstemperaturen ($T(G^* = 15 \text{ kPa})$) der rückgewonnenen Bindemittel aus den beiden Granulaten wurden in Absprache mit den Produktherstellern drei Zugabemengen gewählt:

- SYLVAROAD RP1000: 2 M.-%, 4 M.-% und 6 M.-%
- STORFLUX PLUS: 8 M.-%, 12 M.-% und 16 M.-%

Die Mischzeit betrug bei einer Mischtemperatur von 150 °C bei SYLVAROAD RP1000 10 Minuten und wurde bei STORFLUX PLUS auf 30 Minuten erhöht, nachdem nach 10 Minuten nur sehr geringe verjüngende Effekte am resultierenden Bindemittel festgestellt wurden. Zudem wurden die Bindemittelgemische mittels RTFOT kurzzeit- und mittels PAV langzeitgealtert. Vor und nach der Alterung wurden der Erweichungspunkt Ring und Kugel, der komplexer Schermodul und der Phasenwinkel in einem Temperaturbereich von -10 °C bis 150 °C bestimmt.

2.2 Untersuchungen im Rahmen der erweiterten Erst- und Kontrollprüfung

In diesem Kapitel werden die Laborversuche beschrieben, die über den üblichen Umfang einer Erst- und Kontrollprüfung nach ZTV Asphalt-StB 07/13 hinaus durchgeführt wurden. Dies sind der Spaltzug-Schwellversuch nach AL Sp-Asphalt 09, der einaxiale Druck-Schwellversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 und der einaxiale Zug- und Abkühlversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 46 A zur Bewertung des Kälteverhaltens.

2.2.2 Spaltzug-Schwellversuch

Die Bestimmung des Steifigkeitsverhaltens (temperaturabhängiger E-Modul) wurde mit dem dynamischen Spaltzug-Schwellversuch gemäß AL Sp-Asphalt 09 durchgeführt. Entsprechend der in Abbildung 1 dargestellten Prinzipskizze wird zur Bestimmung des Steifigkeitsverhaltens ein zylindrischer Probekörper (Abmessungen bei einem Größtkorn ≤ 16 mm: $h = 40 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ und $d = 100 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$) durch eine sinusförmige Schwellbelastung (vertikale Druckkraft F) beansprucht. Die resultierende horizontale Verformung ($u_1 + u_2$) wird gemessen und daraus nach der folgenden Gleichung der E-Modul ermittelt:

$$E = \frac{\Delta F \cdot (0,274 + \mu)}{h \cdot \Delta u}$$

mit:	E	[MPa]	E-Modul
	ΔF	[N]	Differenz zwischen maximaler und minimaler Kraft
	μ	[-]	Querdehnzahl
	h	[mm]	Probekörperhöhe
	Δu	[mm]	Differenz zwischen maximaler und minimaler Horizontalverformung des Probekörpers

Die Querdehnzahl ist temperaturabhängig und wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\mu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + e^{(3,1849 - 0,04233 \cdot \frac{9}{5} \cdot T + 32)}}$$

mit:	μ	[-]	Querdehnzahl
	T	[°C]	Temperatur

Die Bestimmung des E-Moduls erfolgt bei vier Temperaturen (-10 °C, 0 °C, 10 °C und 20 °C). Weitere Prüfbedingungen für die Durchführung des Spaltzug-Schwellversuches sind in Tabelle 1 aufgeführt. (AL Sp-Asphalt 09)

Neben den nach AL Sp-Asphalt 09 vorgesehenen Frequenzen wurden zusätzlich die Frequenzen 0,3 und 3 Hz geprüft, die im Entwurf einer TP Asphalt-StB für den Spaltzug-Schwellversuch vorgesehen sind. (Entwurf TP Asphalt, Teil 26A)

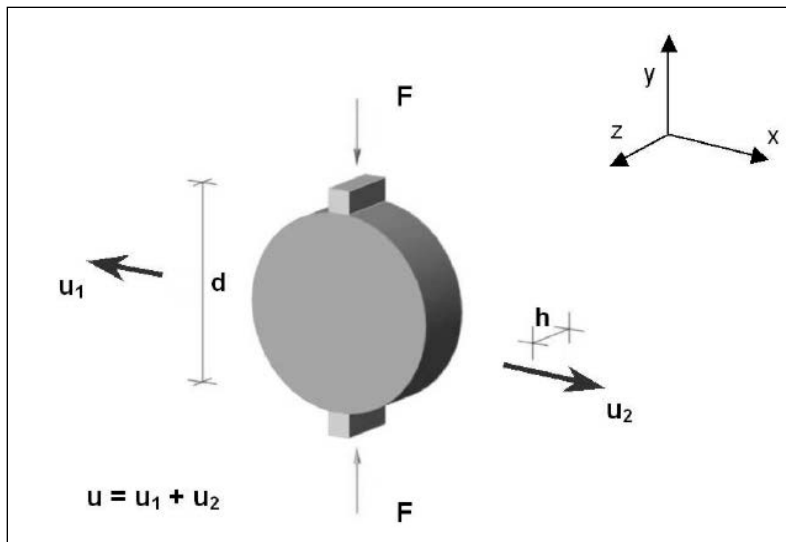


Abbildung 1: Prinzip des Spaltzug-Schwellversuchs (AL Sp-Asphalt 09)

Tabelle 1: Prüfbedingungen für die Durchführung des Spaltzug-Schwellversuches

Belastungsfrequenzen	[Hz]	0,1; 0,3; 1; 3; 5; 10
Unterlast	[MPa]	0,035
Lastpause	[s]	keine
Belastungsverlauf	[-]	sinusförmig
zulässiger Bereich für die resultierenden elastischen Horizontaldehnungen	[%o]	0,05 bis 0,10

Bei der Bestimmung der Asphaltsteifigkeiten mit Hilfe des Spaltzug-Schwellversuchs werden nur so geringe Dehnungen erzeugt, dass keine Rissbildung im Probekörper auftritt. Die Prüfung kann daher mit dem so genannten Multistageverfahren (Mehrfachverwendung von Proben) durchgeführt werden. Hierzu werden an drei Probekörpern nacheinander jeweils die elastischen horizontalen Dehnungen bei der Belastungsfrequenz bestimmt. Die auf die Probe aufgebrachten Spannungsdifferenzen müssen entsprechend der Prüftemperatur angepasst werden (Zunahme der Spannungsdifferenz mit Abnahme der Temperatur).

Mit Hilfe des Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzips und den Isothermen des Steifigkeitsmoduls, welche aus den für alle untersuchten Beanspruchungszustände ermittelten Steifigkeitsmoduln abgeleitet werden, kann die sogenannte Hauptkurve berechnet werden. Mit dieser können für bestimmte Belastungsfrequenzen Steifigkeitsmoduln für Temperaturen berechnet werden, für die keine Messergebnisse vorliegen. (AL Sp-Asphalt 09)

2.2.3 Einaxialer Druck-Schwellversuch

Der einaxiale Druck-Schwellversuch wird nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 durchgeführt. Hierbei wird ein zylindrischer Asphaltprobekörper (\varnothing 100 mm) bei isothermem Versuchsablauf einer auf der Grundfläche des Probekörpers gleichmäßig verteilten haversinenimpulsförmigen Druck-Schwellbelastung unterworfen. (TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 2012)

Als Proben dienen aus Asphaltplatten gebohrte Kerne. Diese werden für mindestens 2,5 Stunden bei der Prüftemperatur von 50 °C vortemperiert. Vor dem Einsetzen der Probe in das Prüfgerät werden die Grundflächen der Probe mit einem Gleitmittel (Graphit) behandelt, um die Reibung herabzusetzen. Der Versuchsaufbau des einaxialen Druck-Schwellversuches ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Versuchsaufbau des einaxialen Druck-Schwellversuches

Die Belastung wird durch das Aufbringen der konstanten Unterlast P_U eingeleitet. Der eigentliche Versuchsbeginn und somit der Nullpunkt der Verformungskurve erfolgt durch das Aufbringen der Impulsbelastung nach der vorgegebenen Lastimpulskurve. Während des Versuchs werden für jeden Belastungszyklus die sich am Probekörper einstellenden bleibenden (irreversiblen) Verformungen in den Belastungsrichtungen aufgezeichnet und ausgewertet. Der zeitliche Verlauf ist eine Abfolge von Lastimpulsen und Lastpausen. (TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 2012)

Die wesentlichen Prüfparameter und die Abbruchbedingungen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Prüfparameter zur Durchführung und Abbruchbedingungen des einaxialen Druck-Schwellversuches nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B1

Prüfparameter:		
Prüftemperatur	[°C]	50
Unterlast	[N/mm ²]	0,025
Oberlast	[N/mm ²]	0,350
Impulsdauer	[s]	0,2
Lastpause	[s]	1,5
Temperierzeit	[min]	150
Stempeldurchmesser	[mm]	100
Abbruchbedingungen:		
Lastimpulsanzahl	[N]	10.000
Dehnung	[‰]	40

Die durch Aufsummieren der einzelnen Anteile an irreversiblen Verformungen des Probekörpers entstehende Kurve ist die Impulskriechkurve. Diese Kurve bildet die Grundlage

für die Auswertung. Die nach TP Asphalt-StB 10, Teil 25 B1 typischen Impulskriechkurven sind in Abbildung 3 dargestellt.

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, wird die Impulskriechkurve in drei Phasen unterteilt. Die Phase 1 weist i.a. zu Beginn einen starken Anstieg der Verformung auf, welche mit progressiv abnehmender Verformungsgeschwindigkeit abflacht. Diese Phase kann auch als Konsolidierung des Asphalts betrachtet werden. (TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 2012)

Die Phase 2 kennzeichnet eine volumenkonstante Formänderung mit nahezu konstanter Verformungsgeschwindigkeit. Diese Phase kann einen Wendepunkt aufweisen, welcher zur Beurteilung des Verformungsverhaltens von Asphalten herangezogen wird. Liegt kein Wendepunkt vor, so weist das geprüfte Asphaltmischgut einen hohen Verformungswiderstand auf. Die dritte und letzte Phase bezeichnet die beginnende und fortschreitende progressiv volumendilatante Gefügezerstörung des Probekörpers, die nur bei Asphalten mit eher schlechtem Verformungsverhalten zu beobachten ist. (TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 2012)

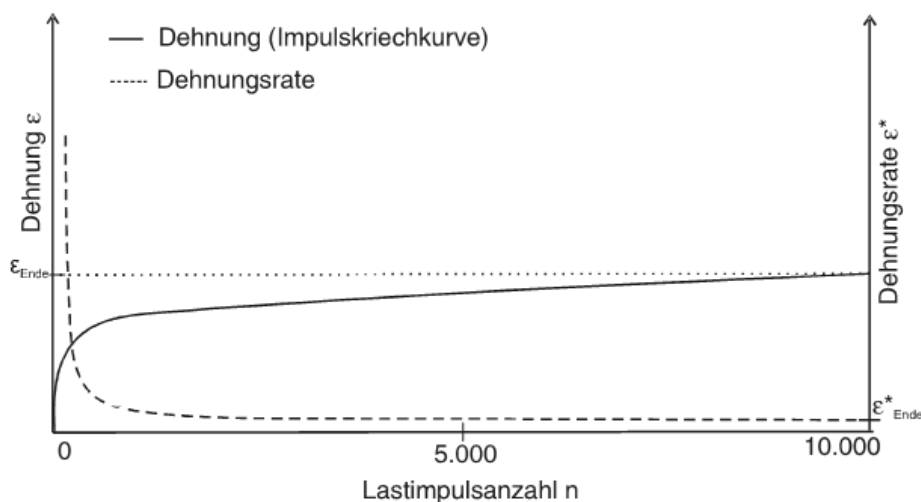
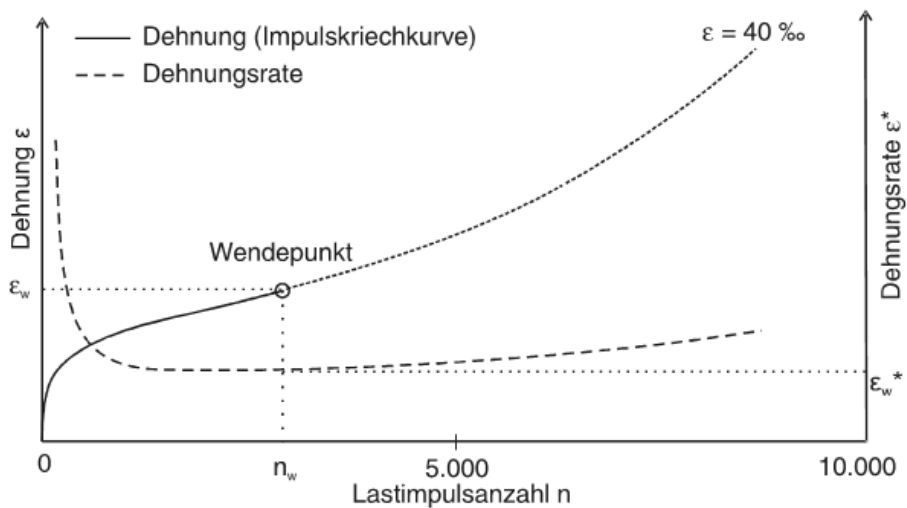


Abbildung 3: Impulskriechkurve mit Wendepunkt (Fall 1, oben) und ohne Wendepunkt (Fall 2, unten)

Als maßgebende Parameter für den einaxialen Druck-Schwellversuch werden Lastimpulszahl im Wendepunkt (n_w), Dehnung im Wendepunkt (ε_w) und Dehnungsrate im Wendepunkt (ε_w^*) herangezogen. Der Wendepunkt kann auf graphische, simultane und mathematische Weise ermittelt werden. Die Regelauswertung ist die simultane Auswertung. Dabei wird in jedem Messpunkt (ε_i, n_i) die Dehnungsrate (ε_i^*) ermittelt:

$$\varepsilon_i^* = \frac{\varepsilon_{(i+100)} - \varepsilon_{(i-100)}}{n_{(i+100)} - n_{(i-100)}}$$

Für die mathematische Beschreibung der Impulskriechkurve wird der folgende Approximationsansatz verwendet:

$$\varepsilon(n) = \varepsilon_0 + a \cdot n^k + b(e^{cn} - 1)$$

Die Koeffizienten ε_0 , a , b , c und k lassen sich iterativ mit Hilfe eines Rechners bestimmen. Daraus können dann die gesuchten Merkmalsgrößen n_w , ε_w und ε_w^* mathematisch ermittelt werden. (TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 2012)

2.2.4 Kälteeigenschaften

Die Kälteeigenschaften von Asphalten werden nach TP Asphalt-StB, Teil 46 A mit dem einaxialen Zugversuch (UTST) und dem Abkühlversuch (TSRST) geprüft.

„Beim einaxialen Zugversuch wird ein Probekörper bei einer konstanten Temperatur mit konstanter Geschwindigkeit so lange auseinander gezogen, bis die Zugfestigkeitsgrenze erreicht ist. Die Ergebnisse des UTST sind die maximale Spannung (Zugfestigkeit) $\beta_t(T)$ und die korrespondierende Bruchspannung $\varepsilon_F(T)$ bei der Prüftemperatur T .“ Die Prüftemperaturen sind +20 °C, +5 °C, -10 °C und -25 °C. Die konstante Geschwindigkeit beträgt $0,625 \pm 0,025$ %/min, bei einer ursprünglichen Länge des Probekörpers von 160 mm entspricht das einer Geschwindigkeit von 1 mm/min. (TP Asphalt-StB, Teil 46 A 2013)

„Beim Abkühlversuch wird ein Probekörper, dessen Länge konstant gehalten wird, einer Temperaturabsenkung mit konstanter Abkühlgeschwindigkeit unterzogen. Aufgrund des verhinderten thermischen Schrumpfens kommt es im Probekörper zu kryogenen Spannungen. Die Ergebnisse sind der Verlauf der kryogenen Spannung über die Temperatur $\sigma_{cry}(T)$ und die Bruchspannung σ_F bei der Bruchtemperatur T_F .“ Gestartet wird der Versuch nach ausreichender Temperierung der Probekörper bei einer Temperatur von $T_0 = 20$ °C und die Lufttemperatur der Prüfkammer mit -10K/h abgekühlt. Der Versuch endet, wenn der Probekörper reißt oder die Lufttemperatur von -40 °C erreicht wird. (TP Asphalt-StB, Teil 46 A 2013)

Bei allen Versuchen müssen mindestens drei Probekörper geprüft werden. Die prismatischen Probekörper haben je nach ihrem Größtkorn die folgenden Abmessungen:

- für $D \leq 11,2$ mm: (40 ± 2) mm x (40 ± 2) mm x (160 ± 2) mm
- für $11,2$ mm < $D \leq 22,4$ mm: (50 ± 2) mm x (50 ± 2) mm x (160 ± 2) mm

Die Probekörper werden aus nach TP Asphalt-StB, Teil 33 im Labor hergestellten Asphalt-Probepplatten ausgesägt. Der Abstand des Probekörpers zum Rand der Asphalt-Probepplatten muss dabei mindestens 20 mm betragen. Die Raumdichte der Probekörper wird im Anschluss bestimmt und die Probekörper vor Versuchsdurchführung mindestens 14 Tage trocken und

ganzflächlich aufliegend gelagert. Vor Versuchsdurchführung werden die genauen Abmessungen des Probekörpers bestimmt. (TP Asphalt-StB, Teil 46 A 2013)

Aus den Ergebnissen der einaxialen Zugversuche und dem Abkühlversuch kann die Zugfestigkeitsreserve berechnet werden. Dazu werden die Ergebnisse der einaxialen Zugversuche in ein Temperatur-Zugfestigkeits-Diagramm eingetragen und die gemessenen Zugfestigkeiten mit einer kubischen Spline Funktion verbunden. Bei Bedarf können Zugfestigkeitswerte unterhalb von -25 °C und über +20 °C wie folgt geschätzt werden:

$$\beta_t(T = -40 \text{ °C}) = 0,9 \cdot \beta_t(T = -25 \text{ °C})$$

$$\beta_t(T = +30 \text{ °C}) = 0,5 \cdot \beta_t(T = +20 \text{ °C})$$

Weiterhin ist der Verlauf der im Abkühlversuch gemessenen kryogenen Spannungen im Diagramm aufzutragen. Die Zugfestigkeitsreserve $\Delta\beta_t(T)$ ergibt sich aus der Differenz zwischen der Zugfestigkeit $\beta_t(T)$ und der kryogenen Spannung $\sigma_{cry}(T)$. In Abbildung 4 ist ein Beispiel zur Bestimmung der Zugfestigkeitsreserve dargestellt. (TP Asphalt-StB, Teil 46 A 2013)

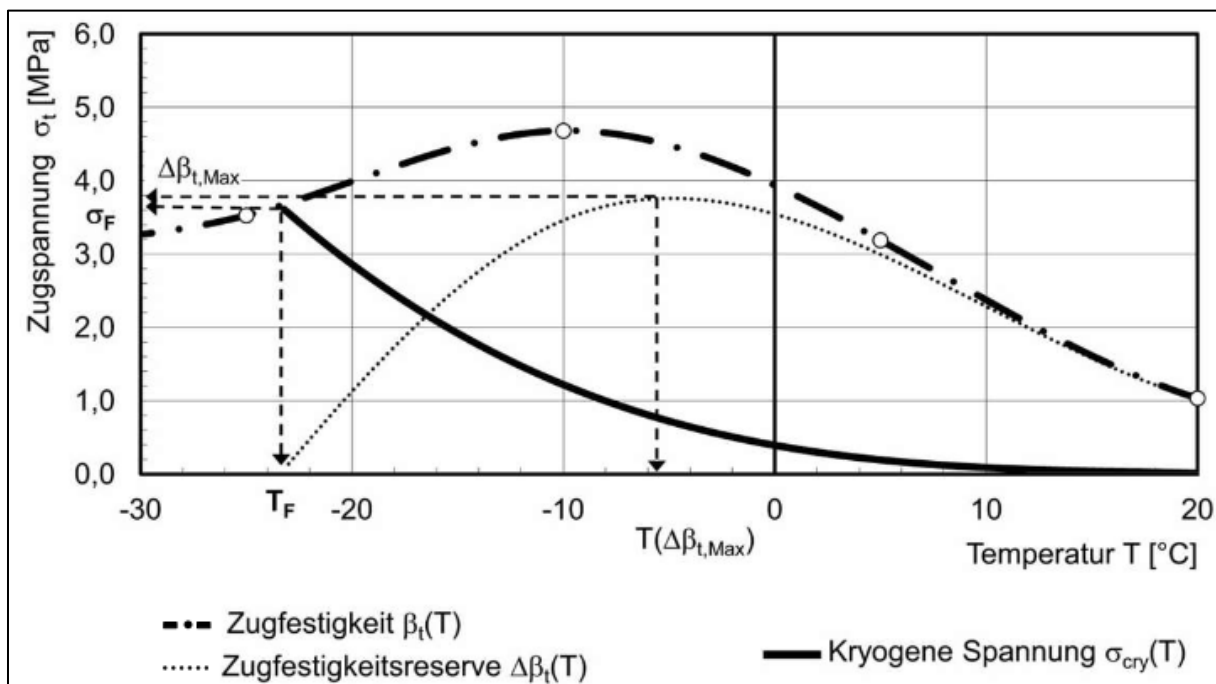


Abbildung 4: Bestimmung der Zugfestigkeitsreserve (TP Asphalt-StB, Teil 46 A 2013)

Im Arbeitspapier „Tiefemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche“ sind Orientierungswerte für die im Abkühlversuch ermittelte Bruchtemperatur in Abhängigkeit von der Frosteinwirkungszone nach RStO 01 (siehe Tabelle 3) und für die in Zugversuchen ermittelte Zugfestigkeit und Bruchdehnung für verschiedene Asphaltmischgutarten (siehe Tabelle 4) angegeben. Diese können orientierend zur Beurteilung des Tiefemperaturverhaltens herangezogen werden.

Tabelle 3: Orientierungswerte für die im Abkühlversuch ermittelte Bruchtemperatur in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen am Ort der Asphaltbefestigung gemäß RStO 01 (AP Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1 2012)

Frosteinwirkungszone nach RStO 01	Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten und Asphaltbinder	Asphalttragschichtmischgut
I	$T_{Br} \leq -15 \text{ °C}$	$T_{Br} \leq -10 \text{ °C}$
II	$T_{Br} \leq -20 \text{ °C}$	$T_{Br} \leq -15 \text{ °C}$
III	$T_{Br} \leq -25 \text{ °C}$	$T_{Br} \leq -20 \text{ °C}$

Tabelle 4: Orientierungswerte für die in Zugversuchen ermittelte Zugfestigkeit und Bruchdehnung für verschiedene Asphaltmischgutarten (AP Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1 2012)

Asphaltart	Zugfestigkeit bei $T = -10 \text{ °C}$	Bruchdehnung bei $T = -10 \text{ °C}$
Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten (AC D)	$\beta_t(-10 \text{ °C}) \geq 4,0 \text{ MPa}$	$\varepsilon_F(-10 \text{ °C}) \geq 0,4 \%$
Splittmastixasphalt (SMA)		
Gussasphalt (MA)	$\beta_t(-10 \text{ °C}) \geq 6,0 \text{ MPa}$	
Offenporiger Asphalt (PA)	$\beta_t(-10 \text{ °C}) \geq 1,4 \text{ MPa}$	

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Voruntersuchungen

3.1.1 Asphaltgranulat

Für die Asphaltbinderschicht SMA 16 B S wurde ein Teil der Asphaltbefestigung des zu erneuernden Abschnittes der B37 gefräst und für die Erstprüfung verwendet.

Bei dem Ausbauasphalt aus der Asphaltdeckschicht der B37 wurde ein relativ geringer Erweichungspunkt Ring und Kugel von 61,3 °C festgestellt und der Plan, dieses Material ebenfalls wiederzuverwenden, verworfen, da bei dem geringen Erweichungspunkt Ring und Kugel der Einsatz von Rejuvenatoren nicht notwendig wäre. Für die Asphaltdeckschicht wurde daher ein Asphaltgranulat einer anderen Baumaßnahme verwendet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Asphaltbinderschichtgranulats sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Ergebnisse für das Asphaltgranulat der Asphaltdeckschicht sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 5: Eigenschaften des Asphaltbinderschichtgranulats

Kennwert	Einheit	Kleinster Wert	Größter Wert	Mittelwert	Spannweite
Nadelpenetration	1/10 mm	15,4	19,4	17,4	4,0
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	69,4	72,1	70,8	2,7
Bindemittelgehalt	M.-%	4,5	5,5	5,0	1,0
< 0,063 mm	M.-%	9,5	17,1	13,3	7,6
0,063 - 2 mm	M.-%	30,8	46,9	38,9	16,1
> 2 mm	M.-%	38,3	54,0	46,2	15,7
Maximale Stückgröße U	mm	22,4			
Rohdichte	g/cm ³	2,456			

Tabelle 6: Eigenschaften des Asphaltdeckschichtgranulats

Kennwert	Einheit	Kleinster Wert	Größter Wert	Mittelwert	Spannweite
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	68,7	70,0	69,4	1,3
Bindemittelgehalt	M.-%	5,0	5,7	5,4	0,7
< 0,063 mm	M.-%	13,8	14,2	14,0	0,5
0,063 - 2 mm	M.-%	27,5	29,1	28,3	1,6
> 2 mm	M.-%	56,6	58,7	57,7	2,0
Maximale Stückgröße U	mm	8,0			
Rohdichte	g/cm ³	2,445			

3.1.2 Festlegung der Zugabemenge der Rejuvenatoren

Die Erweichungspunkte Ring und Kugel und die Nadelpenetration der verschiedenen Bindemittelgemische zur Festlegung der Zugabemenge für das Granulat für die Asphaltbinderschicht sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) und Nadelpenetration (PEN) der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus der Asphaltbinderschicht und SYLVAROAD RP1000 sowie STORFLUX PLUS

Variante	PEN [1/10 mm]	EP RuK [°C]	Δ EP RuK in Bezug auf das Asphaltgranulat [°C]
AG Binder	18,7	70,0	
AG Binder mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000	23,5	66,0	4,0
AG Binder mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000	30,6	61,4	8,6
AG Binder mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000	37,9	59,5	10,5
AG Binder nach RTFOT	14,7	74,4	
AG Binder mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	18,8	69,0	5,4
AG Binder mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	22,2	66,5	7,9
AG Binder mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	27,8	64,6	9,8
AG Binder nach RTFOT + PAV	7,4	81,4	
AG Binder mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	9,9	79,5	1,9
AG Binder mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	13,2	74,4	7,0
AG Binder mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	14,4	73,6	7,8
AG Binder	17,6	70,1	
AG Binder mit 8 M.-% STORFLUX PLUS	27,3	66,2	3,9
AG Binder mit 12 M.-% STORFLUX PLUS	29,2	63,7	6,4
AG Binder mit 16 M.-% STORFLUX PLUS	29,5	62,4	7,7
AG Binder nach RTFOT	15,5	74,5	
AG Binder mit 8 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	20,9	70,9	3,6
AG Binder mit 12 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	24,0	69,3	5,2
AG Binder mit 16 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	27,0	67,5	7,0
AG Binder nach RTFOT + PAV	8,5	83,8	
AG Binder mit 8 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	10,3	79,7	4,1
AG Binder mit 12 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	11,8	77,6	6,2
AG Binder mit 16 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	9,3	78,8	5,0

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Bindemittelgemische mit dem dynamischen Scherrheometer – der komplexe Schermodul und Phasenwinkel – sind in Abbildung 5 bis Abbildung 14 dargestellt.

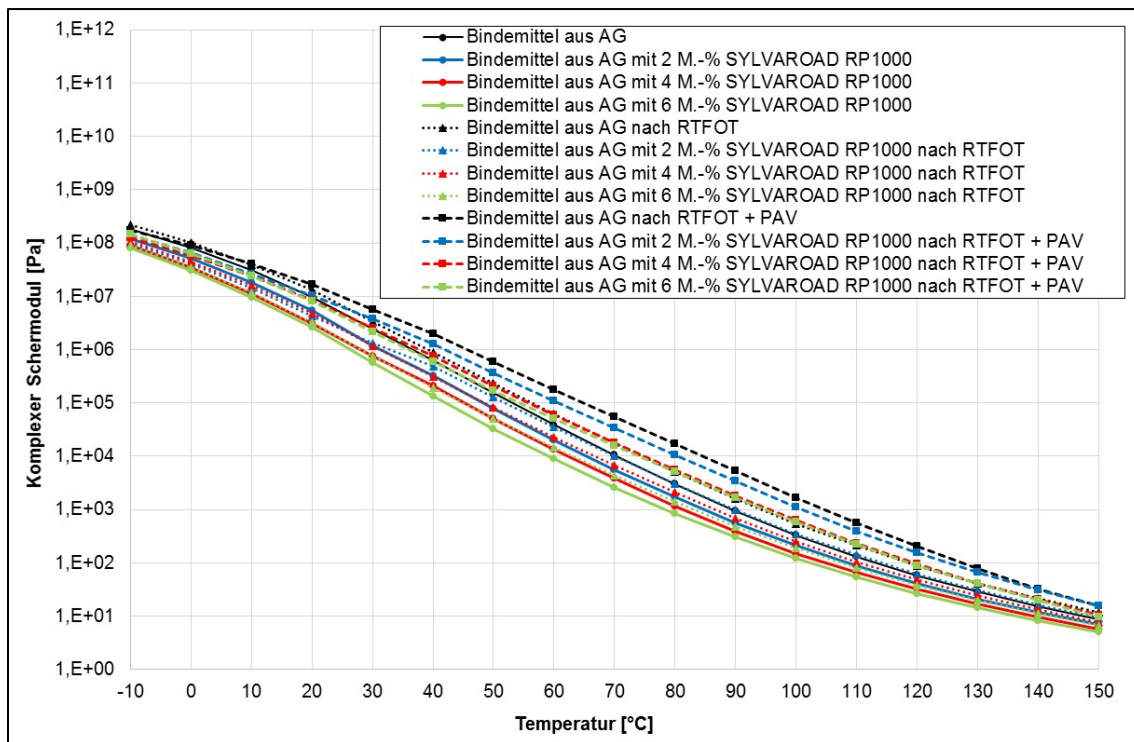


Abbildung 5: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung

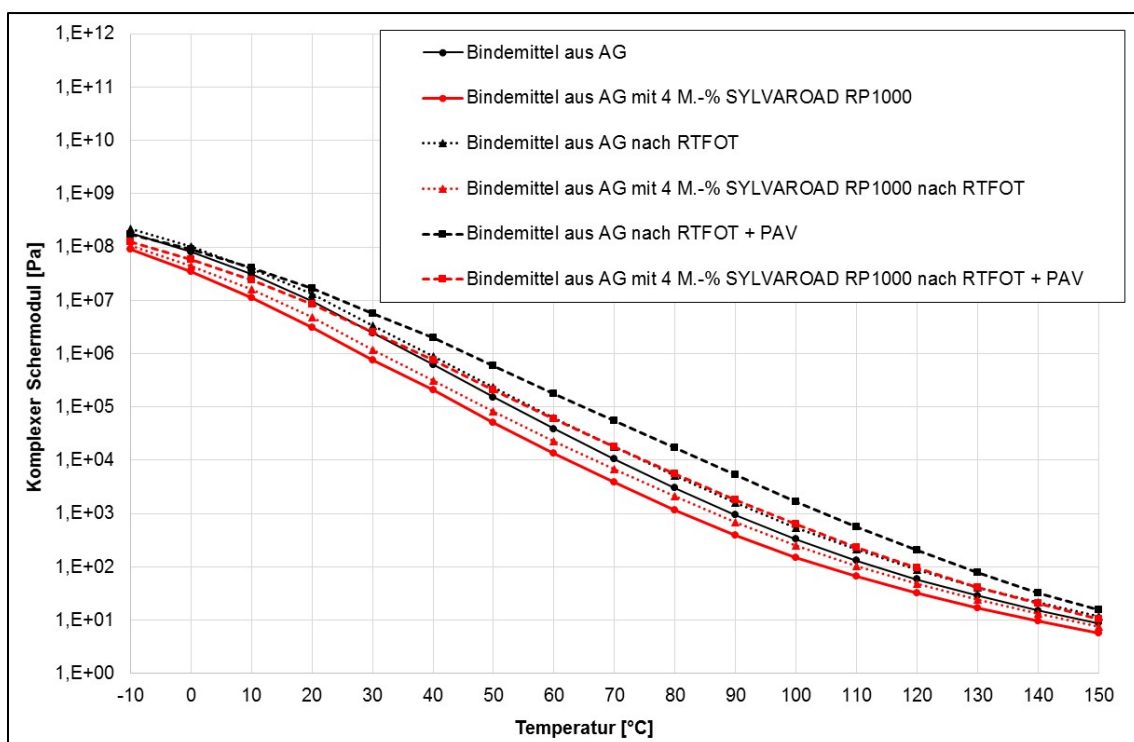


Abbildung 6: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung

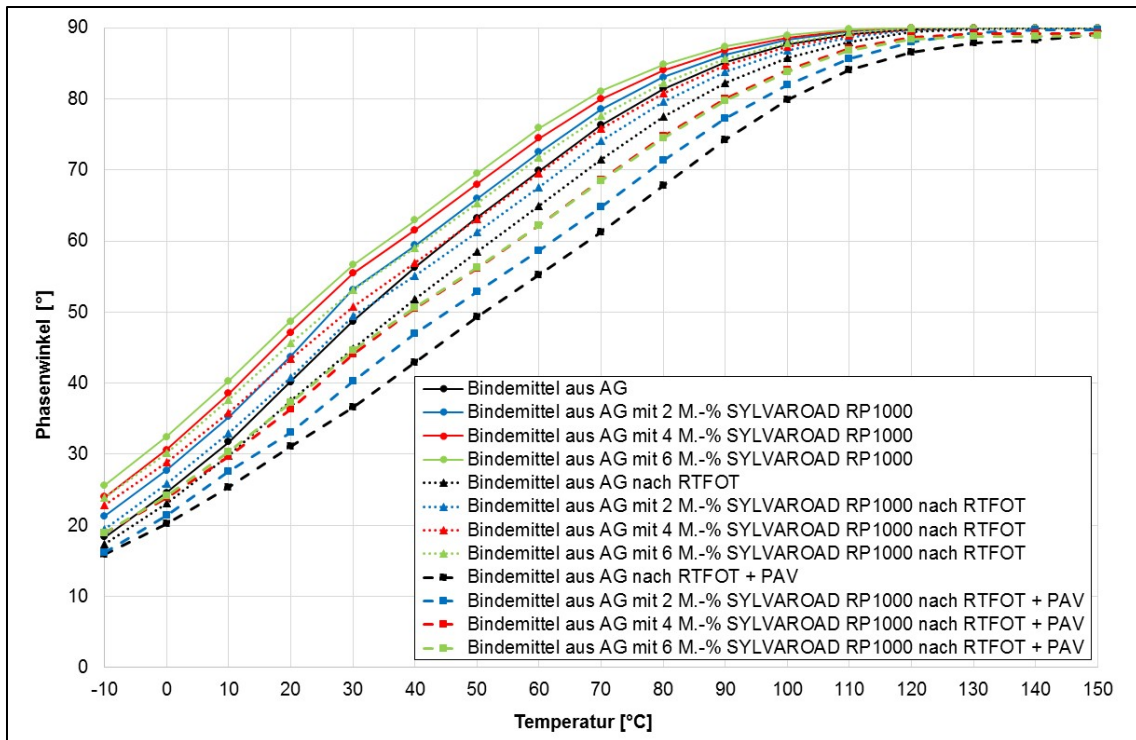


Abbildung 7: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung

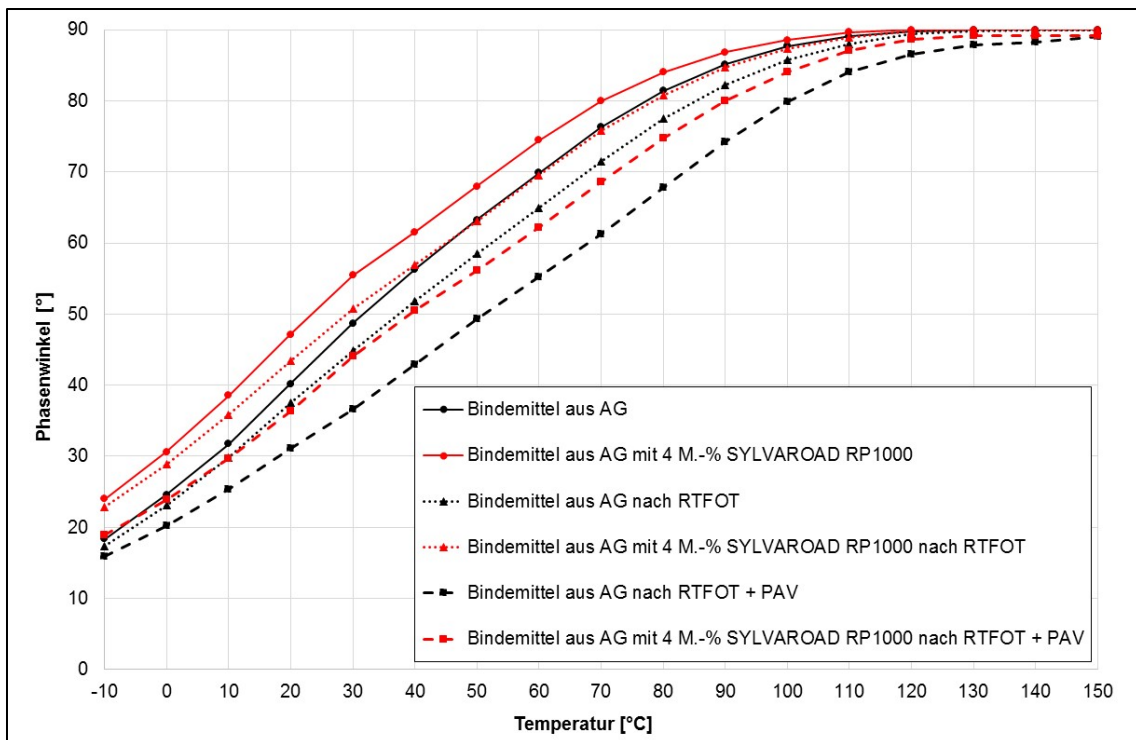


Abbildung 8: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung

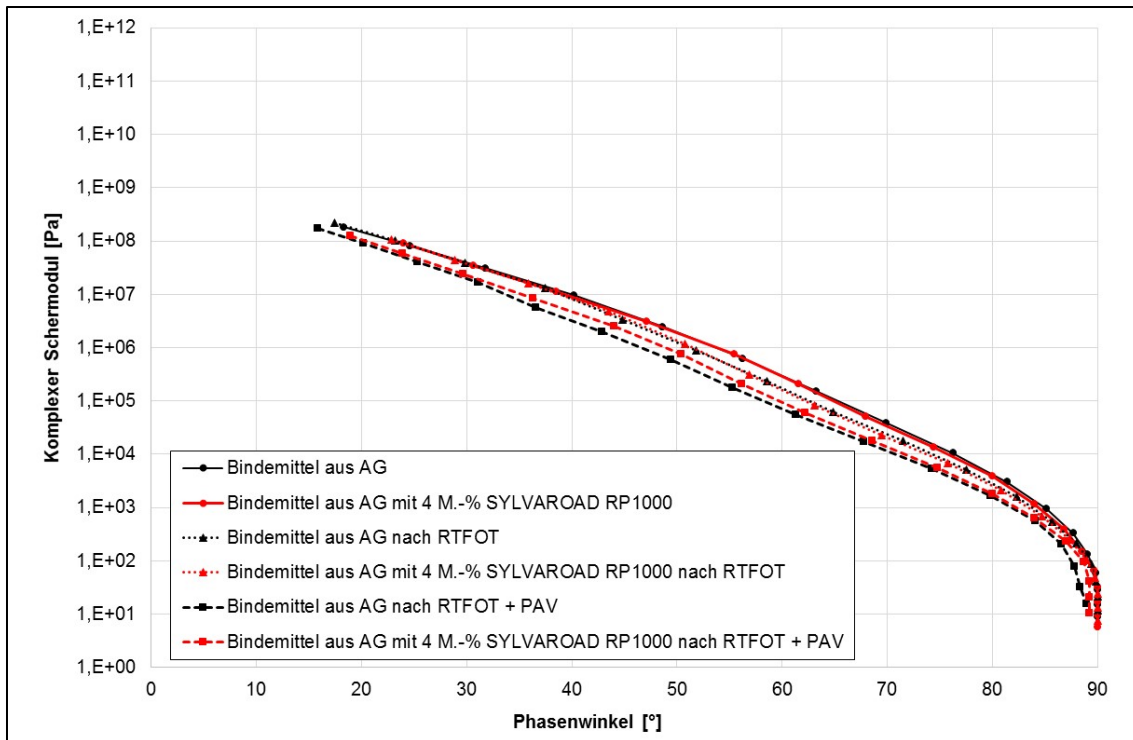


Abbildung 9: Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung

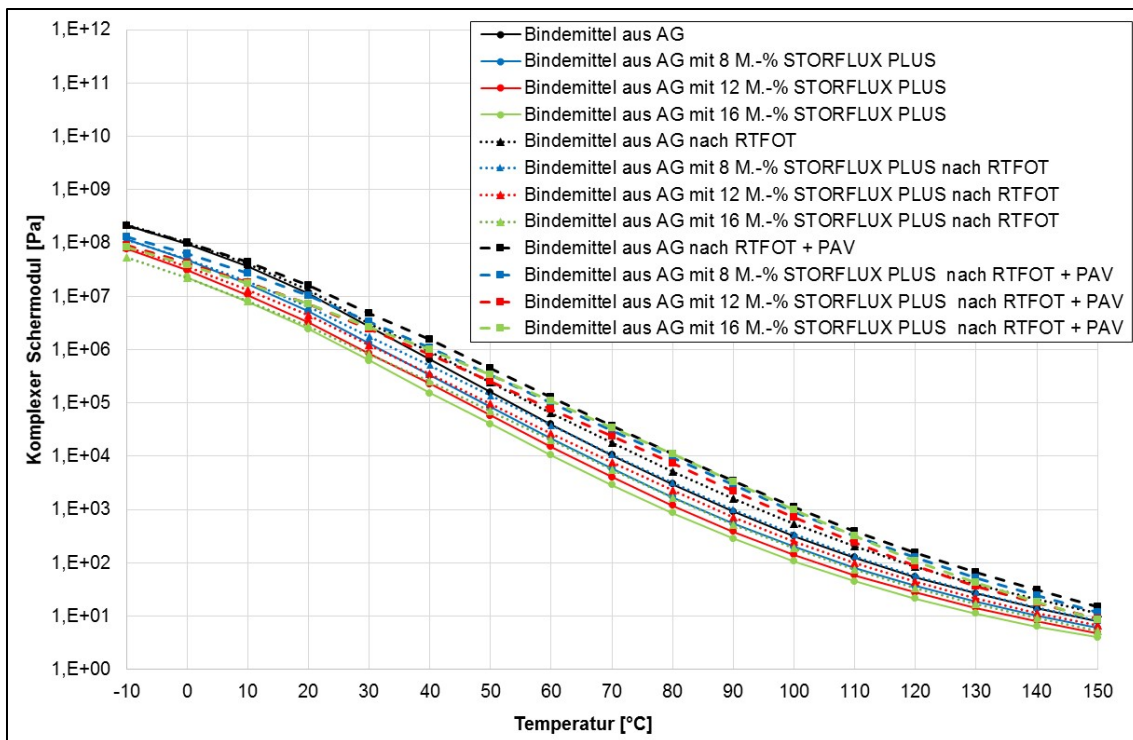


Abbildung 10: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung

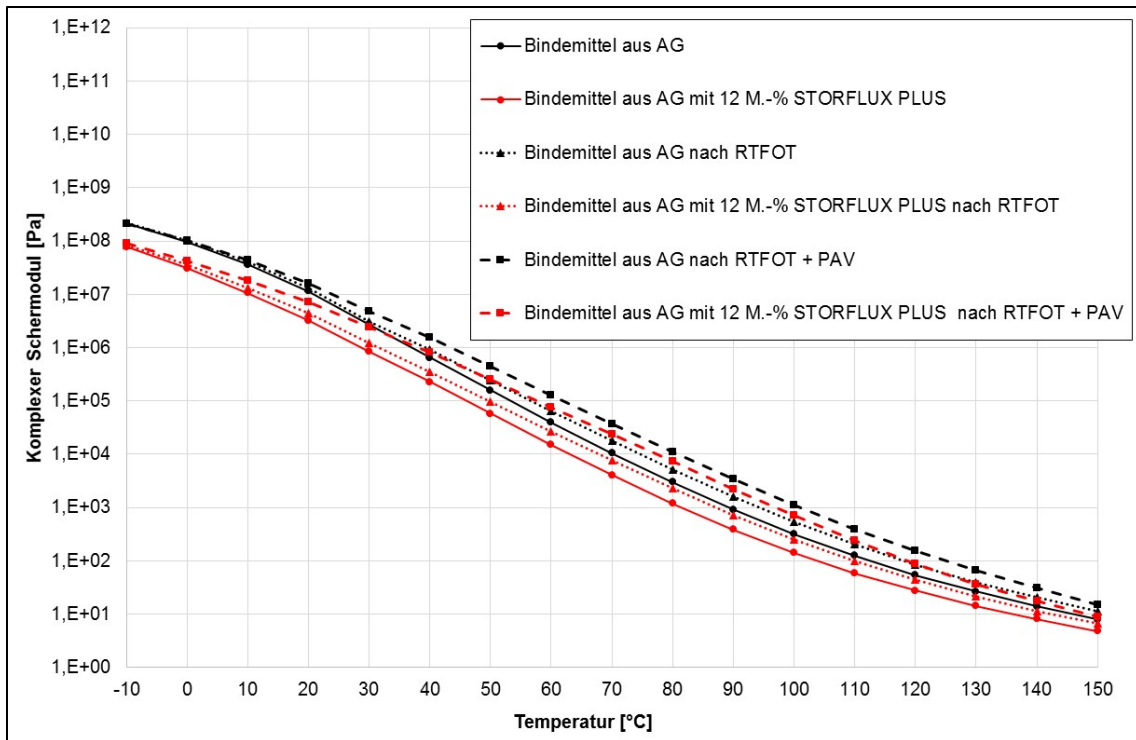


Abbildung 11: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung

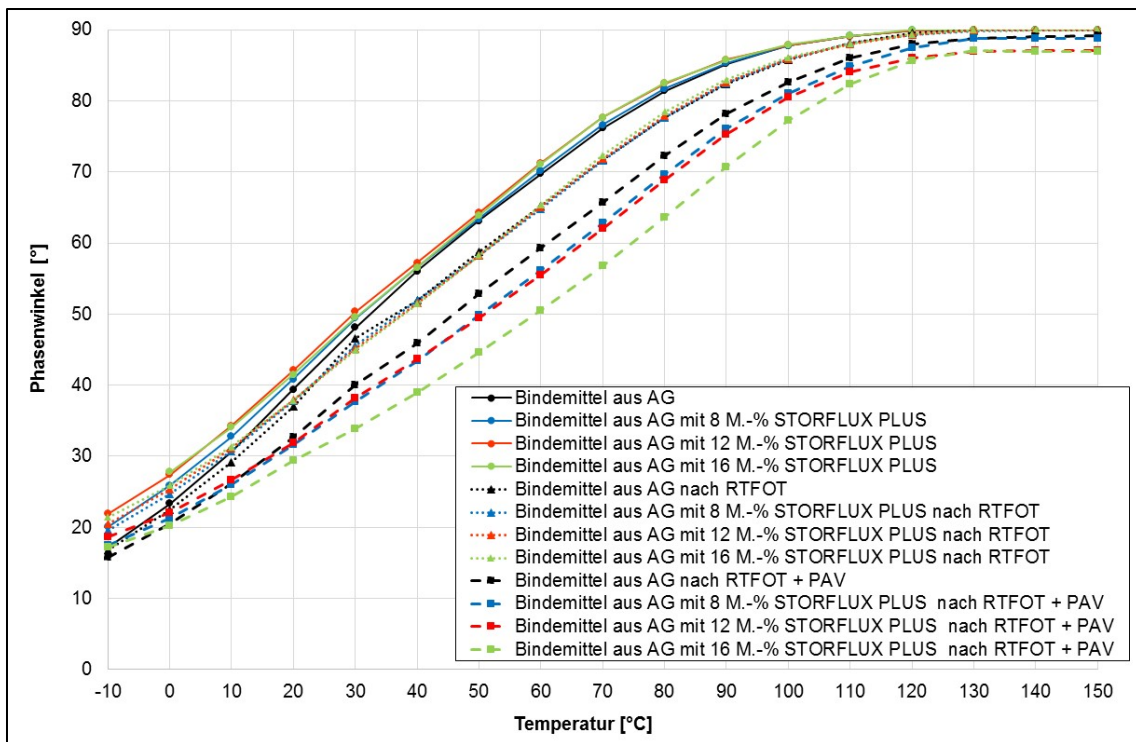


Abbildung 12: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung

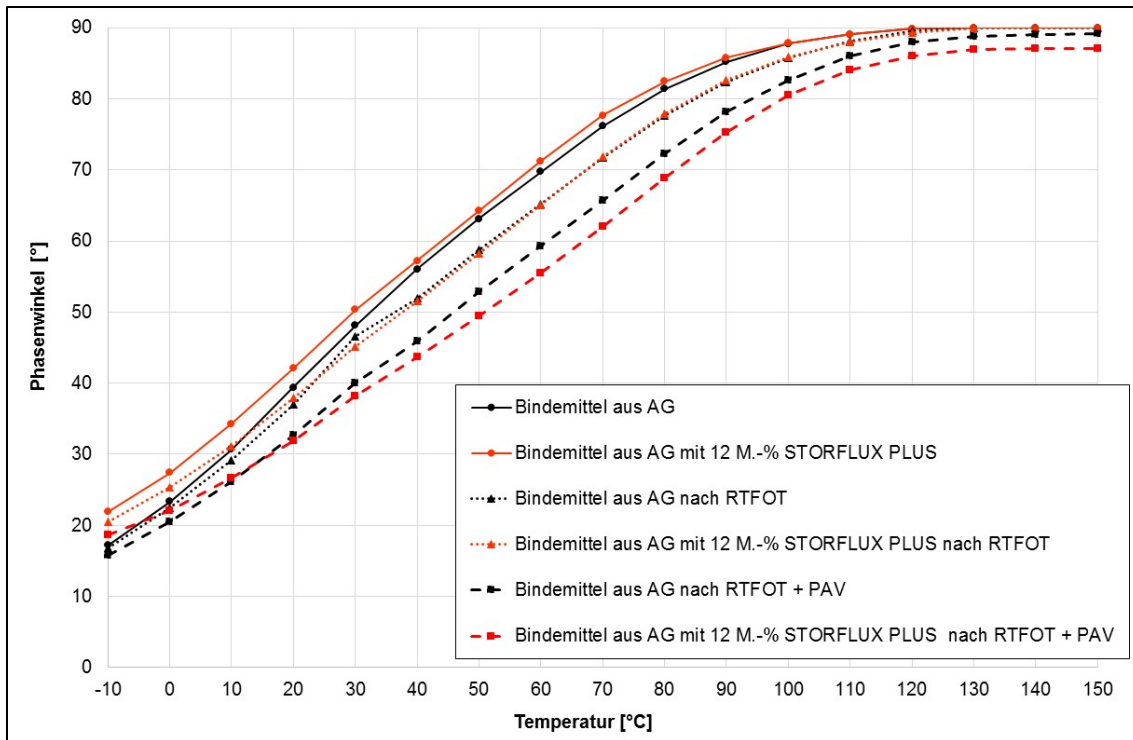


Abbildung 13: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung

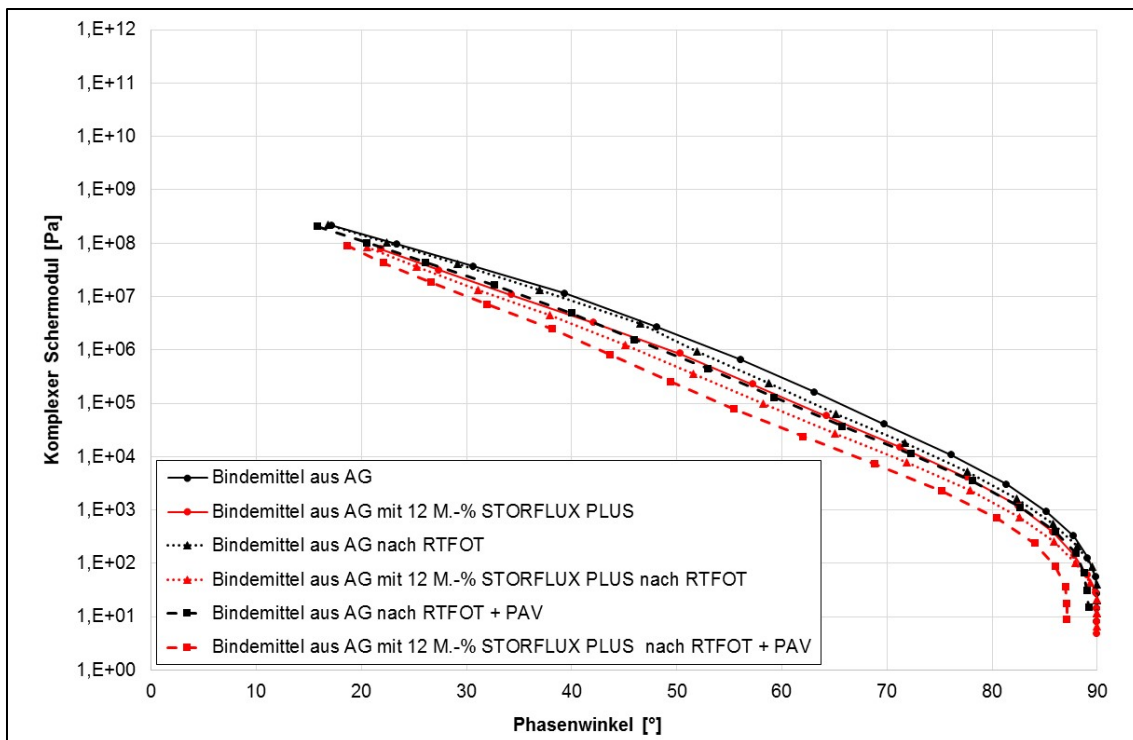


Abbildung 14: Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung

Zudem wurden aus den Ergebnissen der Temperatur-Sweeps die Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^* = 15 \text{ kPa}$ und bei $G^* = 1 \text{ kPa}$ sowie die zugehörigen Phasenwinkel ermittelt. Diese sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 8: Äquisteifigkeitstemperatur $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ und zugehörige Phasenwinkel des rückgewonnenen Bitumens aus dem AG Binder mit unterschiedlichen Zugabemengen SYLVAROAD RP1000

Variante	$T(G^* = 15 \text{ kPa})$	Phasenwinkel bei $T(G^* = 15 \text{ kPa})$	$T(G^* = 1 \text{ kPa})$	Phasenwinkel bei $T(G^* = 1 \text{ kPa})$
	[°C]	[°]	[°C]	[°]
AG Binder	67,9	75,0	88,7	84,7
AG Binder mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000	63,1	74,5	84,4	84,4
AG Binder mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000	59,9	74,4	81,5	84,3
AG Binder mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000	56,7	73,9	78,9	84,1
AG Binder nach RTFOT	71,7	72,9	93,2	82,9
AG Binder mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	67,5	72,9	89,2	83,0
AG Binder mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	64,1	72,6	86,3	83,0
AG Binder mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	60,4	72,3	83,0	83,0
AG Binder nach RTFOT + PAV	81,1	68,4	104,1	77,9
AG Binder mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	77,1	69,7	99,9	79,4
AG Binder mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	72,0	70,5	94,5	80,5
AG Binder mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	70,9	69,8	94,0	80,0

Tabelle 9: Äquisteifigkeitstemperatur $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ und zugehörige Phasenwinkel des rückgewonnenen Bitumens aus dem AG Binder mit unterschiedlichen Zugabemengen STORFLUX PLUS

Variante	$T(G^* = 15 \text{ kPa})$ [°C]	Phasenwinkel bei $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ [°]	$T(G^* = 1 \text{ kPa})$ [°C]	Phasenwinkel bei $T(G^* = 1 \text{ kPa})$ [°]
AG Binder	68,0	75,0	88,6	84,7
AG Binder mit 8 M.-% STORFLUX PLUS	63,4	72,7	84,5	83,2
AG Binder mit 12 M.-% STORFLUX PLUS	60,0	71,2	81,7	82,7
AG Binder mit 16 M.-% STORFLUX PLUS	59,1	70,1	81,3	81,8
AG Binder nach RTFOT	71,9	73,2	93,2	83,0
AG Binder mit 8 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	67,8	70,8	89,5	81,5
AG Binder mit 12 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	65,1	69,4	86,9	80,6
AG Binder mit 16 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	62,5	68,1	84,3	79,9
AG Binder nach RTFOT + PAV	77,7	70,9	99,8	80,8
AG Binder mit 8 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	76,0	67,4	98,8	78,0
AG Binder mit 12 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	73,9	65,5	96,8	76,1
AG Binder mit 16 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	74,3	63,1	97,8	73,6

In Abbildung 15 sind die Erweichungspunkte Ring und Kugel sowie die Äquisteifigkeitstemperatur für die drei Zugabeanteile von SYLVAROAD RP1000 grafisch dargestellt. Zusätzlich ist ein Feld eingefügt, welches den Zielbereich für das resultierende Bindemittelgemisch definiert. Als untere Grenze ist dabei der Grenzwert eines 25/55-55 entsprechend den TL Bitumen-StB 07/13 und als obere Grenze der resultierende Erweichungspunkt Ring und Kugel einer Erstprüfung der Basalt-Actien-Gesellschaft (BAG) eingezeichnet. Die BAG lieferte im Rahmen dieses Projektes das Asphaltmischgut für die Erprobungsstrecke und Erstprüfungen der BAG wurden zur Orientierung herangezogen.

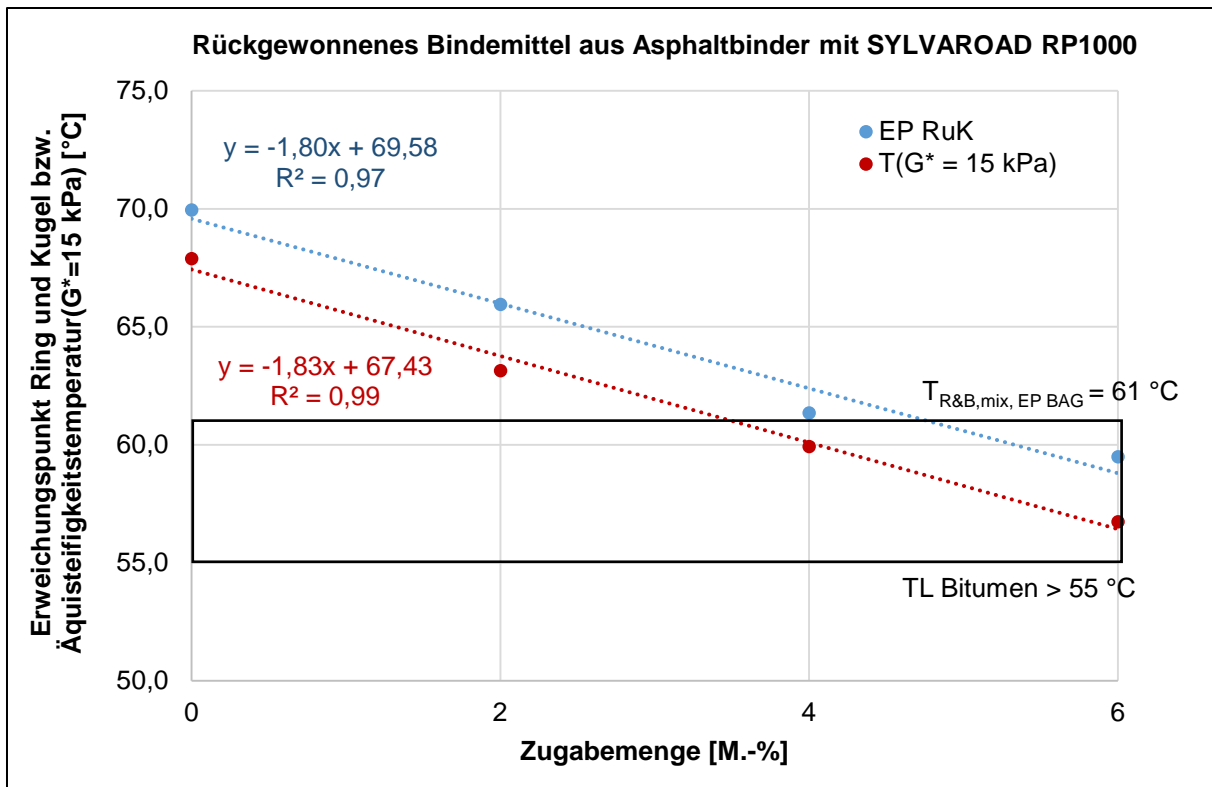


Abbildung 15: Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge für das Asphaltgranulat AG Binder von SYLVAROAD RP1000

Für das Produkt SYLVAROAD RP1000 wurde eine Zugabemenge von 4 M.-%, bezogen auf das Bindemittel aus Asphaltgranulat, empfohlen. In Abbildung 16 sind die Werte für STORFLUX PLUS dargestellt. Basierend auf den Ergebnissen der Äquivalenteftigkeitstemperatur und den Angaben des Herstellers wurde eine Zugabemenge von 12 M.-% empfohlen. Bei dieser Zugabemenge wird unter Laborbedingungen die gleiche Äquivalenteftigkeitstemperatur erreicht wie mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000. Nach Probemischungen in der Asphaltmischanlage wurde die Zugabemenge auf 8 M.-% reduziert. Somit ist die Wirkungsweise von STORFLUX PLUS in Labormischungen nicht äquivalent zur Praxisherstellung.

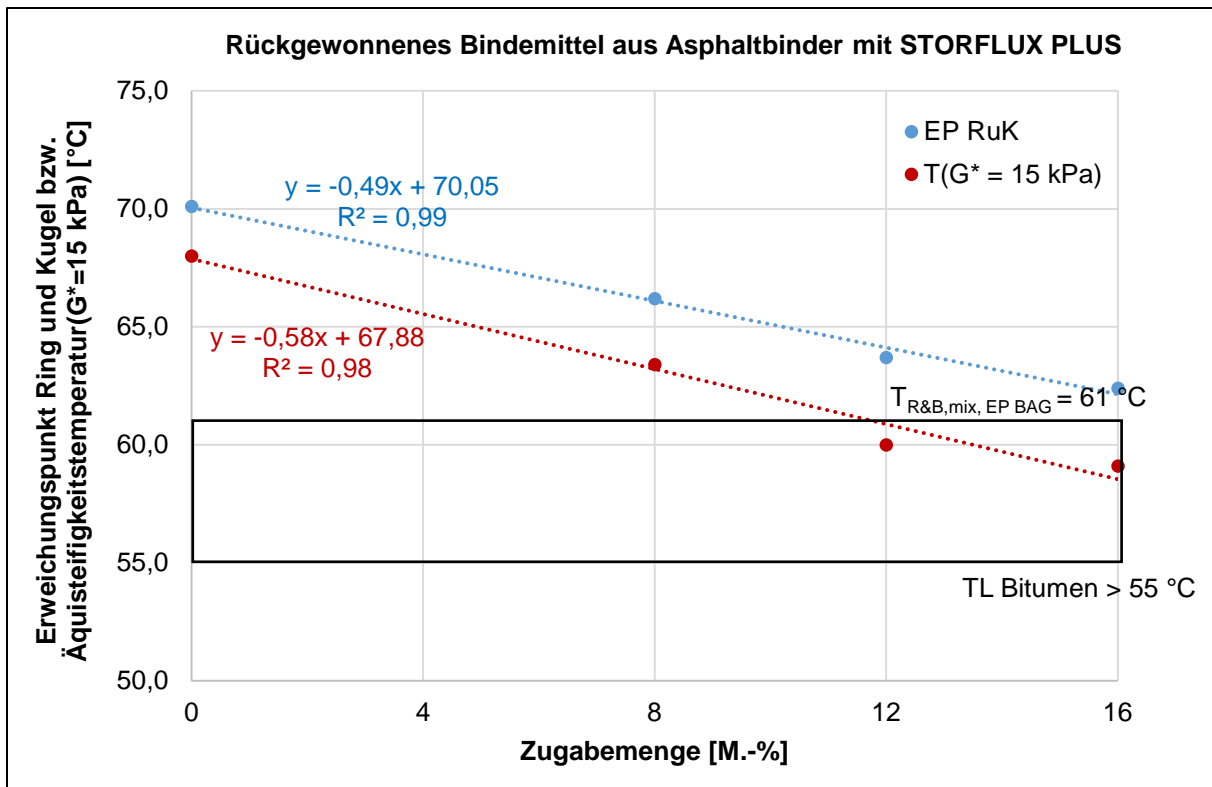


Abbildung 16: Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge beim AG Binder von STORFLUX PLUS

In Tabelle 10 und Tabelle 11 sind die Erweichungspunkte Ring und Kugel des rückgewonnenen Bindemittels aus dem Asphaltgranulat für die Asphaltdeckschicht mit den unterschiedlichen Zugabemengen SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS sowie die Äquisteifigkeitstemperaturen bei einem komplexen Schermodul von 15 kPa zusammengefasst. Die Äquisteifigkeitstemperaturen und der Erweichungspunkte Ring und Kugel ohne den Einfluss einer Alterung sind zum besseren Verständnis der Auswahl der Zugabemenge zusätzlich in Abbildung 17 und Abbildung 18 grafisch dargestellt. Basierend auf der Äquisteifigkeitstemperatur wird für den Rejuvenator SYLVAROAD RP1000 eine Zugabemenge von 5 M.-% und für STORFLUX PLUS eine Zugabemenge von 12 M.-% empfohlen. Die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem dynamischen Scherrheometer - der komplexe Schermodul und Phasenwinkel - der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bitumen aus dem Deckschichtgranulat und den beiden Rejuvenatoren vor und nach Alterung sind in Abbildung 19 bis Abbildung 28 dargestellt. Die Ergebnisse harter Bindemittel (Bindemittel aus den Granulaten) konnten bei niedrigen Prüftemperaturen z.T. nicht zweifelsfrei ermittelt werden, sodass auf deren Darstellung verzichtet wurde.

Tabelle 10: Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) und Äquisteifigkeitstemperaturen $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ sowie zugehörige Phasenwinkel der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus der Deckschicht und SYLVAROAD RP1000

Variante	EP RuK [°C]	$T(G^* = 15 \text{ kPa})$ [°C]	Phasenwinkel bei $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ [°]	$T(G^* = 1 \text{ kPa})$ [°C]	Phasenwinkel bei $T(G^* = 1 \text{ kPa})$ [°]
AG Decke	69,4	66,8	72,8	88,5	81,1
AG Decke mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000	67,9	64,7	72,6	86,8	81,0
AG Decke mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000	64,8	62,0	72,5	84,5	81,2
AG Decke mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000	61,5	57,8	72,1	80,9	81,4
AG Decke nach RTFOT	77,2	73,5	70,3	95,5	81,7
AG Decke mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	73,5	70,0	70,2	92,4	81,5
AG Decke mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	69,5	66,5	69,8	89,2	81,2
AG Decke mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT	66,5	62,3	69,4	85,7	80,9
AG Decke nach RTFOT + PAV	91,3	83,7	68,4	106,8	81,5
AG Decke mit 2 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	88,4	80,0	68,6	102,8	81,7
AG Decke mit 4 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	84,8	76,5	68,4	99,5	81,2
AG Decke mit 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 nach RTFOT + PAV	81,4	73,3	68,4	96,5	81,1

Tabelle 11: Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) und Äquisteifigkeitstemperaturen $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ sowie zugehörige Phasenwinkel der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus der Deckschicht und STORFLUX PLUS

Variante	EP RuK [°C]	$T(G^* = 15 \text{ kPa})$ [°C]	Phasenwinkel bei $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ [°]	$T(G^*=1 \text{ kPa})$ [°C]	Phasenwinkel bei $T(G^* = 1 \text{ kPa})$ [°]
AG Decke	69,4	66,8	72,8	88,5	81,1
AG Decke mit 8 M.-% STORFLUX PLUS	68,4	64,7	70,1	86,9	79,2
AG Decke mit 12 M.-% STORFLUX PLUS	66,1	61,6	68,8	84,2	78,5
AG Decke mit 16 M.-% STORFLUX PLUS	63,9	58,6	67,2	81,5	77,6
AG Decke nach RTFOT	77,2	73,5	70,3	95,5	81,7
AG Decke mit 8 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	73,5	69,7	67,0	92,5	78,9
AG Decke mit 12 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	71,0	66,8	65,0	90,0	77,6
AG Decke mit 6 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT	70,3	64,7	63,4	88,3	76,6
AG Decke nach RTFOT + PAV	91,3	83,7	68,4	106,8	81,5
AG Decke mit 8 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	89,6	82,1	64,1	106,1	77,4
AG Decke mit 12 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	89,0	80,0	62,7	104,2	76,4
AG Decke mit 16 M.-% STORFLUX PLUS nach RTFOT + PAV	88,3	77,8	60,6	102,6	74,5

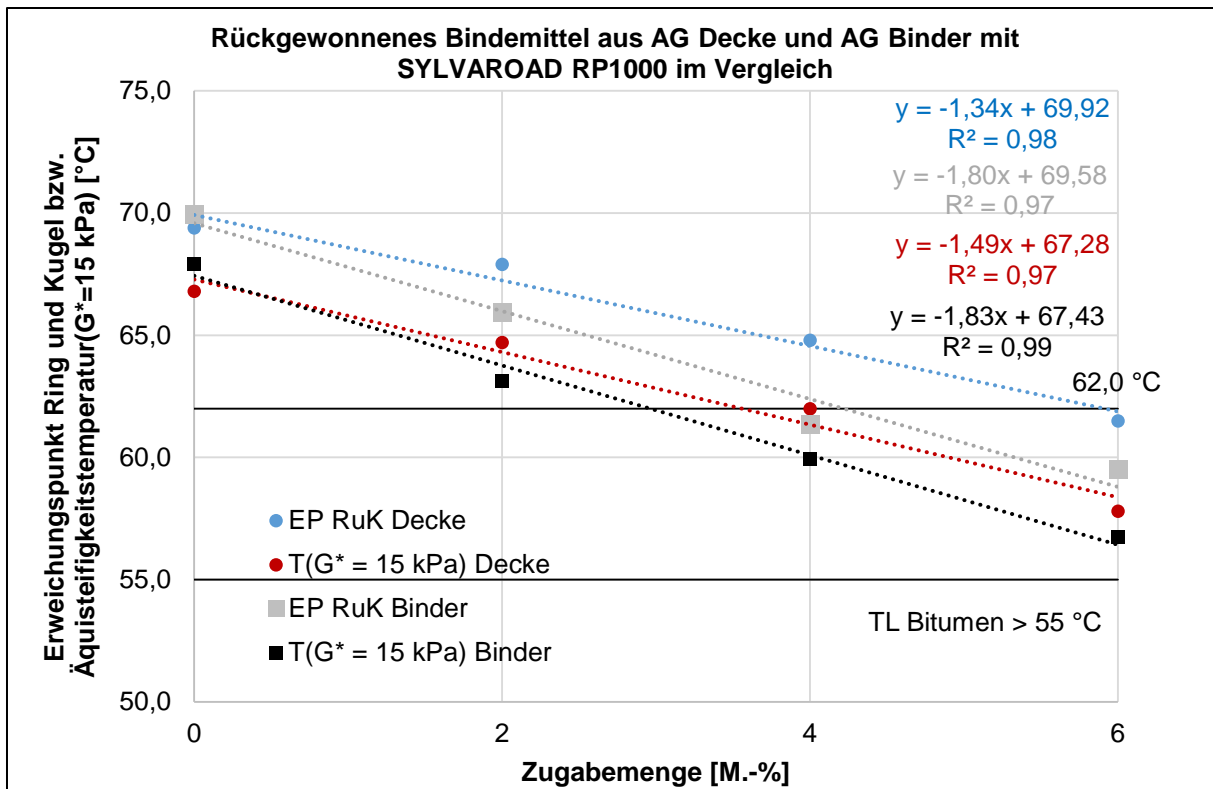


Abbildung 17: Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge von SYLVAROAD RP1000 beim AG Decke

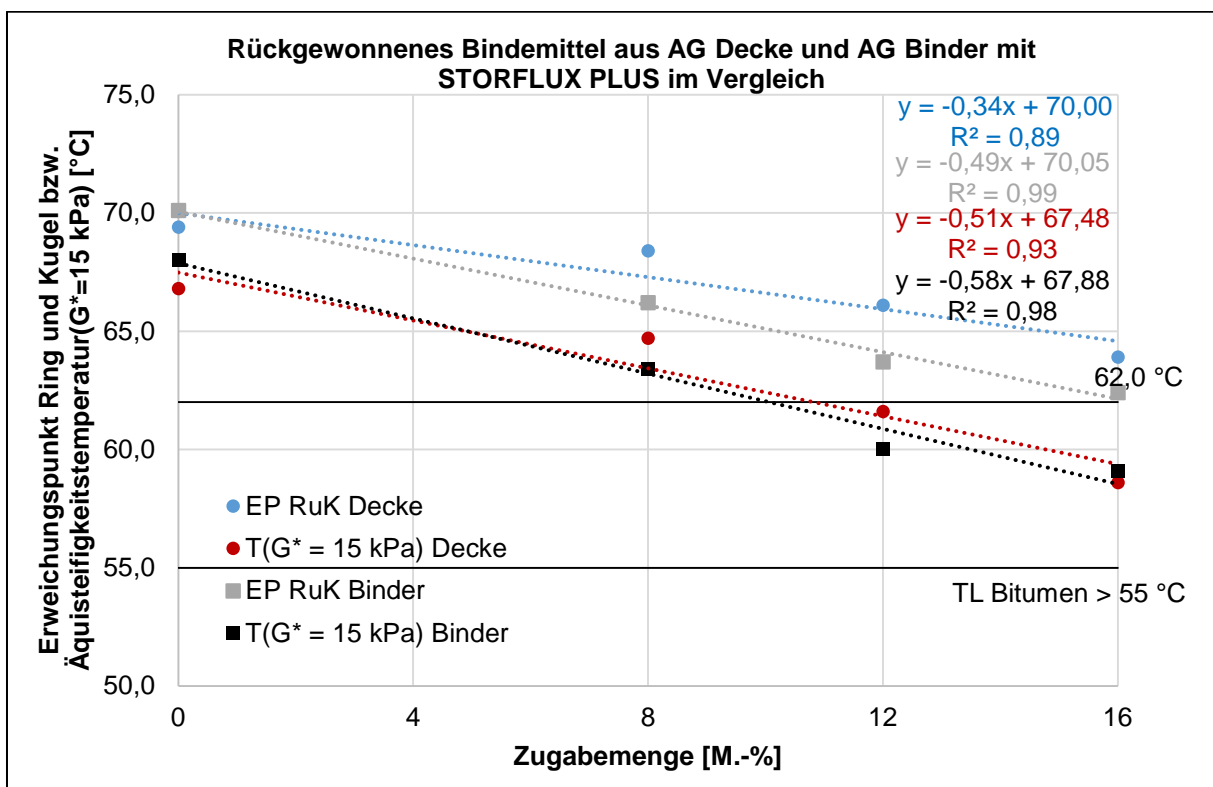


Abbildung 18: Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge von STORFLUX PLUS beim AG Decke

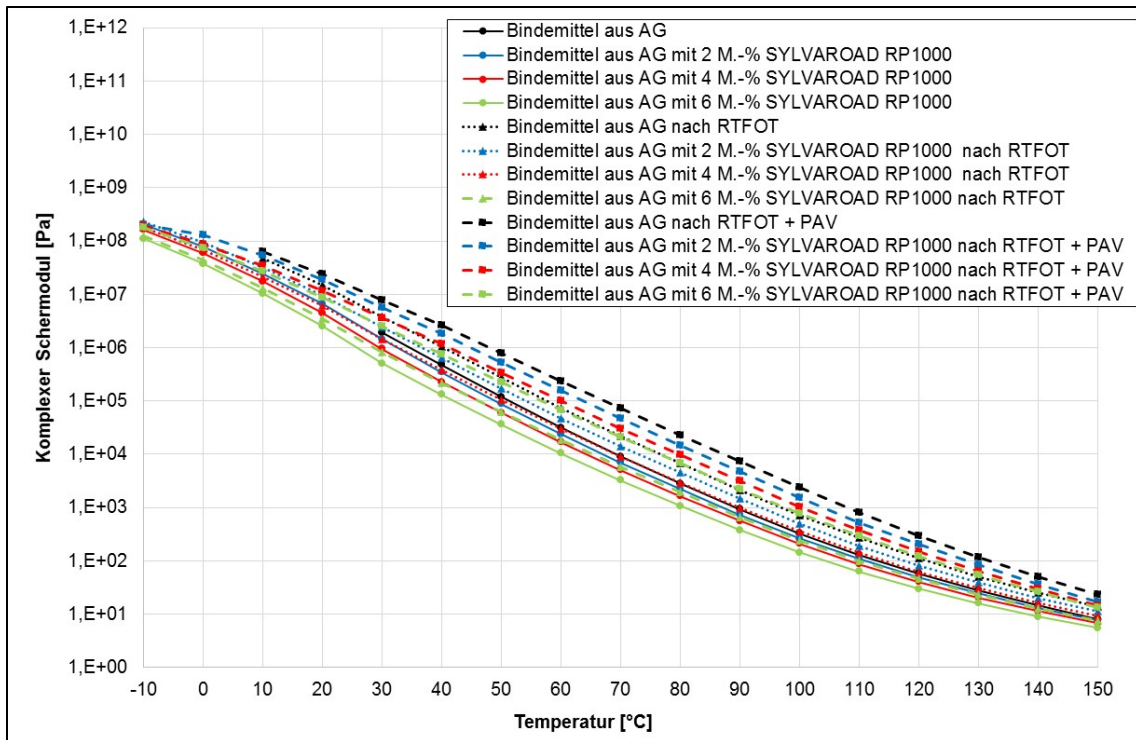


Abbildung 19: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung

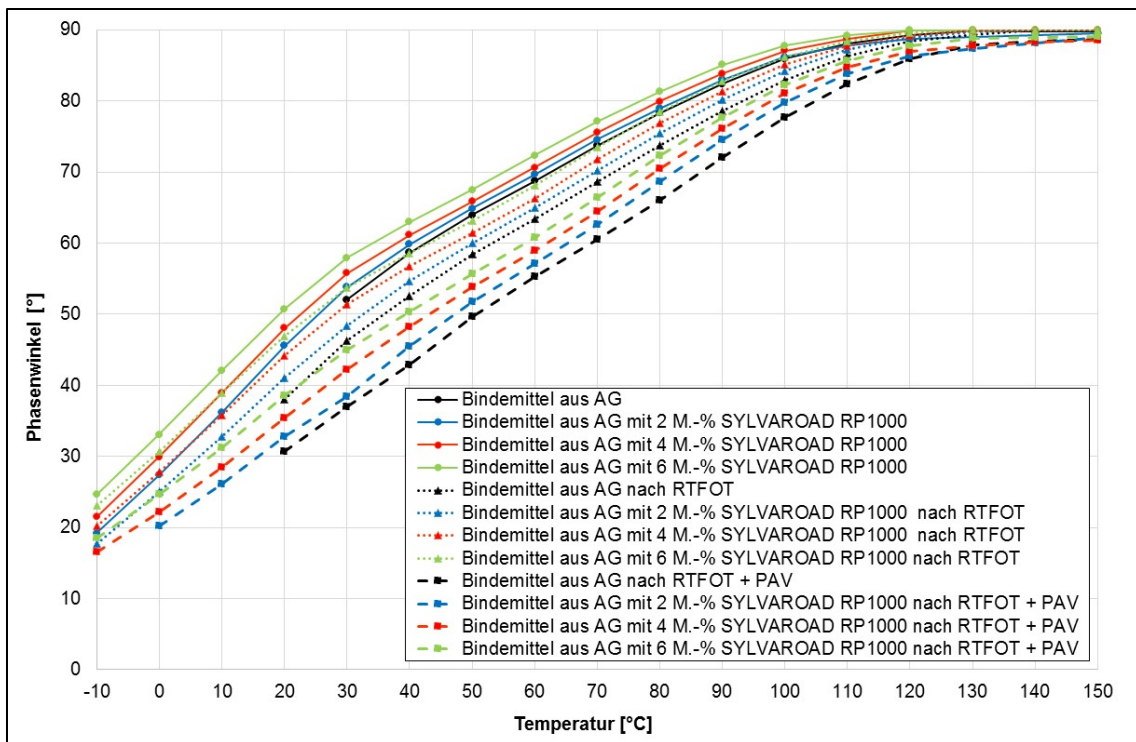


Abbildung 20: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung

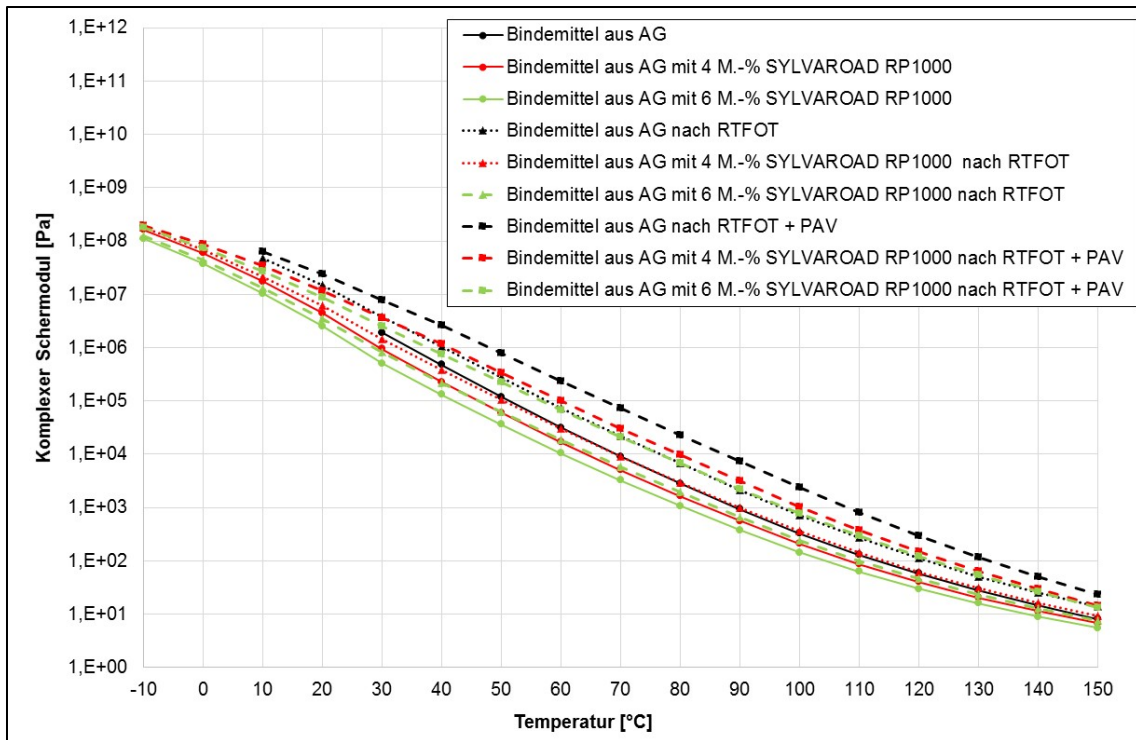


Abbildung 21: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke sowie 4 M.-% und 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung

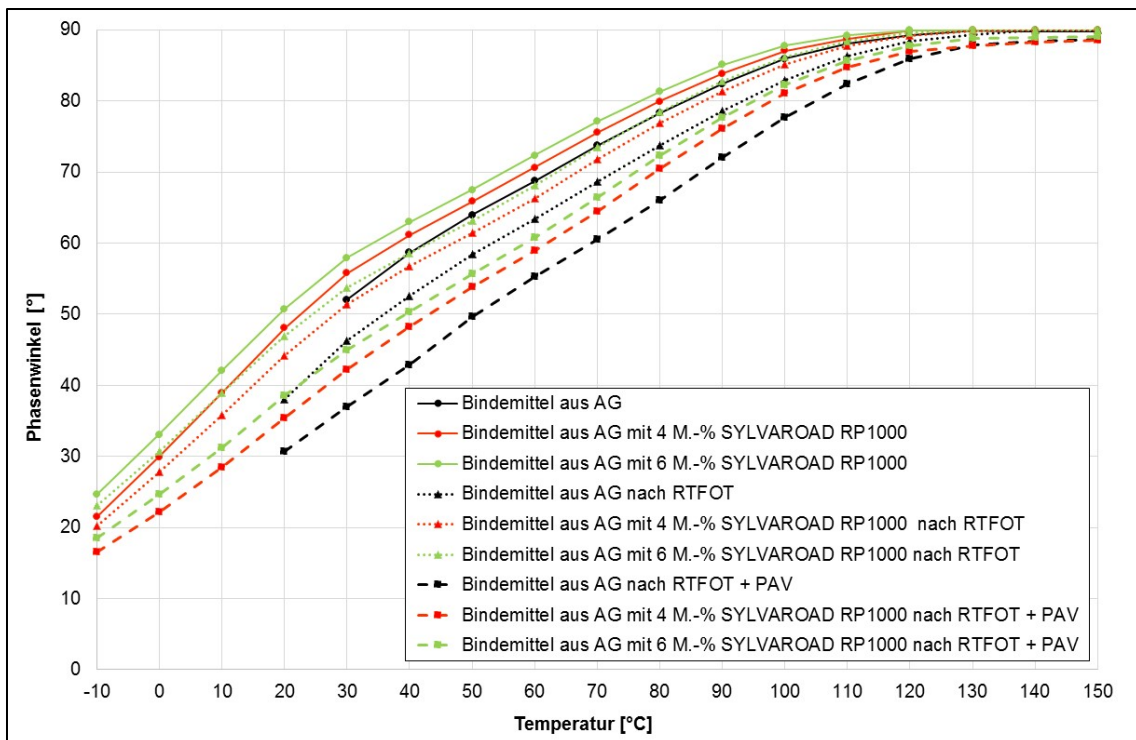


Abbildung 22: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke sowie 4 M.-% und 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung

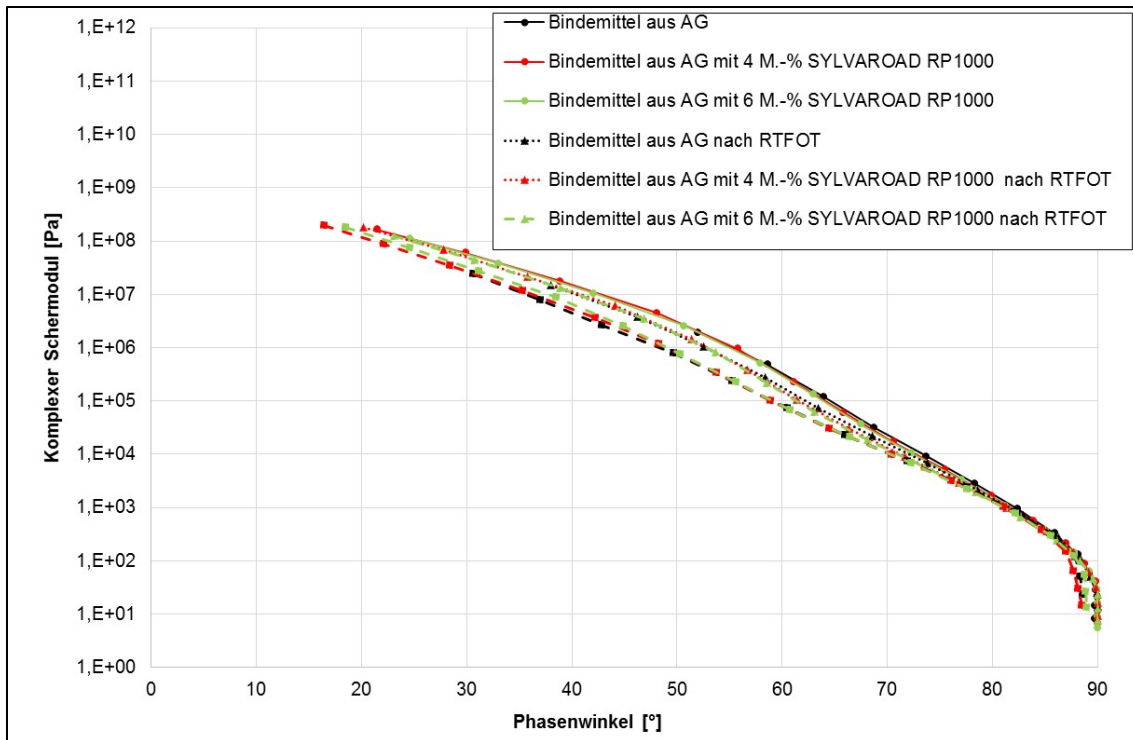


Abbildung 23: Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Decke sowie 4 M.-% und 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung

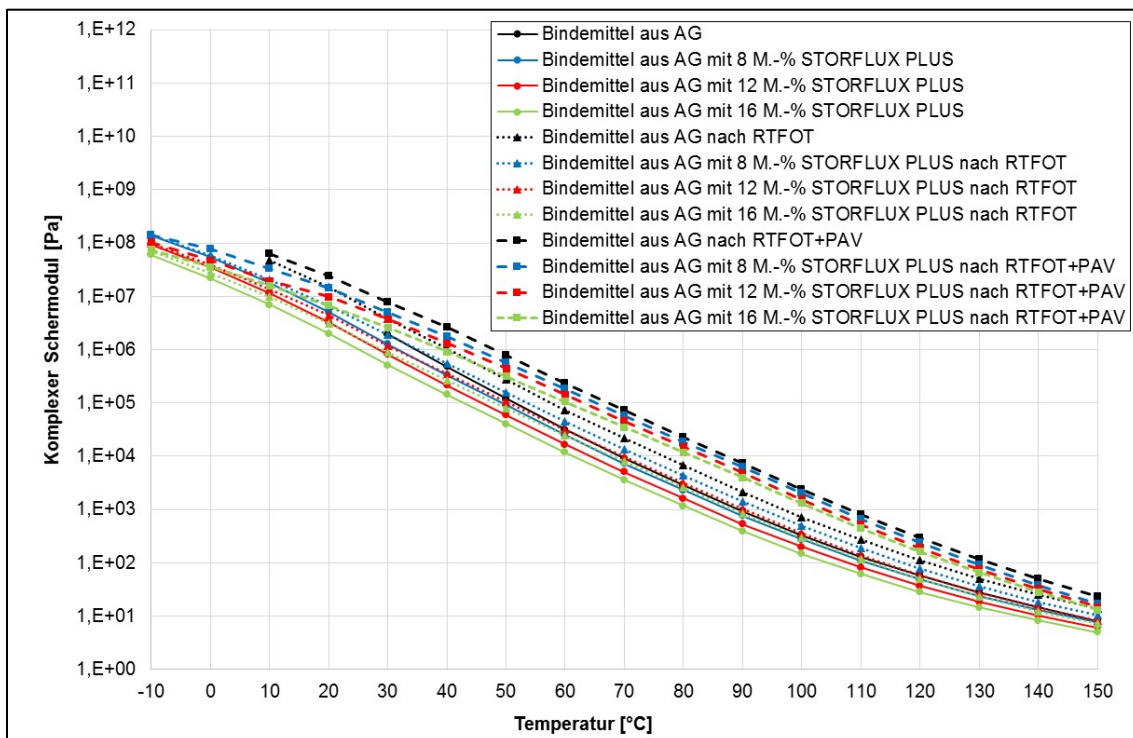


Abbildung 24: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung

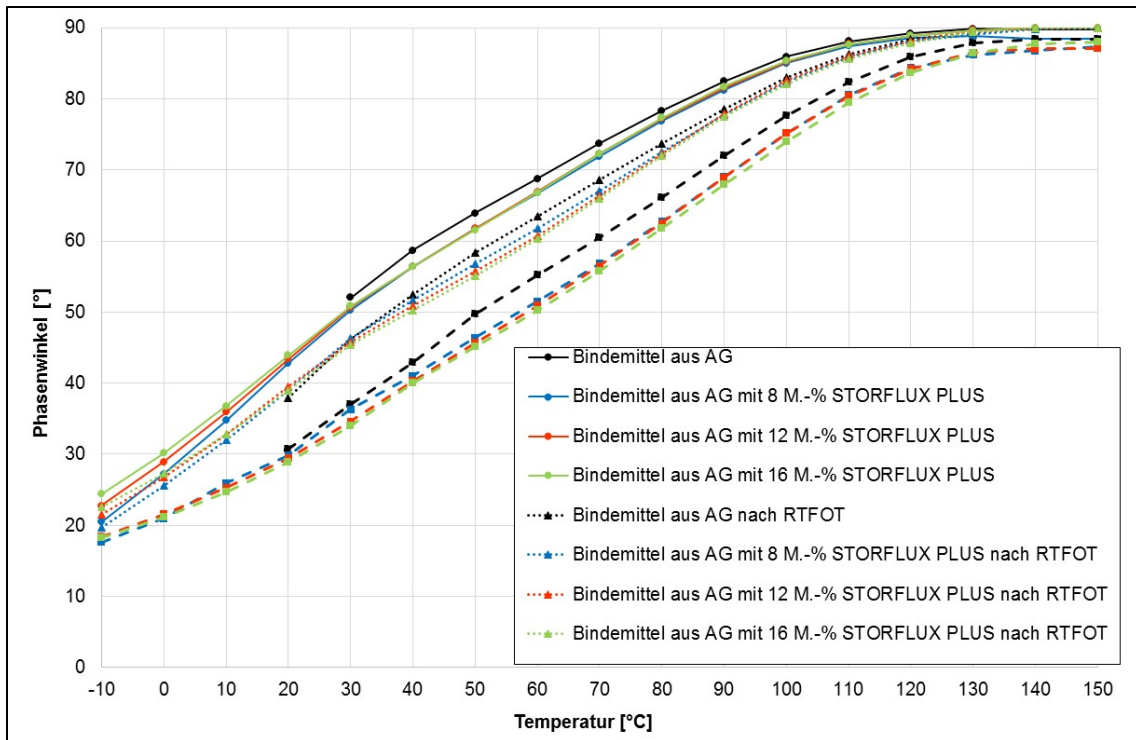


Abbildung 25: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung

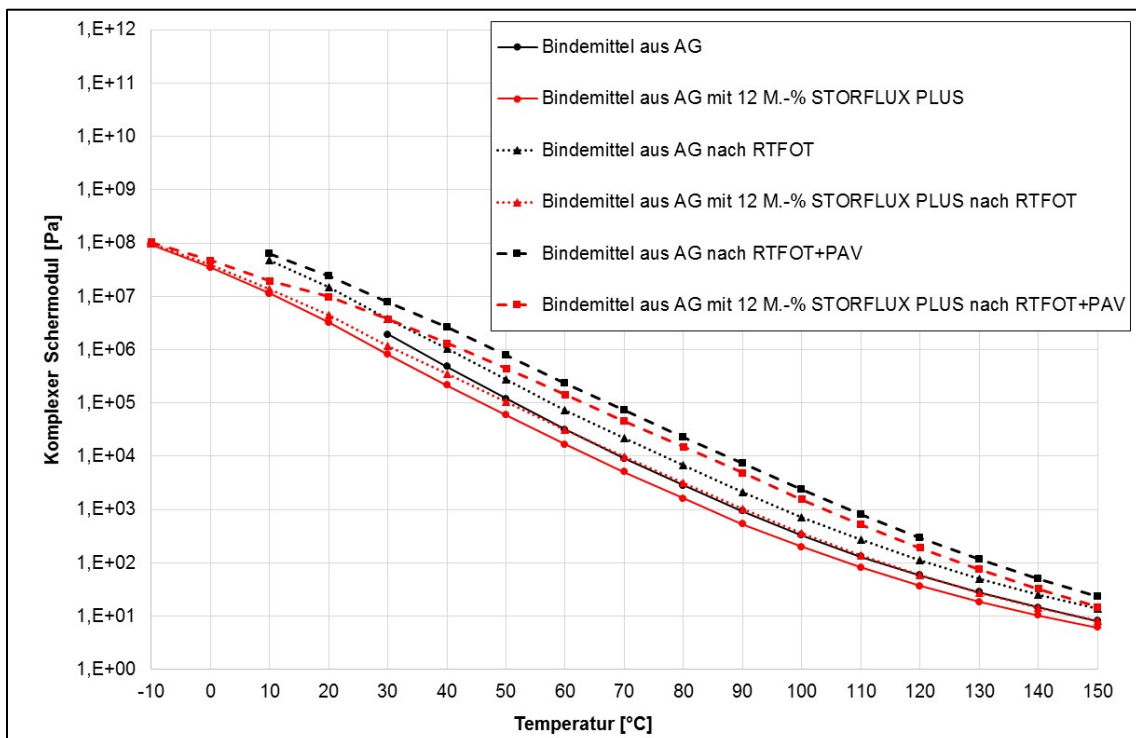


Abbildung 26: Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung

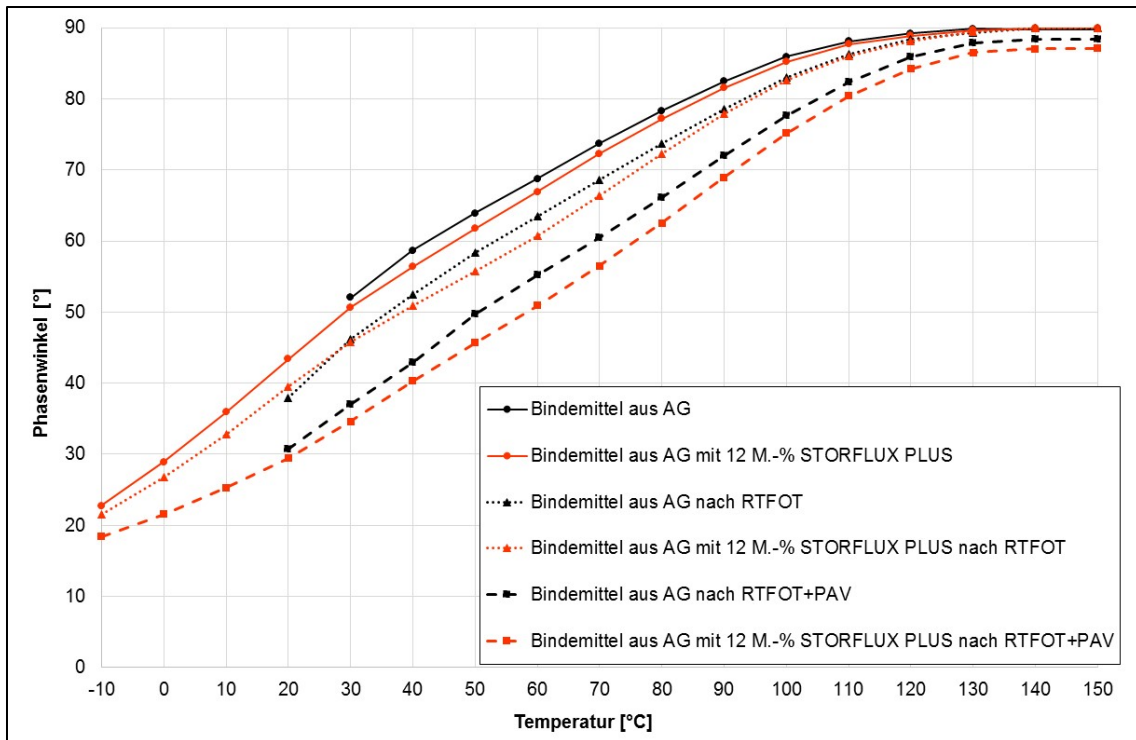


Abbildung 27: Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung

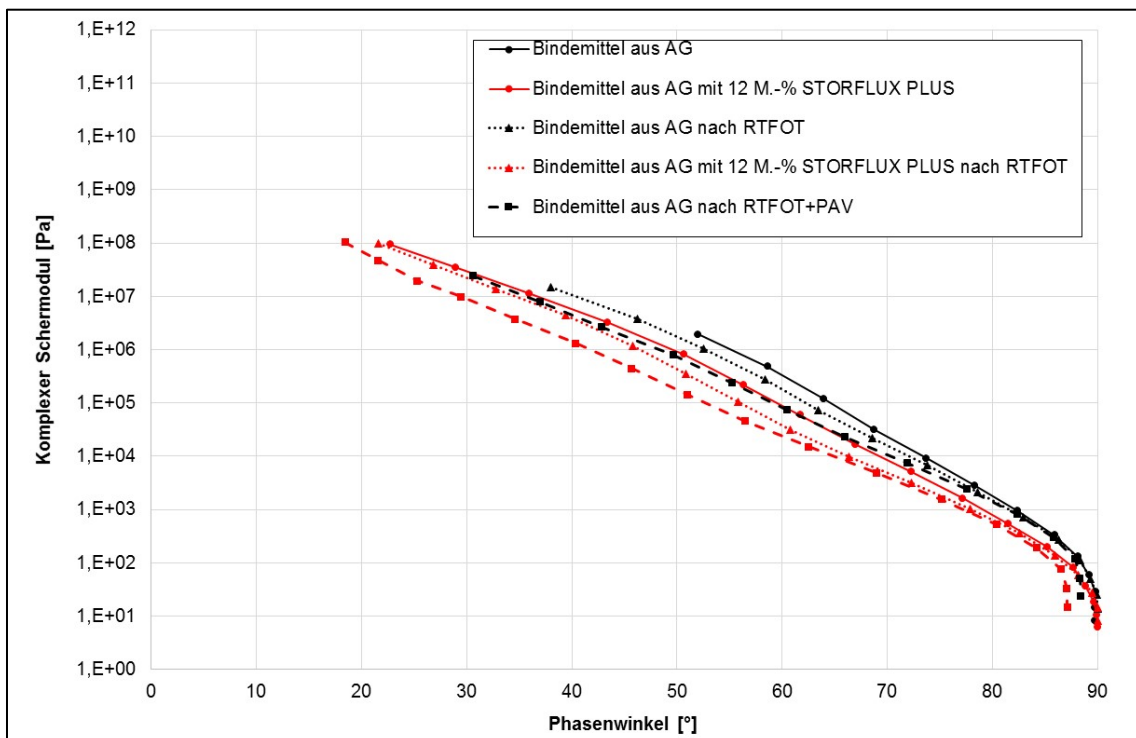


Abbildung 28: Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Decke und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zur Erreichung gleicher Bindemittelsteifigkeit beim Produkt STORFLUX PLUS höhere Zugabemengen benötigt werden als beim Produkt SYLVAROAD RP1000. Jedoch kann die Wirkungsweise für das Produkt STORFLUX PLUS unter den hier gewählten Randbedingungen zur Herstellung der Bindemittelgemische im Labor nicht mit der gleichen Wirkungsweise abgebildet werden, wie sie bei Probemischungen an der Asphaltmischanlage festgestellt wurde. Dennoch wurde auch bei diesen Probemischungen ermittelt, dass für das Asphaltgranulat AG Binder etwa die doppelte Zugabemenge im Vergleich zu dem Produkt SYLVAROAD RP1000 notwendig ist.

Trotz vergleichbarer Äquisteifigkeitstemperaturen der beiden Asphaltgranulate (AG Decke und AG Binder) wurden bei dem Asphaltgranulat, welches für die Asphaltdeckschicht verwendet wurde, zur Erreichung gleicher Äquisteifigkeitstemperaturen nach der Verjüngung höhere Zugabemengen bei beiden Produkte benötigt. Dies zeigt, dass individuelle Vorversuche mit drei verschiedenen Zugabemengen von Rejuvenatoren zur Festlegung der zum Einsatz kommenden Zugabemenge für jedes Asphaltgranulat in jedem Fall sinnvoll sind.

Zur Bewertung des Alterungsverhaltens der beiden Produkte sind in Abbildung 29 bis Abbildung 32 die Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur bei einem komplexen Schermodul von 15 kPa und die Abnahme des korrespondierenden Phasenwinkels für die Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus AG Binder und AG Decke ohne und mit den beiden Produkten für die drei Zugabemengen dargestellt. Nach der Kurzzeitalterung (RTFOT) zeigen beide Produkte bei Berücksichtigung der Verfahrenspräzision untereinander und im Vergleich zum Alterungsverhalten der Asphaltgranulate ein vergleichbares Alterungsverhalten. Nach der Langzeitalterung (PAV) wird beim Produkt STORFLUX PLUS eine stärkere Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur und Abnahme des Phasenwinkels festgestellt, die auch tendenziell bei zunehmender Zugabemenge ansteigen.

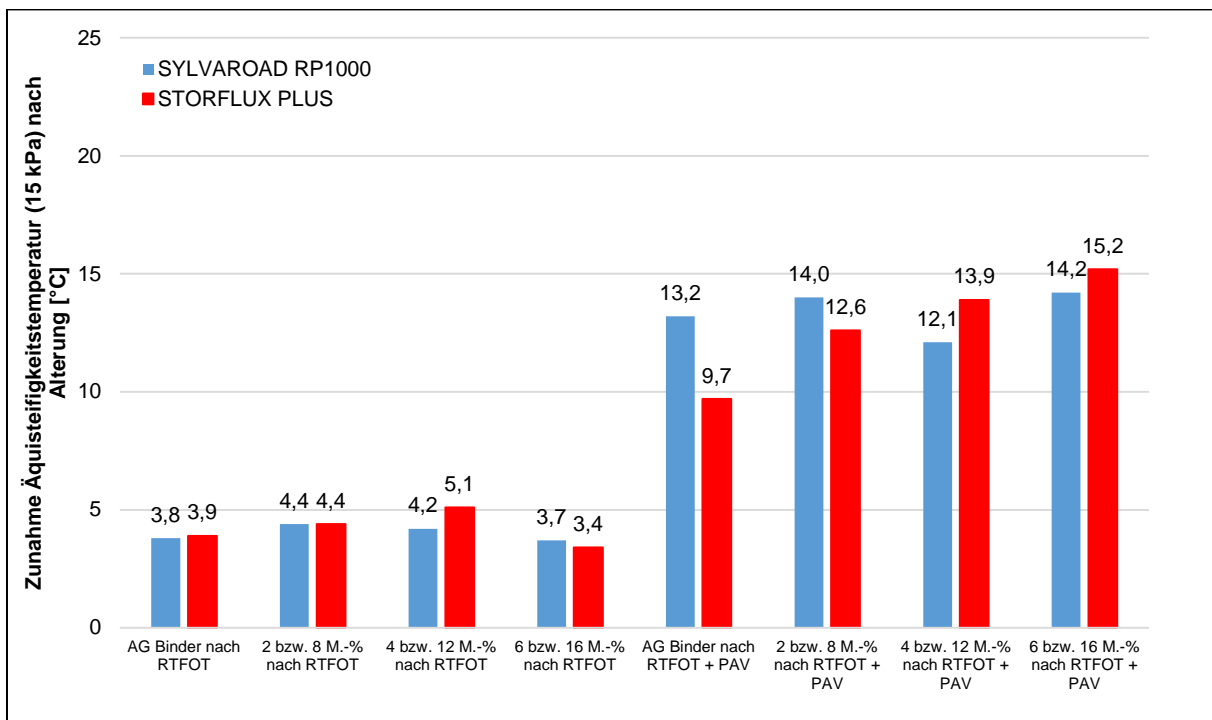


Abbildung 29: Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^* = 15 \text{ kPa}$ infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Binder

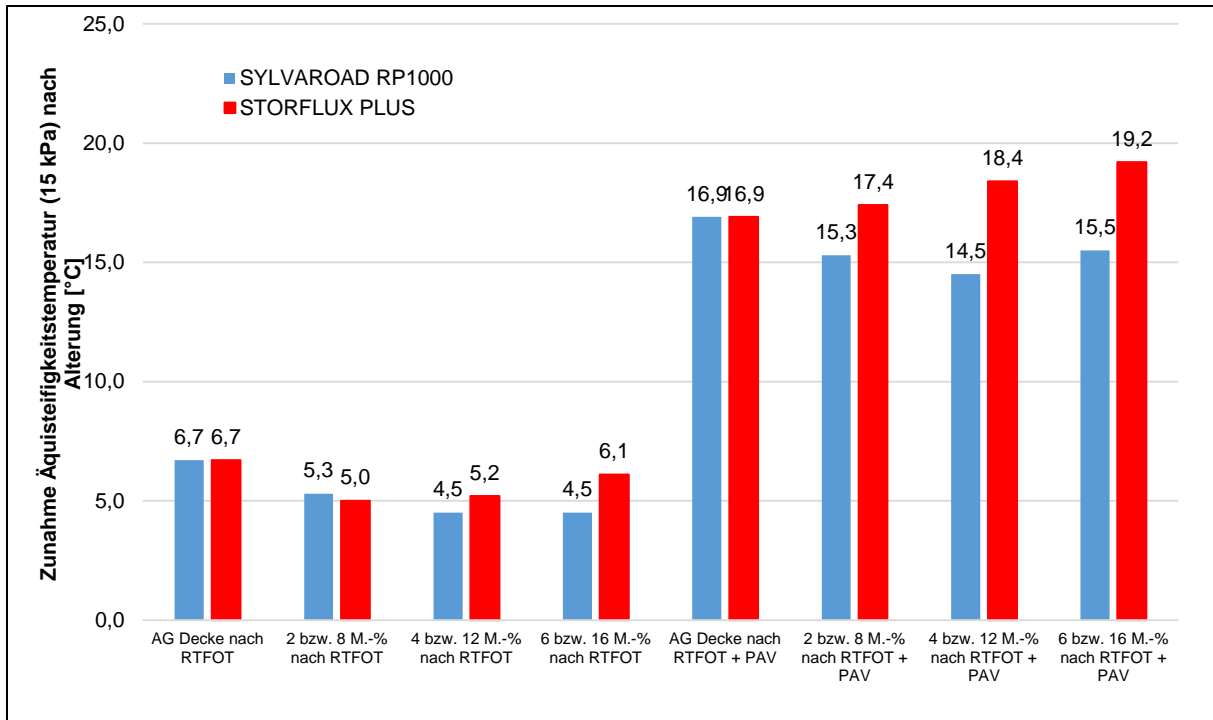


Abbildung 30: Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^* = 15 \text{ kPa}$ infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Decke

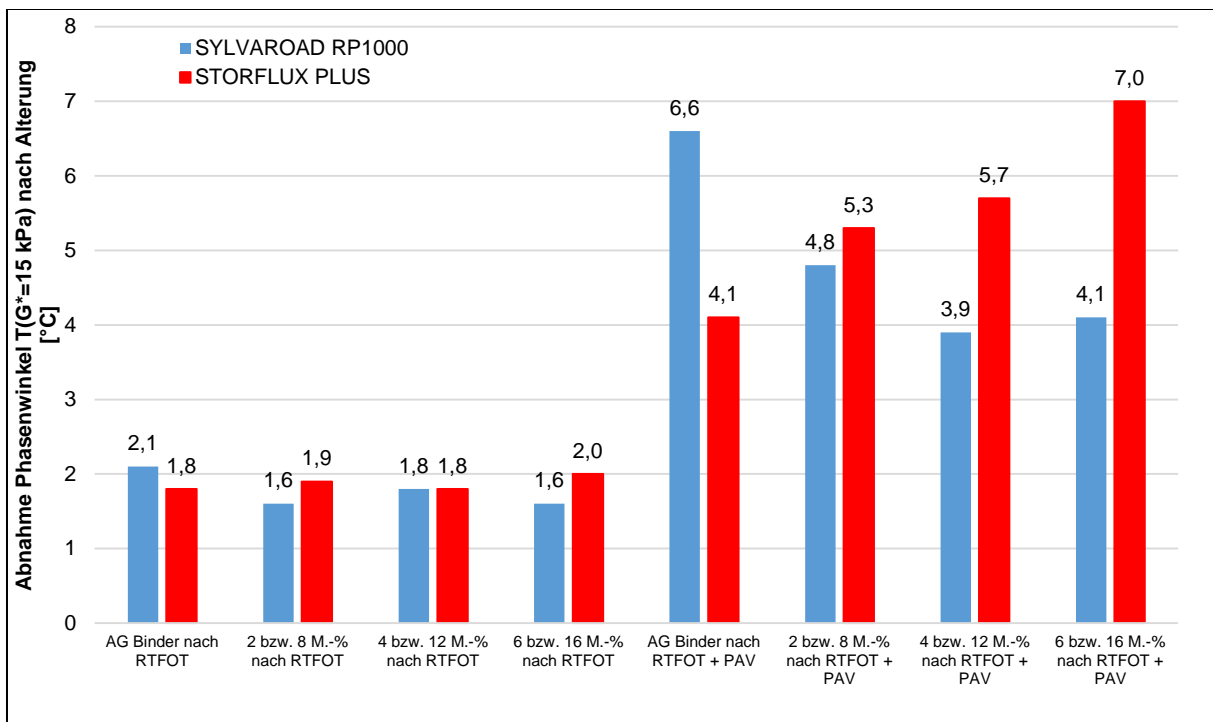


Abbildung 31: Abnahme des Phasenwinkels bei $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Binder

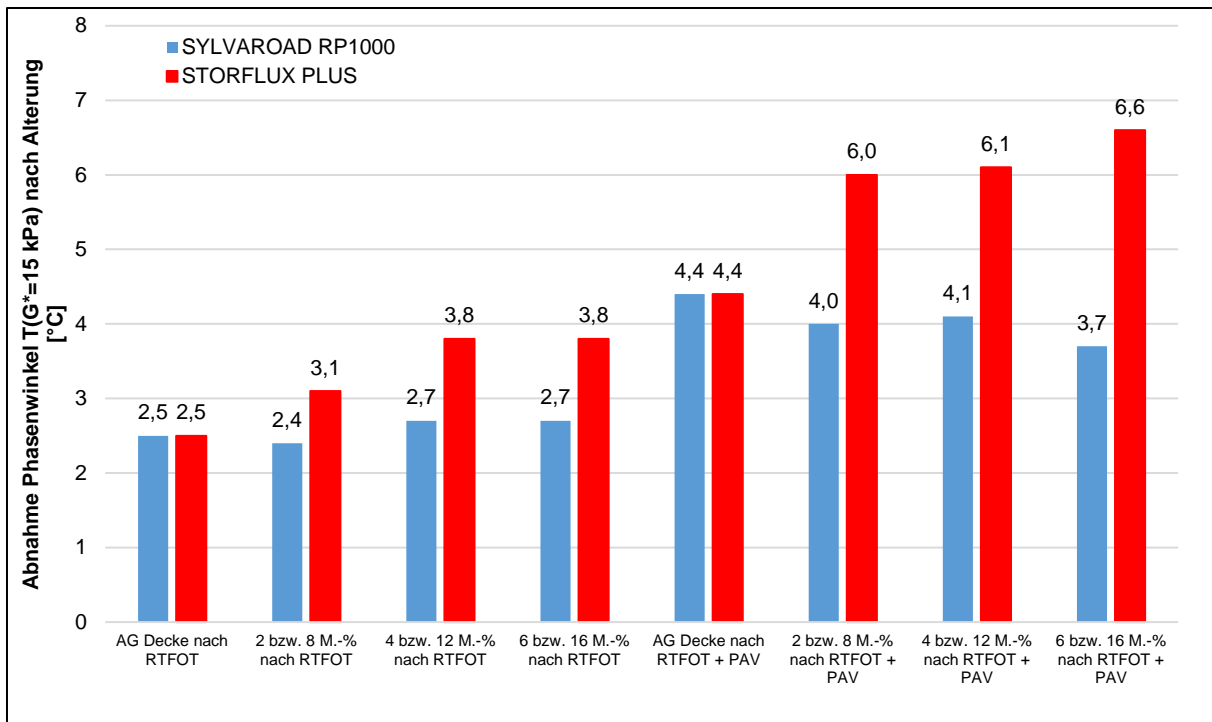


Abbildung 32: Abnahme des Phasenwinkels bei $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Decke

3.2 Ergebnisse der erweiterten Erstprüfung

3.2.1 Asphaltmischgutzusammensetzung und -eigenschaften

Für die Erstprüfungen des Asphaltmischgutes SMA 16 B S wurden folgende Zugabeanteile an Asphaltgranulat gewählt: 30 M.-%, 45 M.-% und 60 M.-%. Aufgrund des hohen Anteils an feiner Gesteinskörnung 0/2 mm war eine höhere Zugabemenge nicht möglich. Auch bei 60 M.-% Asphaltgranulat wird der obere Grenzbereich bei 2 mm geringfügig überschritten.

Die Zugabeanteile der verschiedenen Gesteinskörnungen (Mikrodiorit aus dem Steinbruch Jettenbach) der Varianten wurden so abgestimmt, dass alle Varianten eine vergleichbare Korngrößenverteilung aufweisen. Die Zugabeanteile der verschiedenen Varianten sind in Tabelle 12 aufgeführt. Die Kornzusammensetzung der Lieferkörnungen sind Tabelle 13 zu entnehmen. Die resultierende Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches ist in Abbildung 33 zu sehen und in Tabelle 14 zusammengefasst. Die Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten mit SYLVAROAD RP1000 sind in Tabelle 15 aufgeführt, die der Varianten mit STORFLUX PLUS in Tabelle 16.

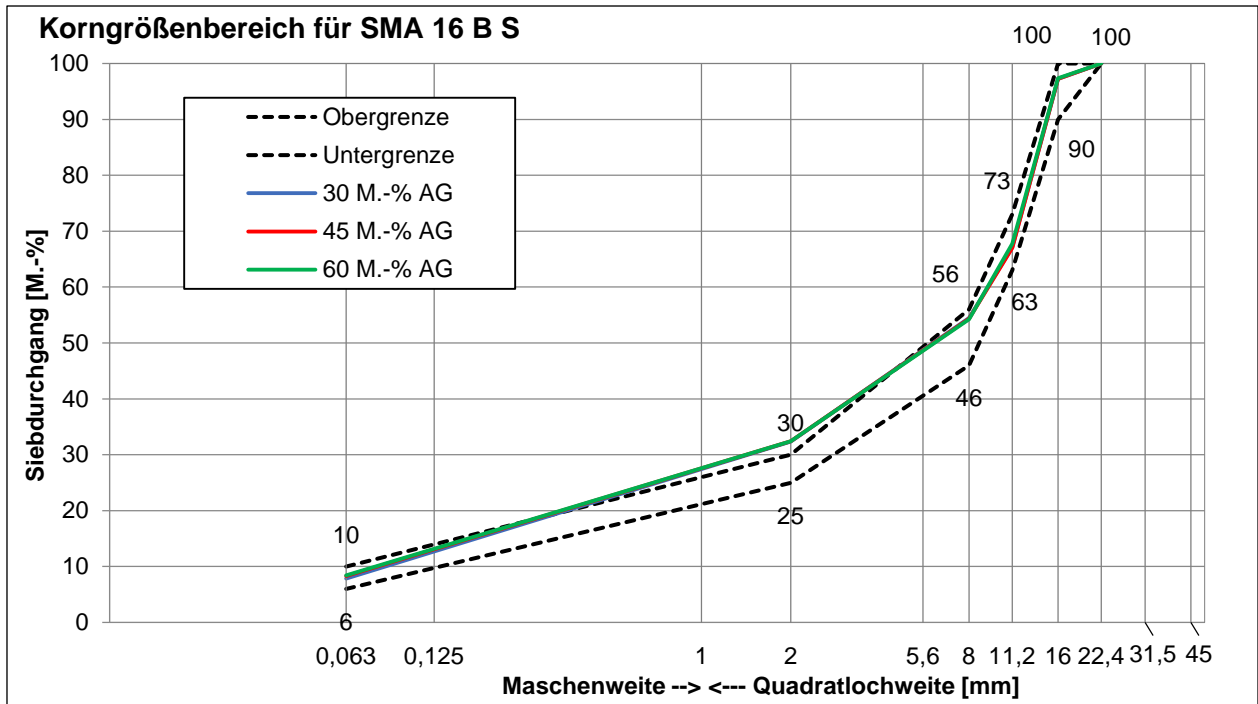


Abbildung 33: Korngrößenverteilung SMA 16 B S

Tabelle 12: Zugabeanteile der verschiedenen Varianten

Variante	Zugabeanteile [M.-%]						
	Füller	0/2	2/5	5/8	8/11	11/16	AG
30 M.-% AG	4,5	12,5	5,0	5,0	6,0	37,0	30,0
45 M.-% AG	2,5	6,0	3,0	2,0	5,0	36,5	45,0
60 M.-% AG					5,0	35,0	60,0

Tabelle 13: Kornzusammensetzung der Lieferkörnungen

mm	Siebrückstand [M.-%]						
	Füller	0/2	2/5	5/8	8/11	11/16	AG
22,4							
16,0						7,4	0,1
11,2					3,6	77,9	3,6
8,0				7,5	85,1	13,0	7,8
5,6			1,2	77,6	10,8	1,2	8,4
2,0		10,7	92,4	13,9	0,1	0,1	26,3
0,125	8,7	82,2	5,4	0,5	0,1	0,2	34,0
0,063	20,1	4,0	0,6	0,2	0,2	0,1	5,8
< 0,063	71,2	3,1	0,4	0,3	0,1	0,1	14,0
Überkorn	8,7	10,7	1,2	7,5	3,6	7,4	
Sollkorn	91,3	82,2	92,4	77,4	85,1	77,9	
Unterkorn		7,1	6,4	14,9	11,3	14,7	
Rohdichte [g/cm ³]	2,653	2,673	2,671	2,681	2,660	2,668	2,456

Tabelle 14: Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches

mm	30 M.-% AG		45 M.-% AG		60 M.-% AG	
	Rückstand	Durchgang	Rückstand	Durchgang	Rückstand	Durchgang
22,4		100		100		100
16,0	2,8	97,2	2,7	97,3	2,7	97,4
11,2	30,1	67,1	30,2	67,0	29,6	67,7
8,0	12,6	54,5	12,7	54,4	13,5	54,3
5,6	7,6	46,9	6,3	48,0	6,0	48,3
2,0	14,6	32,3	15,6	32,4	15,8	32,4
0,125	21,2	11,1	20,7	11,7	20,5	12,0
0,063	3,2	7,9	3,4	8,3	3,5	8,4
< 0,063	7,9		8,3		8,4	

Tabelle 15: Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000

	Einheit	30 M.-% AG	45 M.-% AG	60 M.-% AG
Zugegebenes Bindemittel 25/55-55 RC (EP RuK: 58,4 °C)	M.-%	3,6	2,9	2,2
Bindemittel aus Granulat (EP RuK: 70,8 °C, verjüngt: 62,2 °C)	M.-%	1,5	2,3	3,1
SYLVAROAD RP1000 (4 M.-% bezogen auf das Bindemittel aus Granulat)	M.-%	0,06	0,09	0,12
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	5,2	5,3	5,4
Gesamt-Bindemittelgehalt	Vol.-%	12,1	12,4	12,7
Zusatz: Viatop Premium	M.-%	0,25	0,25	0,25
Erweichungspunkt Ring und Kugel (Resultierendes Bindemittel)	°C	59,5	60,1	60,7
Rohdichte des Asphaltmischgutes	g/cm ³	2,472	2,489	2,474
Raumdichte am Marshall-Probekörper	g/cm ³	2,383	2,399	2,384
Hohlraumgehalt	Vol.-%	3,6	3,6	3,6
Hohlraumausfüllungsgrad	%	77,2	77,6	77,9
Verdichtungstemperatur der Marshall-Probekörper	°C	145	145	145

Tabelle 16: Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten SMA 16 B S mit STORFLUX PLUS

	Einheit	30 M.-% AG	45 M.-% AG	60 M.-% AG
Zugegebenes Bindemittel 25/55-55 RC (EP RuK: 58,4 °C)	M.-%	3,5	2,7	1,9
Bindemittel aus Granulat (EP RuK: 70,8 °C, verjüngt: 64,4 °C)	M.-%	1,5	2,3	3,1
STORFLUX PLUS (12 M.-% bezogen auf das Bindemittel aus Granulat)	M.-%	0,18	0,28	0,37
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	5,2	5,3	5,4
Gesamt-Bindemittelgehalt	Vol.-%	12,1	12,4	12,7
Zusatz: Viatop Premium	M.-%	0,25	0,25	0,25
Erweichungspunkt Ring und Kugel (Resultierendes Bindemittel)	°C	60,3	61,3	62,3
Rohdichte des Asphaltmischgutes	g/cm ³	2,457	2,493	2,483
Raumdichte am Marshall-Probekörper	g/cm ³	2,368	2,394	2,400
Hohlraumgehalt	Vol.-%	3,6	4,0	3,3
Hohlraumausfüllungsgrad	%	76,9	75,8	79,2
Verdichtungstemperatur der Marshall-Probekörper	°C	145	145	145

Für die Asphaltdeckschicht wurde ein AC 11 D S mit 20, 40 und 60 M.-% Asphaltgranulat konzipiert. Die Gesteinskörnungszusammensetzungen der verschiedenen Varianten sind in Abbildung 34 und in Tabelle 19 aufgeführt. Die zugehörigen Zugabeanteile sowie die Korngrößenverteilung der Lieferkörnungen sind in Tabelle 17 und Tabelle 18 zusammengefasst. Neben der Gesteinskörnung aus Jettenbach wurde Quarzit aus Henau und Natursand der Grube Niederrhein zugegeben. Die verschiedenen Varianten haben eine vergleichbare Korngrößenverteilung, die sich jedoch aus unterschiedlichen Anteilen der beiden Gesteinsarten (Mirkodiorit und Quarzit) zusammensetzt. Die Aufhellung wurde in erster Linie in der Körnung 5/8 mm umgesetzt und die fehlenden Anteile – soweit mit der Korngrößenverteilung vereinbar – der Körnung 2/5 mm und falls weiterhin erforderlich der Körnung 8/11 mm zugegeben. Die Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten mit SYLVAROAD RP1000 sind in Tabelle 20 aufgeführt, die der Varianten mit STORFLUX PLUS in Tabelle 21.

Tabelle 17: Zugabeanteile der verschiedenen Varianten

Variante	Zugabeanteile [M.-%]								
	Füller	0/2 Brech-sand	0/2 Natur-sand	2/5 Mikrodiorit	2/5 Quarzit	5/8 Quarzit	8/11 Mikrodiorit	8/11 Quarzit	AG
20 M.-% AG	7,0	17,0	10,0	8,0	3,0	20,0	15,0	0	20,0
40 M.-% AG	3,5	14,0	8,0	0	7,0	13,0	11,5	3,0	40,0
60 M.-% AG	0	11,0	6,0	0	3,0	5,0	0	15,0	60,0

Tabelle 18: Kornzusammensetzung der Lieferkörnungen

mm	Siebrückstand [M.-%]									
	Füller	0/2 Brech-sand	0/2 Natur-sand	2/5 Mikro-diorit	2/5 Quarzit	5/8 Mikro-diorit	5/8 Quarzit	8/11 Mikro-diorit	8/11 Quarzit	AG
22,4										
16,0										
11,2								3,6	2,9	
8,0						7,5	12,0	85,1	82,4	5,5
5,6				1,2	2,3	77,6	73,8	10,8	13,4	21,7
2,0		10,7	5,1	92,4	94,8	13,9	12,5	0,1	0,5	30,5
0,125	8,7	82,2	93,3	5,4	2,3	0,5	0,7	0,1	0,3	26,1
0,063	20,1	4,0	1,3	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	2,2
< 0,063	71,2	3,1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,7	0,1	0,3	14,0
Überkorn		10,7	5,1	1,2	2,3	7,5	12,0	3,6	2,9	
Sollkorn		89,3	94,9	92,4	94,8	77,6	73,8	85,1	82,4	
Unterkorn				6,4	2,9	14,9	14,2	11,3	14,7	
Rohdichte [g/cm³]	2,653	2,673	2,640	2,671	2,653	2,681	2,646	2,660	2,646	2,445

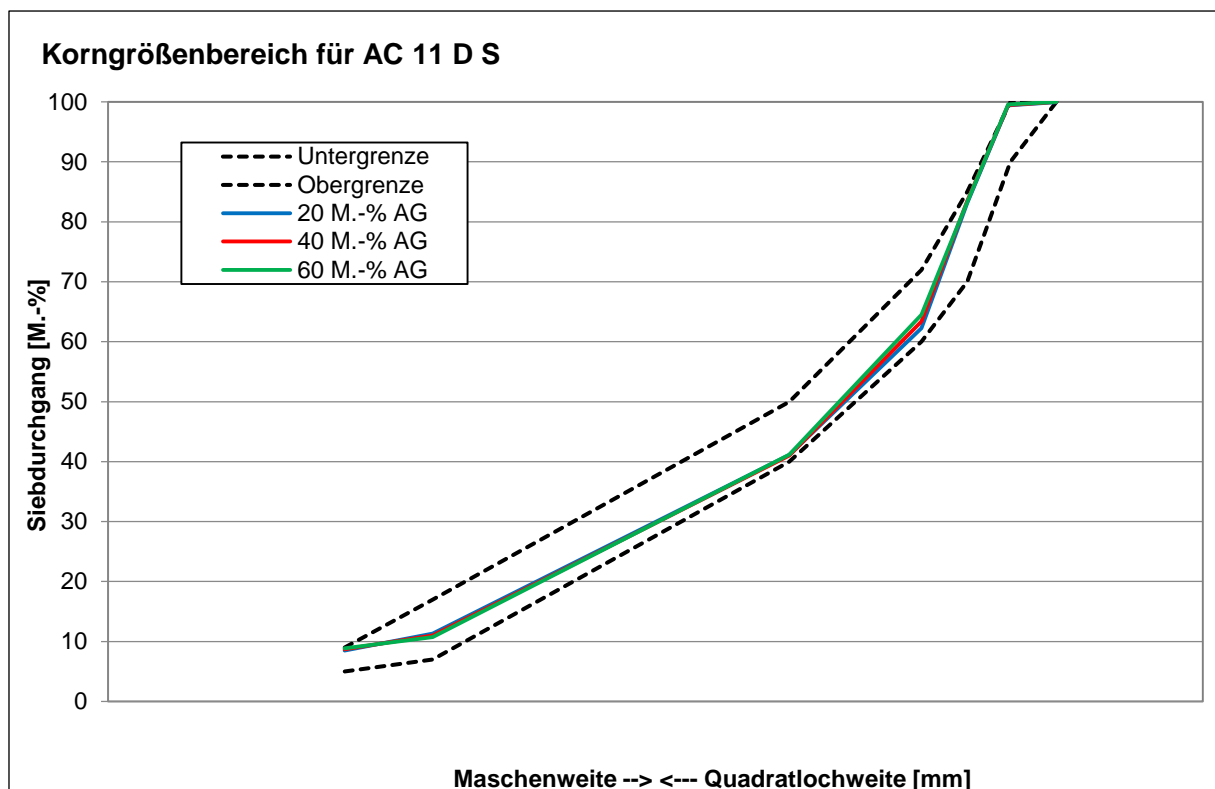


Abbildung 34: Korngrößenverteilung AC 11 D S

Tabelle 19: Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches AC 11 D S

mm	20 M.-% AG		40 M.-% AG		60 M.-% AG	
	Rückstand	Durchgang	Rückstand	Durchgang	Rückstand	Durchgang
22,4						
16,0		100		100		100
11,2	0,5	99,5	0,5	99,5	0,4	99,6
8,0	15,7	83,8	15,7	83,8	16,3	83,3
5,6	21,5	62,4	20,4	63,5	18,8	64,5
2,0	21,5	40,9	22,5	41,0	23,3	41,2
0,125	29,5	11,3	30,0	11,0	30,4	10,7
0,063	2,8	8,5	2,3	8,7	1,9	8,9
< 0,063	8,5		8,7		8,9	

Tabelle 20: Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten AC 11 D S mit SYLVAROAD RP1000

	Einheit	20 M.-% AG	40 M.-% AG	60 M.-% AG
Zugegebenes Bindemittel 25/55-55 RC (EP RuK: 58,4 °C)	M.-%	5,1	4,1	2,9
Bindemittel aus Granulat (EP RuK: 69,4 °C, verjüngt: 63,3 °C)	M.-%	1,1	2,1	3,2
SYLVAROAD RP1000 (5 M.-% bezogen auf das Bindemittel aus Granulat)	M.-%	0,05	0,11	0,16
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	6,3	6,3	6,3
Gesamt-Bindemittelgehalt	Vol.-%	14,5	14,3	14,5
Erweichungspunkt Ring und Kugel (Resultierendes Bindemittel)	°C	59,4	60,4	61,4
Rohdichte des Asphaltmischgutes	g/cm ³	2,424	2,394	2,404
Raumdichte am Marshall-Probekörper	g/cm ³	2,354	2,322	2,342
Hohlraumgehalt	Vol.-%	2,9	3,0	2,6
Hohlraumausfüllungsgrad	%	83,4	82,7	84,8
Verdichtungstemperatur der Marshall-Probekörper	°C	145	145	145

Tabelle 21: Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten AC 11 D S mit STORFLUX PLUS

	Einheit	20 M.-% AG	40 M.-% AG	60 M.-% AG
Zugegebenes Bindemittel 25/55-55 RC (EP RuK: 58,4 °C)	M.-%	5,1	3,9	2,7
Bindemittel aus Granulat (EP RuK: 69,4 °C, verjüngt: 66,1 °C)	M.-%	1,1	2,1	3,2
STORFLUX PLUS (12 M.-% bezogen auf das Bindemittel aus Granulat)	M.-%	0,13	0,25	0,38
Gesamt-Bindemittelgehalt	M.-%	6,3	6,3	6,3
Gesamt-Bindemittelgehalt	Vol.-%	14,5	14,4	14,4
Erweichungspunkt Ring und Kugel (Resultierendes Bindemittel)	°C	59,7	61,1	62,4
Rohdichte des Asphaltmischgutes	g/cm ³	2,418	2,412	2,407
Raumdichte am Marshall-Probekörper	g/cm ³	2,343	2,330	2,335
Hohlraumgehalt	Vol.-%	3,1	3,4	3,0
Hohlraumausfüllungsgrad	%	82,3	80,9	82,8
Verdichtungstemperatur der Marshall- Probekörper	°C	145	145	145

3.2.2 Bindemittleigenschaften

Zur besseren Bewertung der nachfolgenden Performance-Eigenschaften der verschiedenen Varianten wurde das Bindemittel aus den Labor-Platten, welche für die Prüfung der Performance-Eigenschaften hergestellt wurden, extrahiert und die Äquisteifigkeitstemperaturen bei $G^* = 1 \text{ MPa}$, 15 kPa und 1 kPa sowie die korrespondierenden Phasenwinkel aus den Temperatur-Sweeps der DSR-Untersuchungen ermittelt (siehe Tabelle 22 und Tabelle 23). Die Ergebnisse zeigen, dass alle rückgewonnenen Bindemittel-Varianten nahezu vergleichbare Eigenschaften aufweisen.

Tabelle 22: Bindemittleigenschaften der Varianten SMA 16 B S

Variante		T($G^* = 10 \text{ MPa}$) [°C]	Phasenwinkel (T($G^* = 10 \text{ MPa}$)) [°]	T($G^* = 15 \text{ kPa}$) [°C]	Phasenwinkel (T($G^* = 15 \text{ kPa}$)) [°]	T($G^* = 1 \text{ kPa}$) [°C]	Phasenwinkel (T($G^* = 1 \text{ kPa}$)) [°]
SYLVAROAD RP1000	30 M.-% AG	17,0	42,7	62,8	71,8	84,6	82,3
	45 M.-% AG	16,5	42,3	64,3	70,3	86,3	80,1
	60 M.-% AG	14,7	42,2	62,9	71,8	84,7	82,3
STORFLUX PLUS	30 M.-% AG	16,3	42,3	63,9	69,9	85,9	79,2
	45 M.-% AG	15,2	40,4	65,3	69,6	87,7	79,5
	60 M.-% AG	13,6	39,4	64,3	69,4	86,7	79,9

Tabelle 23: Bindemittleigenschaften der Varianten AC 11 D S

Variante		T($G^* = 1 \text{ MPa}$) [°C]	Phasenwinkel (T($G^* = 1 \text{ MPa}$)) [°]	T($G^* = 15 \text{ kPa}$) [°C]	Phasenwinkel (T($G^* = 15 \text{ kPa}$)) [°]	T($G^* = 1 \text{ kPa}$) [°C]	Phasenwinkel (T($G^* = 1 \text{ kPa}$)) [°]
SYLVAROAD RP1000	20 M.-% AG	16,0	42,0	65,8	69,7	88,4	78,7
	40 M.-% AG	15,5	43,2	63,1	70,1	85,1	89,0
	60 M.-% AG	16,2	42,5	66,9	69,9	89,7	79,3
STORFLUX PLUS	20 M.-% AG	15,4	43,2	65,3	69,8	88,2	78,8
	40 M.-% AG	16,1	43,1	63,9	69,7	86,0	79,0
	60 M.-% AG	15,9	42,1	66,5	69,7	89,2	79,1

3.2.3 Ergebnisse des Spaltzug-Schwellversuches

Die Mittelwerte der Asphaltsteifigkeiten der verschiedenen Varianten des SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000 sind in Tabelle 24 bis Tabelle 26 aufgeführt. Zusätzlich zu den nach AL Sp-Asphalt 09 üblichen Frequenzen wurden die Frequenzen 3 Hz und 0,3 Hz geprüft, die im Entwurf der TP Asphalt Teil 26 A vorgesehen sind. Die zugehörigen Masterkurven sind in Abbildung 35 dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse mit STORFLUX PLUS sind der Tabelle 27 bis Tabelle 29 und der Abbildung 36 zu entnehmen. In Abbildung 37 sind die Ergebnisse der Asphaltbinderschicht- und der Asphaltdeckschicht-Varianten exemplarisch für eine Frequenz von 10 Hz dargestellt. Die Ergebnisse für $<-10\text{ °C}$ und $> 20\text{ °C}$ wurden mit Hilfe der nach AL Sp-Asphalt 09 berechneten Hauptkurve extrapoliert und sind in den Abbildungen grau hinterlegt.

Tabelle 24: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	20.869	20.138	19.431	18.044	16.768	15.276
0	16.899	16.080	15.330	13.578	11.669	9.981
10	12.706	11.604	10.756	8.741	6.755	5.326
20	8.540	7.070	6.716	4.713	3.224	2.331

Tabelle 25: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	23.240	22.141	21.574	20.057	18.146	16.657
0	18.848	17.318	16.579	14.723	12.652	10.879
10	14.036	12.647	11.750	9.605	7.308	5.634
20	8.997	7.697	7.062	5.015	3.414	2.566

Tabelle 26: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	18.839	17.820	17.257	15.725	14.423	13.039
0	15.764	14.549	13.841	11.994	10.283	8.746
10	11.515	10.267	9.511	7.660	5.731	4.486
20	7.250	6.011	5.646	3.889	2.587	1.928

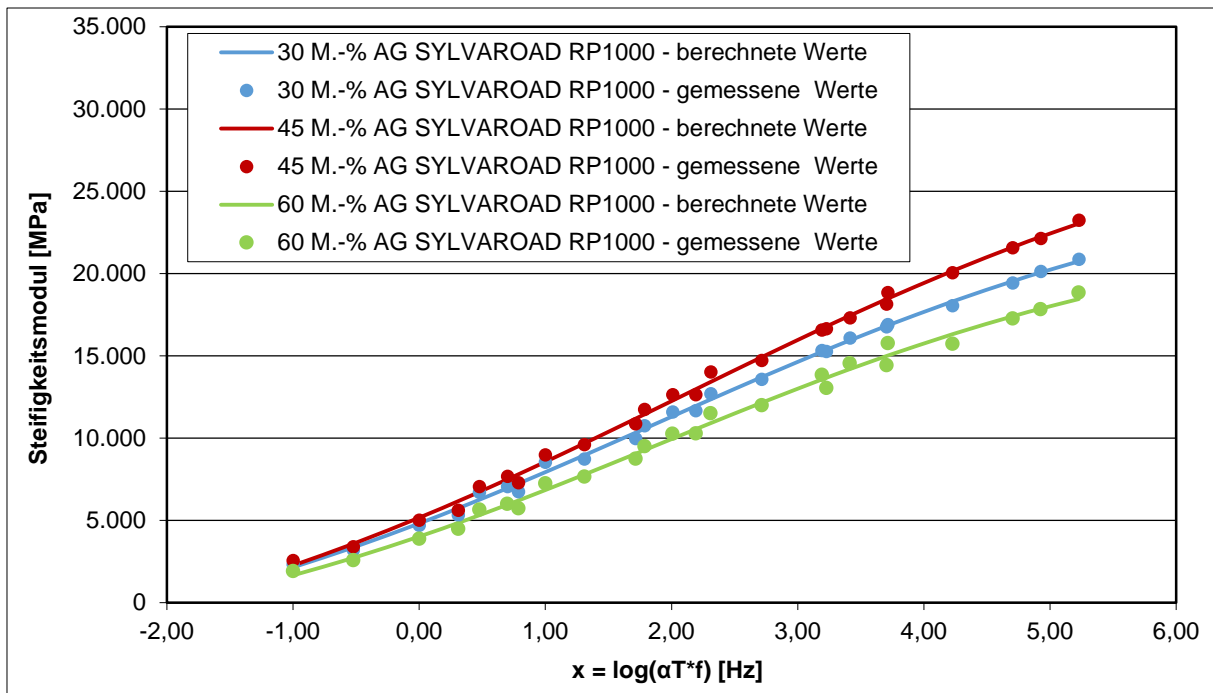


Abbildung 35: Masterkurve SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000

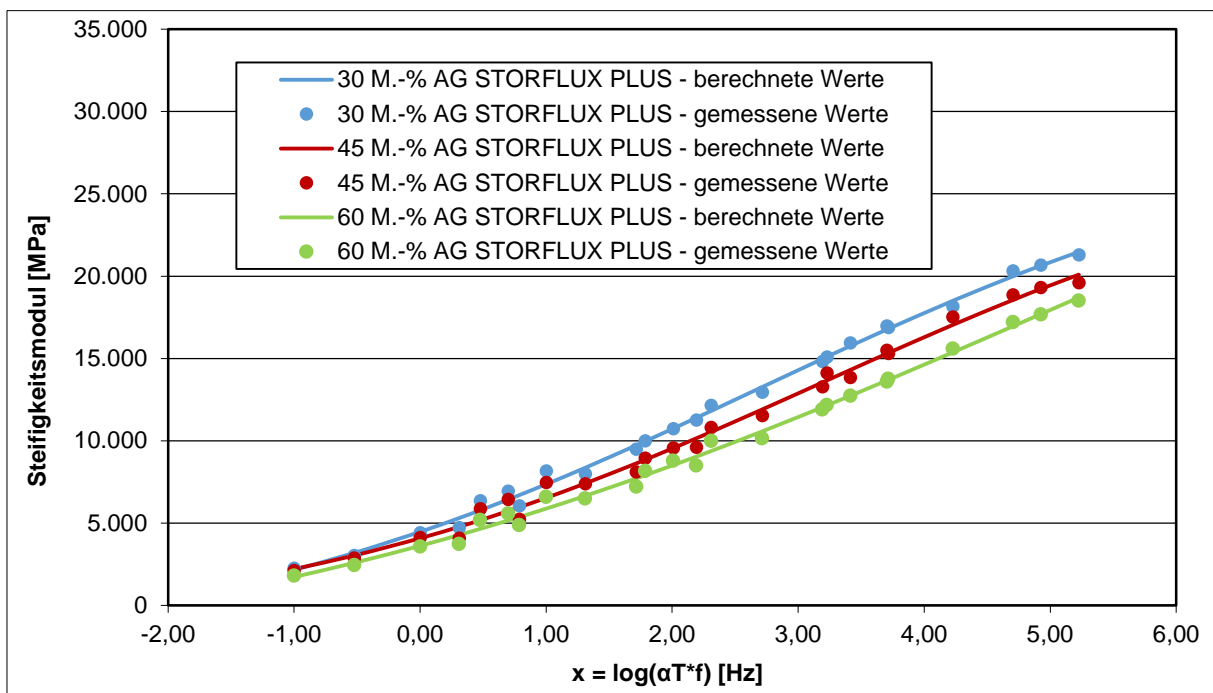


Abbildung 36: Masterkurve SMA 16 B S mit STORFLUX PLUS

Tabelle 27: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	21.301	20.671	20.315	18.162	16.974	15.083
0	16.880	15.946	14.814	12.948	11.265	9.488
10	12.160	10.738	9.997	7.988	6.053	4.721
20	8.163	6.936	6.365	4.407	3.036	2.258

Tabelle 28: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz 10 Hz 5 Hz 3 Hz 1 Hz 0,3 Hz 0,1 Hz [MPa]					
	-10	19.593	19.320	18.859	17.530	15.500
0	15.309	13.854	13.283	11.537	9.608	8.100
10	10.814	9.573	8.953	7.398	5.240	4.084
20	7.461	6.432	5.866	4.122	2.885	2.120

Tabelle 29: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz 10 Hz 5 Hz 3 Hz 1 Hz 0,3 Hz 0,1 Hz [MPa]					
	-10	18.506	17.672	17.202	15.578	13.582
0	13.763	12.733	11.895	10.141	8.488	7.201
10	9.986	8.777	8.165	6.476	4.863	3.727
20	6.584	5.578	5.177	3.561	2.439	1.797

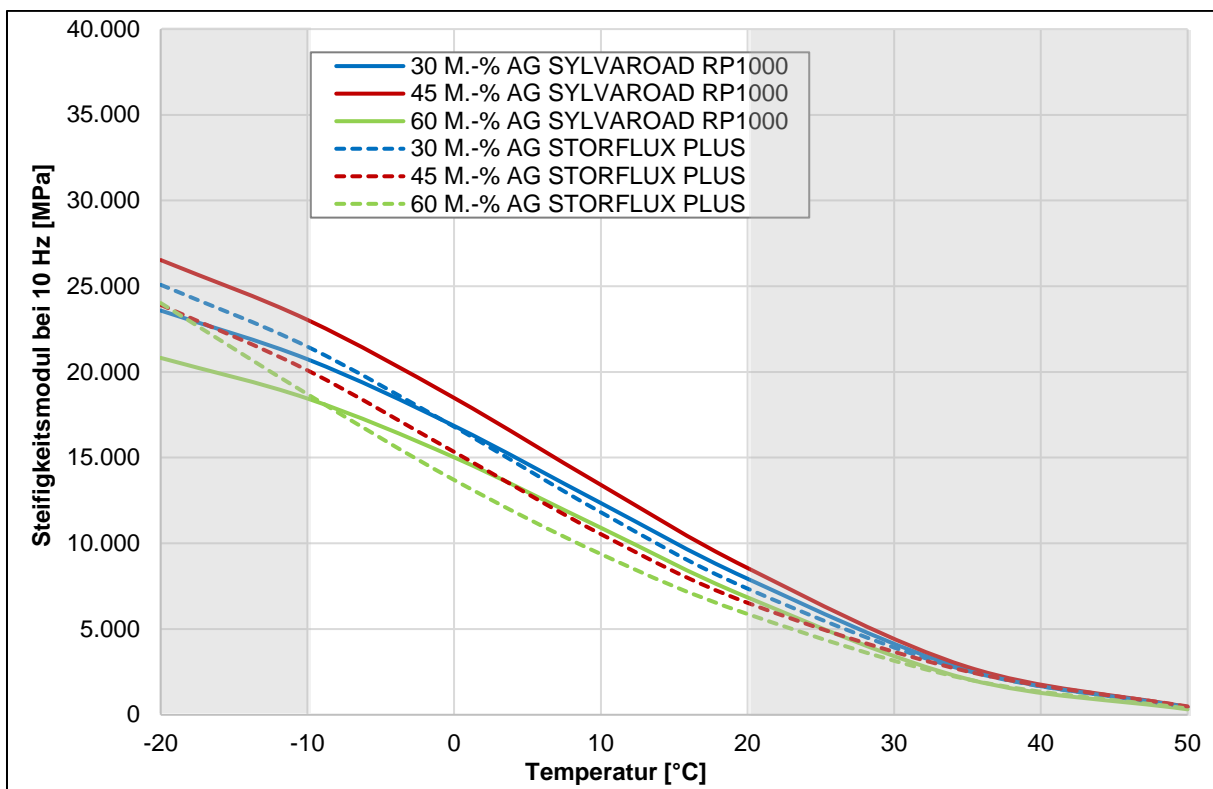


Abbildung 37: Temperatur-Steifigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltbinderschicht mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS

Aus den Ergebnissen ist kein eindeutiger Trend in Abhängigkeit vom Asphaltgranulat-Anteil abzuleiten. Die Steifigkeiten der Variante SMA 16 B S 45 M.-% AG mit SYLVAROAD RP1000 scheinen etwas höher zu liegen, wobei dies tendenziell bei Temperaturen unter 0 °C nicht mehr eindeutig ist. Bei einer Zugabemenge von 30 M.-% AG wurden vergleichbare Steifigkeiten bei beiden Produkten gemessen. Bei den höheren AG-Anteilen und somit auch

höheren Anteilen an Rejuvenatoren wurden beim Produkt SYLVAROAD RP1000 höhere Steifigkeiten ermittelt.

Die Steifigkeiten der AC 11 D S Varianten mit SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS sind in Tabelle 30 bis Tabelle 35 zusammengefasst und die Masterkurven in Abbildung 38 und Abbildung 39. Die Ergebnisse der Asphaltbinderschicht- und der Asphaltdeckschicht-Varianten exemplarisch für eine Frequenz von 10 Hz sind in Abbildung 40 dargestellt. Bei der Asphaltdeckschicht kann kein eindeutiger Einfluss des Anteils an Asphaltgranulat auf die Asphaltsteifigkeit festgestellt werden. Bei SYLVAROAD RP1000 weist die Variante mit 60 M.-% AG die geringsten Steifigkeiten auf, bei STORFLUX PLUS wurde je nach Temperatur bei der Variante mit 20 M.-% oder mit 60 M.-% AG die geringsten Steifigkeiten gemessen. Die Variante mit den geringsten Steifigkeiten von den SYLVAROAD RP1000-Varianten weist vergleichbare Steifigkeiten wie die Variante von STORFLUX PLUS auf, bei der die höchsten Steifigkeiten gemessen wurden.

Tabelle 30: Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz 10 Hz 5 Hz 3 Hz 1 Hz 0,3 Hz 0,1 Hz [MPa]					
	-10	24.203	23.274	22.565	21.309	19.402
0	19.714	18.356	17.488	15.307	13.080	11.085
10	13.941	12.519	11.783	9.152	6.607	5.028
20	8.270	6.792	6.270	4.251	2.632	1.849

Tabelle 31: Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz 10 Hz 5 Hz 3 Hz 1 Hz 0,3 Hz 0,1 Hz [MPa]					
	-10	25.065	23.964	23.612	21.628	19.605
0	20.111	18.809	18.050	15.780	13.441	11.449
10	14.519	12.949	11.921	9.393	7.104	5.440
20	8.603	7.219	6.833	4.577	2.985	2.099

Tabelle 32: Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz 10 Hz 5 Hz 3 Hz 1 Hz 0,3 Hz 0,1 Hz [MPa]					
	-10	23.501	22.563	21.929	19.850	17.573
0	18.418	17.060	16.316	13.947	11.702	9.843
10	13.460	11.884	10.963	8.690	6.433	4.972
20	8.186	6.895	6.366	4.244	2.691	1.901

Tabelle 33: Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG STOFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz [MPa]					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	21.644	20.709	20.086	18.558	16.459	14.775
0	17.965	16.540	15.533	13.501	11.142	9.116
10	11.787	10.557	9.595	7.395	5.212	3.813
20	6.872	5.612	5.342	3.266	1.945	1.231

Tabelle 34: Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG STOFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz [MPa]					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	24.043	22.575	21.422	19.990	18.089	16.280
0	18.510	17.049	16.205	14.045	11.728	9.819
10	12.603	11.047	10.141	7.826	5.731	4.331
20	7.652	6.312	5.765	3.810	2.409	1.701

Tabelle 35: Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG STOFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz [MPa]					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	21.551	20.362	19.889	17.964	16.113	14.430
0	16.773	15.345	14.652	12.405	10.442	8.740
10	11.573	10.192	9.456	7.379	5.507	4.278
20	7.161	5.952	5.429	3.745	2.464	1.786

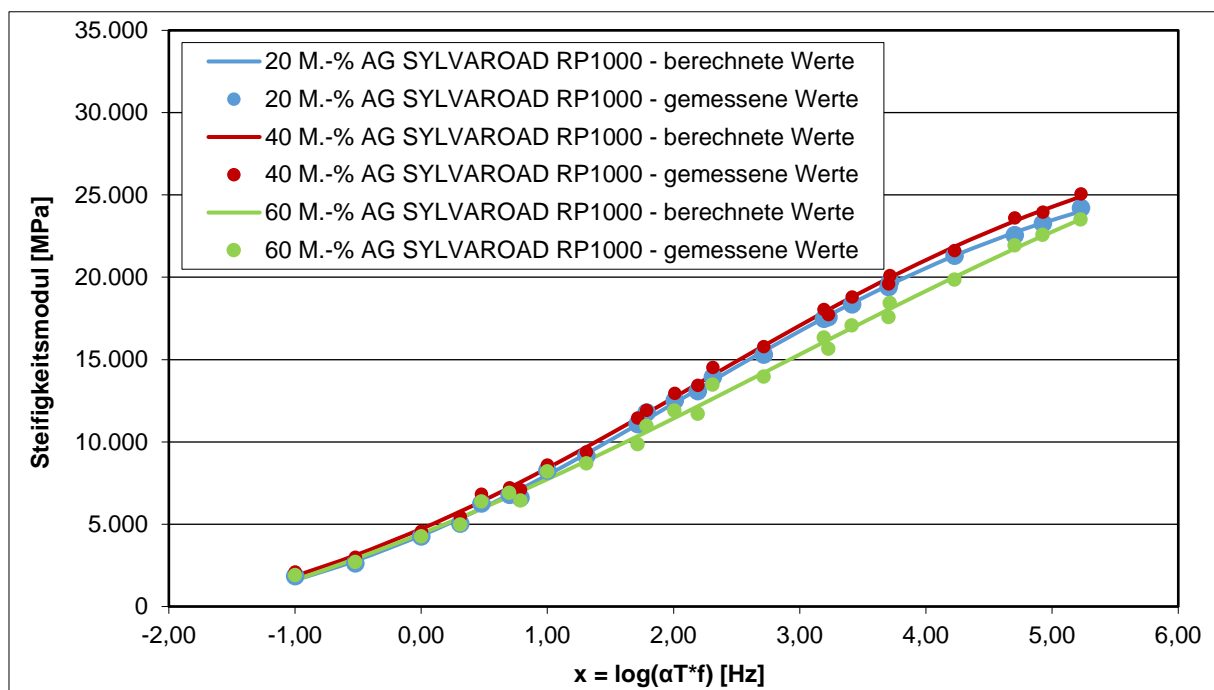


Abbildung 38: Masterkurve AC 11 D S mit SYLVAROAD RP1000

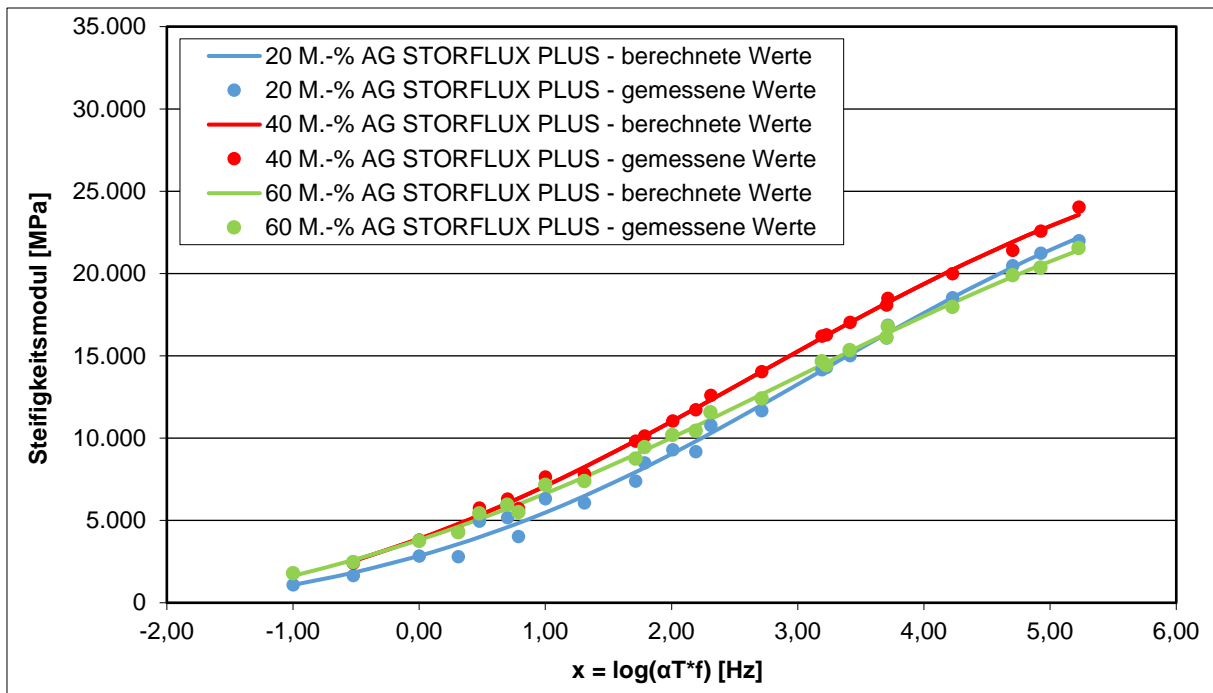


Abbildung 39: Masterkurve AC 11 D S mit STORFLUX PLUS

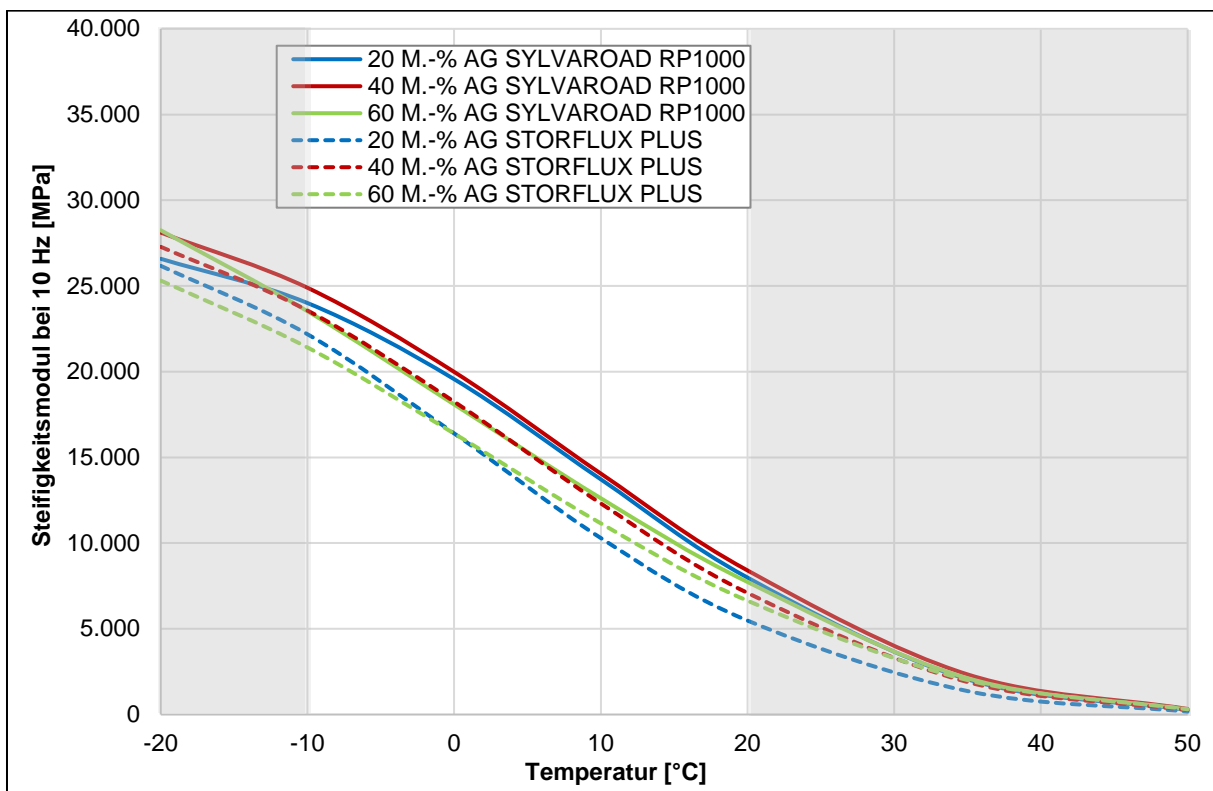


Abbildung 40: Temperatur-Steifigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltdeckschicht mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS

3.2.4 Ergebnisse des einaxialen Druck-Schwellversuches

Die Ergebnisse aus dem einaxialen Druck-Schwellversuch sind in Tabelle 36 und Tabelle 37 sowie in Abbildung 41 und Abbildung 42 dargestellt. Aufgeführt sind die aufgebrauchten Belastungszyklen, die Dehnung und die resultierende Dehnungsrate bei Versuchsende. Da ein Wendepunkt grundsätzlich nicht erreicht wurde, gilt die Steigung der lokalen Tangente zwischen den Punkten (9.800; ϵ_{9800}) und (10.000; ϵ_{9800}) im quasi-linearen Bereich der Impulskriechkurve als Dehnungsrate, wenn bis 10.000 Belastungszyklen (B.Zy.) keine Dehnung von 40 ‰ eintritt. Wird eine Dehnung von 40 ‰ nach einer kürzeren Belastungszyklenanzahl erreicht, berechnet sich die Dehnungsrate zwischen zwei in gleichem Abstand davor und danach liegenden Wertepaaren (Belastungszyklus bei Abbruch -100 und +100). (TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 2012)

Keine Variante erreicht während des Versuchsablaufs einen Wendepunkt, sodass die Dehnungsraten ϵ^* bei Versuchsende berechnet wurden. Somit wurde diese bei der Variante mit 60 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 bei Erreichen der 40 ‰ Dehnung berechnet und bei den restlichen Varianten bei 10.000 Belastungszyklen. Ein schlechteres Verformungsverhalten im Vergleich zu den anderen Varianten weist dabei die Variante mit 60 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 auf. Generell werden bei den Varianten mit SYLVAROAD RP1000 höhere Dehnungen gemessen. Die geringen Dehnungsraten sprechen aber für eine hohe Verformungsbeständigkeit aller Varianten.

Im Vergleich zur Asphaltbinderschicht wiesen die Asphaltdeckschicht-Varianten höhere Dehnungsraten auf. Bei allen Varianten wird das Versuchsende durch das Erreichen einer Dehnung von 40 ‰ nach einer geringen Anzahl der Belastungszyklen hervorgerufen. Die Varianten mit SYLVAROAD RP1000 weisen geringere Dehnungsraten als die Varianten mit STORFLUX PLUS auf. Die höchste Verformungsbeständigkeit zeigten die Varianten mit dem höchsten Asphaltgranulat-Anteil. Alle Versuche wurden über das Abbruchkriterium hinaus bis zu 10.000 Belastungszyklen fortgesetzt und zusätzlich die Dehnungsrate bei 10.000 Belastungszyklen berechnet. Hier haben alle Varianten eine vergleichbar geringe Dehnungsrate.

Tabelle 36: Ergebnisse der einaxialen Druck-Schwellversuche SMA 16 B S

Anteil Asphaltgranulat	SMA 16 B S					
	SYLVAROAD RP1000			STORFLUX PLUS		
	Anz. B.Zy.	ϵ_n [‰]	ϵ^* [‰*10 ⁻⁴ /n]	Anz. B.Zy.	ϵ_n [‰]	ϵ^* [‰*10 ⁻⁴ /n]
30 M.-% AG	10.000	31,7	0,3	10.000	20,4	0,2
45 M.-% AG	10.000	33,7	0,3	10.000	20,1	0,2
60 M.-% AG	5.500	40,0	0,7	10.000	17,8	0,2

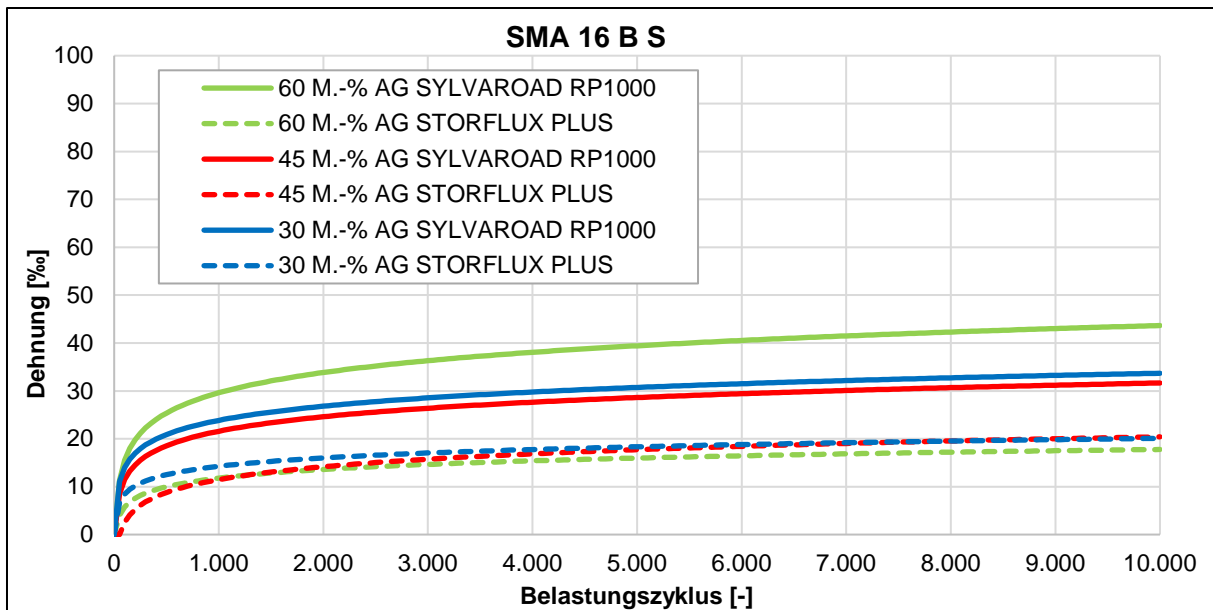


Abbildung 41: Impulskriechkurve ohne Wendepunkt der Varianten SMA 16 B S

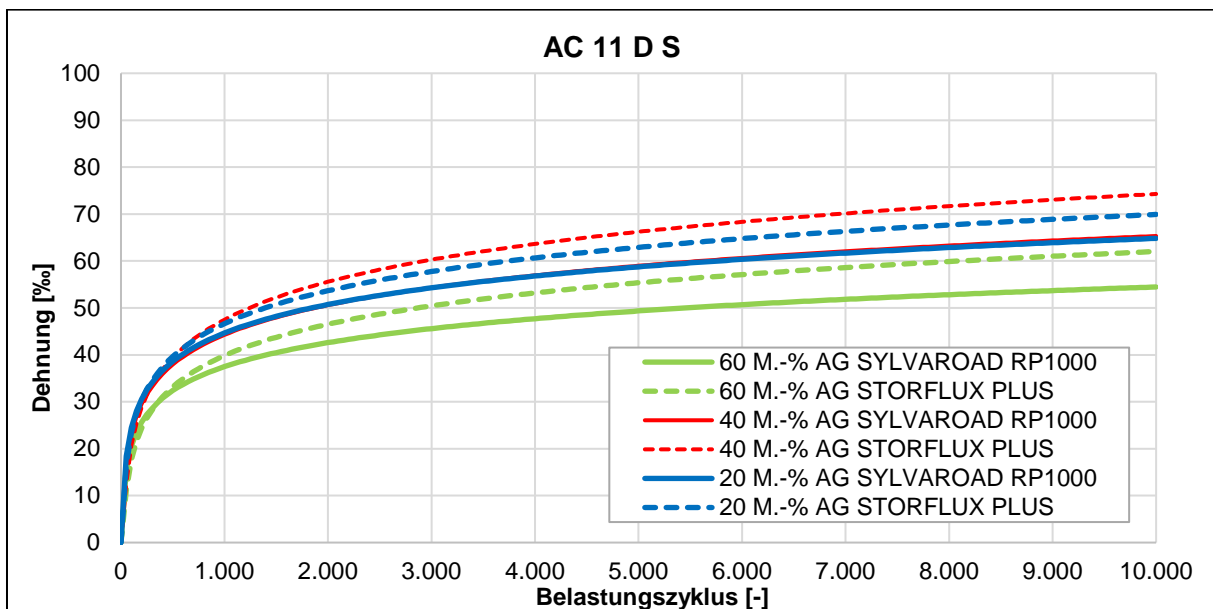


Abbildung 42: Impulskriechkurve ohne Wendepunkt der Varianten AC 11 D S

Tabelle 37: Ergebnisse der einaxialen Druck-Schwellversuche AC 11 D S

Anteil Asphaltgranulat	AC 11 D S							
	SYLVAROAD RP1000				STORFLUX PLUS			
	Anz. B.Zy.	ϵ_n [‰]	ϵ^* [‰*10 ⁻⁴ /n]	$\epsilon_{10.000}^*$	Anz. B.Zy.	ϵ_n [‰]	ϵ^* [‰*10 ⁻⁴ /n]	$\epsilon_{10.000}^*$
20 M.-% AG	600	40	8,9	0,5	550	40	11,3	0,6
40 M.-% AG	650	40	8,6	0,6	550	40	12,9	0,7
60 M.-% AG	1.400	40	3,2	0,5	1.050	40	5,6	0,6

3.2.5 Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit

Die Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit von den Asphaltgemischen nach TP Asphalt-StB, Teil 12 sind in Tabelle 38 zusammengefasst. Als Ergebnis ist der Verhältniswert ITS_R, der das Verhältnis des Mittelwerts der Spaltzugfestigkeit der nassen Probekörper und dem Mittelwert der Spaltzugfestigkeit der trockenen Probekörper wiedergibt, in Abbildung 43 und Abbildung 44 grafisch dargestellt.

Die Asphaltbinder-Varianten mit 60 M.-% AG und STORFLUX PLUS ist mit hoher Wahrscheinlichkeit als Ausreißer einzustufen, da zwei trocken geprüfte Probekörper aufgrund ihrer höheren Dichte einen ungewöhnlich hohen Bezugswert lieferten. Ohne Berücksichtigung dieser Probekörper würde sich ein ITS_R-Wert von 83 % ergeben. Die anderen Varianten zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Produkten. Die Varianten mit 45 M.-% AG weisen die geringsten ITS_R-Werte und somit das schlechteste Adhäsionsverhalten auf.

Bei der Asphaltdeckschicht AC 11 D S wurde für alle Varianten ein vergleichbar gutes Adhäsionsverhalten festgestellt.

Tabelle 38: Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der verschiedenen Asphaltgemische

Anteil Asphaltgranulat	SMA 16 B S					
	SYLVAROAD RP1000			STORFLUX PLUS		
	ITS _{nass} [kPa]	ITS _{trocken} [kPa]	ITS _R [%]	ITS _{nass} [kPa]	ITS _{trocken} [kPa]	ITS _R [%]
30 M.-% AG	2.020	2.570	78,6	2.190	2.800	78,2
45 M.-% AG	1.660	2.660	62,4	1.540	2.290	67,2
60 M.-% AG	2.390	2.990	79,9	1.370	2.500	54,8
Anteil Asphaltgranulat	AC 11 D S					
	SYLVAROAD RP1000			STORFLUX PLUS		
	ITS _{nass} [kPa]	ITS _{trocken} [kPa]	ITS _R [%]	ITS _{nass} [kPa]	ITS _{trocken} [kPa]	ITS _R [%]
20 M.-% AG	2.620	2.930	89,4	2.700	3.100	87,1
40 M.-% AG	2.520	3.030	83,2	2.810	3.030	92,7
60 M.-% AG	2.380	2.790	85,3	2.600	2.940	88,4

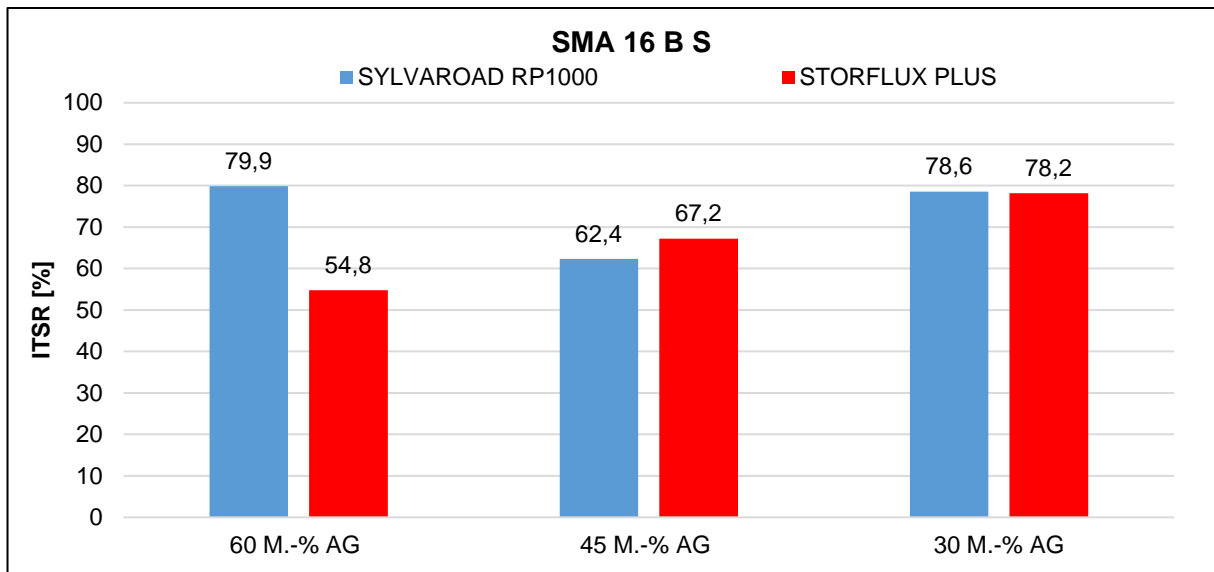


Abbildung 43: Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltbinderschicht-Varianten

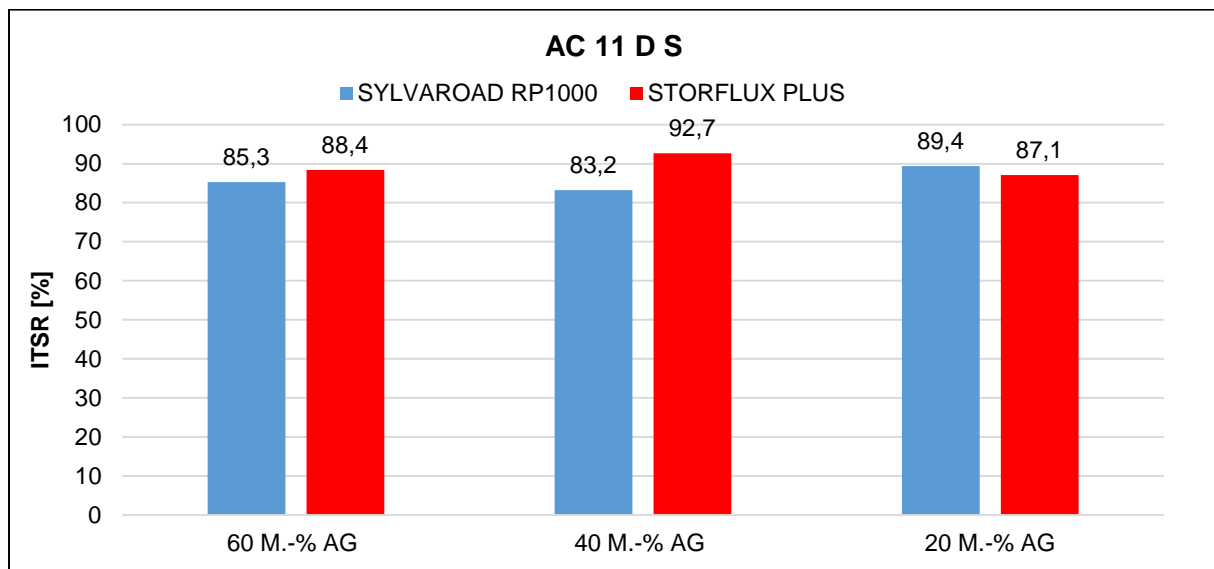


Abbildung 44: Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltdeckschicht-Varianten

3.2.6 Ergebnisse zu den Kälteeigenschaften

Die Ergebnisse der Abkühlversuche nach TP Asphalt-StB, Teil 46 A - Bruchtemperatur und korrespondierende Bruchspannung - sind in Abbildung 45 und Abbildung 46 vergleichend dargestellt.

Der Streckenabschnitt der B37 liegt in der Frosteinwirkungszone I. Sowohl alle SMA 16 B S-Varianten als auch alle AC 11 D S-Varianten weisen Bruchtemperaturen < -20°C auf, sodass nach dem Arbeitspapier „Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche“. 1 das Kälteverhalten des Asphaltoberbaus (Asphaltdecke) positiv bewertet werden kann. Für Asphaltbefestigungen aus Asphaltbeton werden in dem Arbeitspapier Orientierungswerte < -15 °C angegeben (siehe Tabelle 3).

Für Asphaltbinderschichten aus SMA 16 B S gibt es bislang noch keine Orientierungswerte. Die Bruchdehnungen der SMA 16 B S-Varianten mit SYLVAROAD RP1000 liegen alle auf einem vergleichbaren Niveau, auf diesem Niveau liegt auch die Bruchdehnung der Variante

mit 60 M.-% AG und STORFLUX PLUS. Bei den Varianten mit geringeren AG-Anteilen und STORFLUX PLUS wurden geringere Bruchdehnungen ermittelt. Beim Produkt STORFLUX PLUS ist bei der Bruchtemperatur ein Einfluss des Anteils an Asphaltgranulat festzustellen. Mit zunehmendem Anteil an Asphaltgranulat und damit auch zunehmendem Anteil an STORFLUX PLUS kann ein leichter Abfall der Bruchtemperatur festgestellt werden. Die Variante SMA 16 B S mit 60 M.-% AG und STORFLUX PLUS weist mit -26,5 °C die geringste Bruchtemperatur auf.

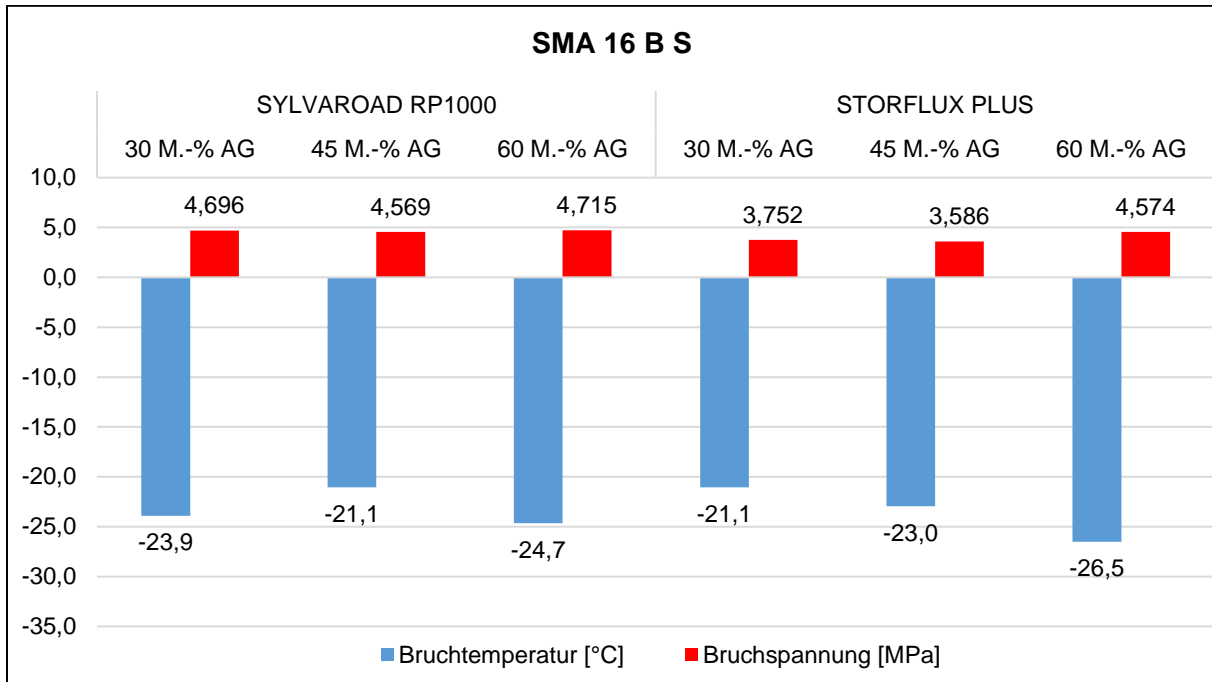


Abbildung 45: Bruchtemperaturen mit korrespondierenden Bruchspannungen aus den Abkühlversuchen der SMA 16 B S-Varianten

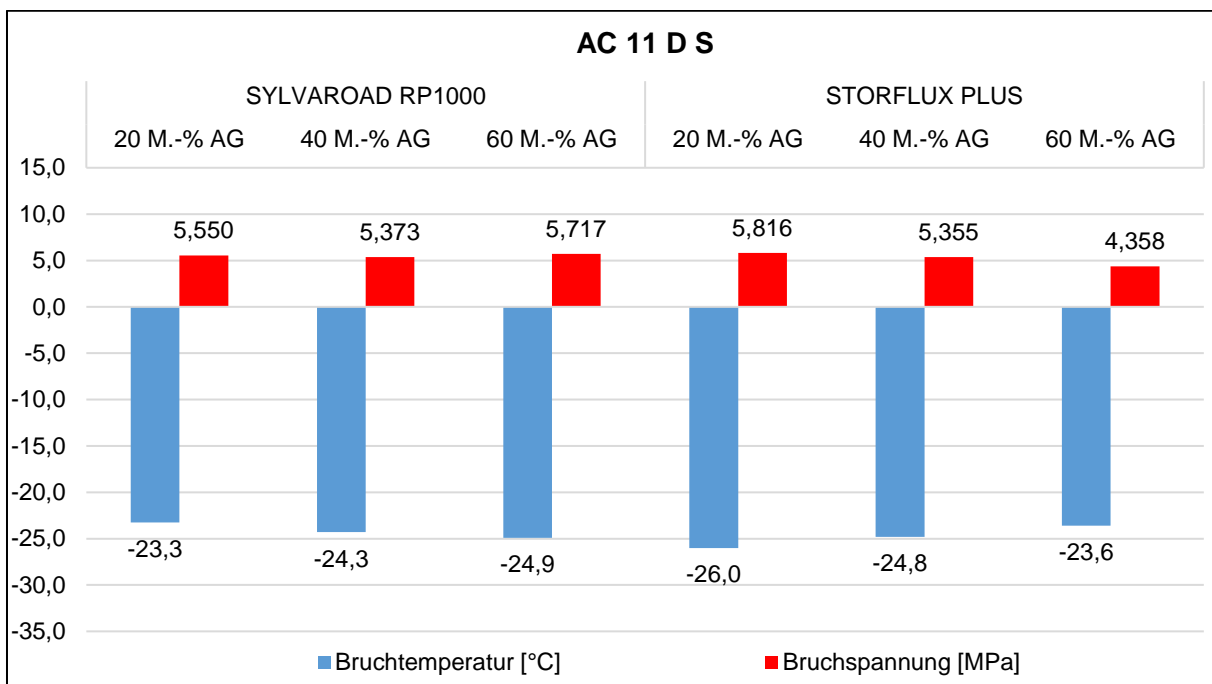


Abbildung 46: Bruchtemperaturen mit korrespondierenden Bruchspannungen aus den Abkühlversuchen der AC 11 D S-Varianten

Bei den Asphaltdeckschicht-Varianten weisen abgesehen von der Variante mit 60 M.-% AG und STORFLUX PLUS unter Berücksichtigung der Präzision des Verfahrens alle Varianten vergleichbare Bruchdehnungen auf. Die Bruchtemperaturen liegen nahezu auf einem Niveau. Bei dem Produkt STORFLUX PLUS kann erneut ein Einfluss des Asphaltgranulates auf die Bruchtemperatur festgestellt werden, jedoch nimmt diese hier im Gegensatz zu den Ergebnissen bei den Asphaltbinder-Varianten mit zunehmendem AG-Anteil zu, womit ein Zusammenhang mit dem Rejuvenator eher unwahrscheinlich ist.

Die Ergebnisse des einaxialen Zugversuches bei den Temperaturen 20 °C, 5 °C, -10 °C und -25 °C sind in Abbildung 47 und Abbildung 48 zu sehen.

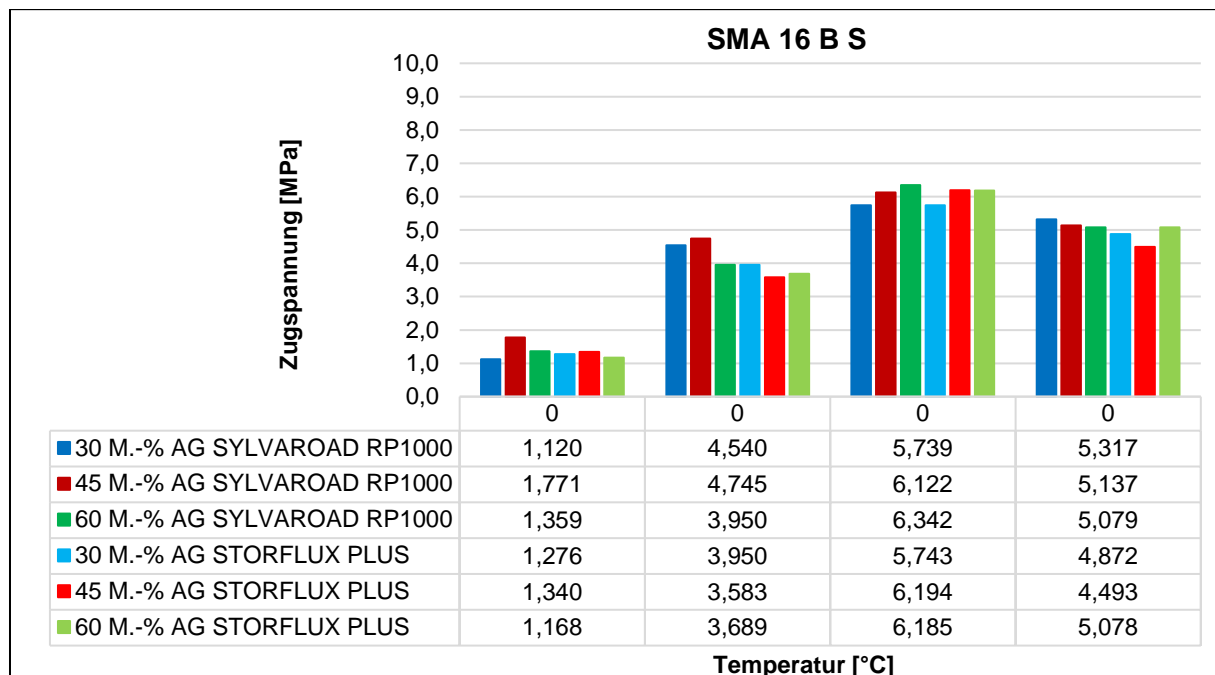


Abbildung 47: Ergebnisse der einaxialen Zugversuche SMA 16 B S

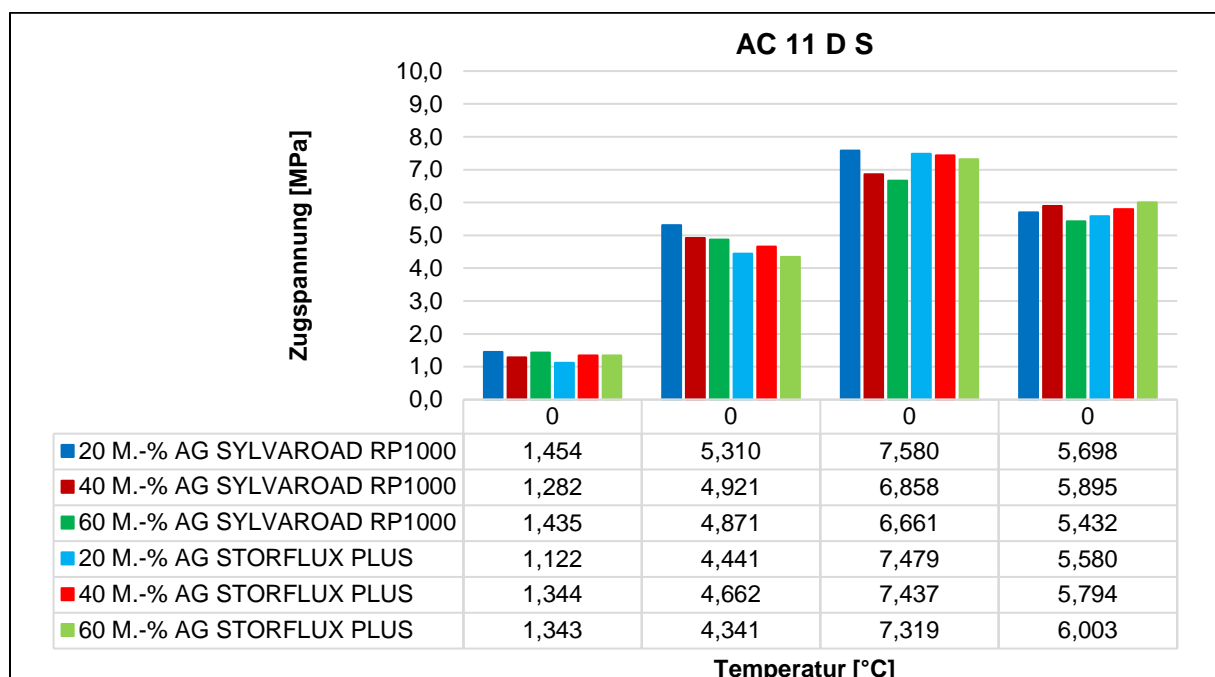


Abbildung 48: Ergebnisse der einaxialen Zugversuche AC 11 D S

Die Kennwerte aller hier geprüften Varianten liegen deutlich über den Orientierungswerten für die Zugfestigkeit bei -10 °C ($\beta_t(-10\text{ °C}) \geq 4,0\text{ MPa}$) nach dem Arbeitspapier „Tiefemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche“. Die Werte gelten zwar nur für Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten aus Asphaltbeton, dennoch werden diese hilfsweise auch für die eingebaute Asphaltbinderschicht SMA 16 B S herangezogen, da bisher für dieses Asphaltmischgut keine Orientierungswerte angegeben sind. Somit kann die positive Bewertung des Kälteverhaltens aus dem Abkühlversuch bestätigt werden.

Die aus den einaxialen Zugversuchen und Abkühlversuchen berechneten Zugfestigkeitsreserven sind in Abbildung 49 und Abbildung 50 vergleichend dargestellt. Hier kann bei der Asphaltdeckschicht bei beiden Rejuvenatoren ein leichter Trend in Abhängigkeit vom AG-Anteil erkannt werden. Beide Varianten mit 20 M.-% AG besitzen höhere Kennwerte zur Zugfestigkeitsreserve, während die Varianten mit 60 M.-% AG die niedrigsten Ergebnisse aufweisen. Insgesamt erreichen alle Varianten mit dem Produkt STORFLUX PLUS ihre maximale Zugfestigkeitsreserve bei geringeren Temperaturen als die Varianten mit dem Produkt SYLVAROAD RP1000.

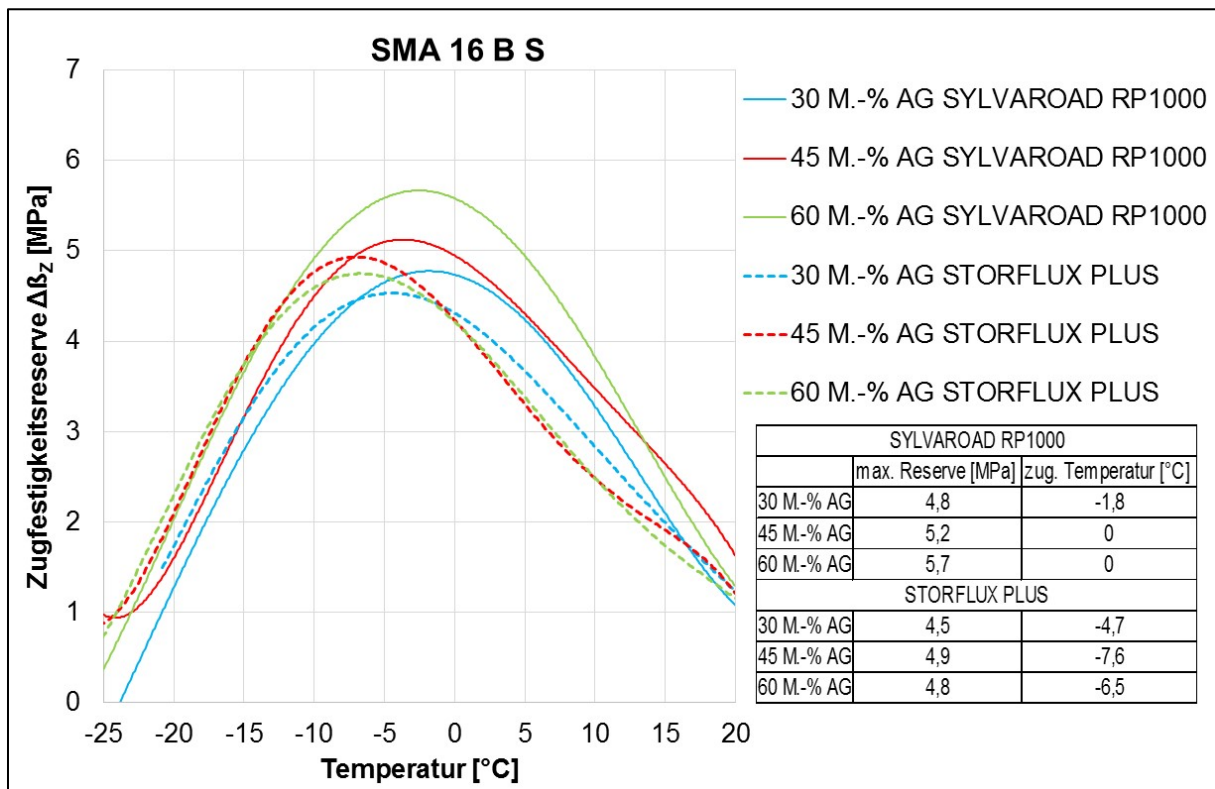


Abbildung 49: Zugfestigkeitsreserve SMA 16 B S

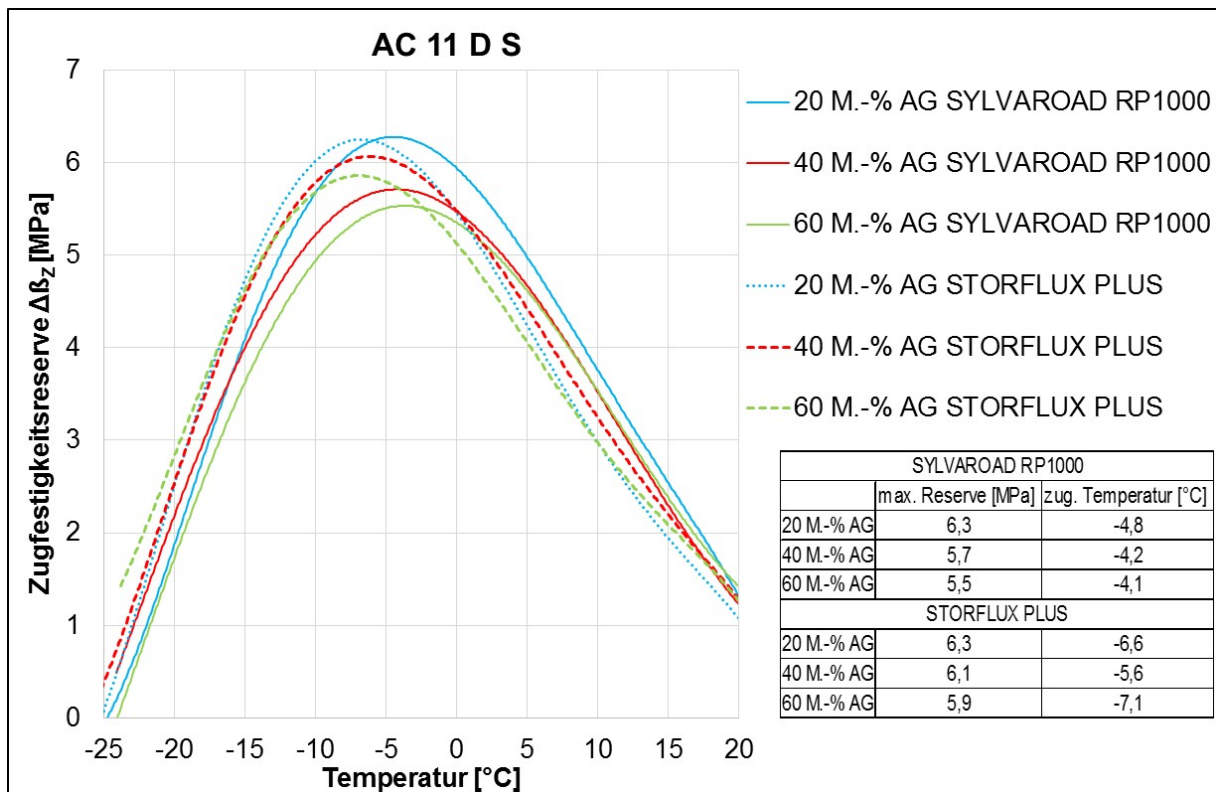


Abbildung 50: Zugfestigkeitsreserve AC 11 D S

3.3 Ergebnisse der erweiterten Kontrollprüfung

Der Einbau der Varianten der Asphaltbinderschicht erfolgte vom 26.07.2017 bis zum 28.07.2017. Am 02.08.2017 begann der Einbau der Varianten der Asphaltdeckschicht und wurde am 04.08.2017 abgeschlossen. Die Bauabschnitte der einzelnen Varianten sind der Tabelle 39 zu entnehmen. Während des Einbaus wurden ca. in der Mitte des jeweiligen Probefeldes Mischgutproben entnommen und eine Woche nach dem Einbau der Asphaltdeckschicht wurden durch die Fa. Baucontrol an der gleichen Stelle Bohrkernentnommen. Die Station der Probenahme ist ebenfalls in Tabelle 39 aufgeführt. Das Asphaltmischgut wurde von der Mischanlage Ramstein produziert.

Tabelle 39: Bauabschnitte und Ort der Probenahme nach Straßenstation

Bauabschnitt	St	St	Probe	von NK	über NK	nach NK
BA 7 SYLVAROAD RP1000 mit 60 M.-% AG	0+045	0+426	0+233	6515 073		6515 068
BA 6 SYLVAROAD RP1000 mit 40 M.-% bzw. 45 M.-% AG	0+426	0+844	0+623	6515 073		6515 068
BA 5 SYLVAROAD RP1000 mit 20 M.-% bzw. 30 M.-% AG	0+844	0+203	0+940	6515 073	6515 068	6515 090
BA 4 STORFLUX PLUS mit 60 M.-% AG	0+203	0+563	0+403	6115 068		6515 090
BA 3 STORFLUX PLUS mit 40 M.-% bzw. 45 M.-% AG	0+563	0+980	0+775	6115 068		6515 090
BA 2 STORFLUX PLUS mit 20 M.-% bzw. 30 M.-% AG	0+980	1+378	1+176	6115 068		6515 090
BA 1 Nullstrecke	1+378	1+641	1+499	6115 068		6515 090

Die Ergebnisse der Kontrollprüfung nach ZTV Asphalt-StB 07/13 wurden in einem separaten Kontrollprüfungsbericht am 13.11.2017 dem LBM bereits übermittelt. Diese Ergebnisse für jede einzelne Variante sind in diesem Schlussbericht im Anhang 1 nochmal ausführlich wiedergegeben. In Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 werden Teile der Ergebnisse der Kontrollprüfung für alle Varianten vergleichend gegenübergestellt. In den folgenden Kapiteln werden dann die Ergebnisse der über die Kontrollprüfung hinausgehenden Prüfungen beschrieben.

3.3.1 Schichtenverbund und Schichtdicke

Der Schichtenverbund wurde mit dem Abscherversuch nach TP Asphalt StB, Teil 80 überprüft und für alle geprüften Bohrkerne konnte sowohl zwischen Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht als auch zwischen Asphaltbinderschicht und dem verbliebenem Aufbau ein Schichtenverbund > 15 bzw. 12 kN nachgewiesen werden (siehe Tabelle 40). Die Schichtdicken sind in Tabelle 41 zusammengefasst.

Tabelle 40: Ergebnisse des Abscherversuches zur Bewertung des Schichtenverbundes

Bauabschnitt	Schichtenverbund [kN]	
	Deckschicht– Binderschicht	Binderschicht- Verbliebener Aufbau
BA 7 SYLVAROAD RP1000 mit 60 M.-% AG	37,0	39,0
BA 6 SYLVAROAD RP1000 mit 40 M.-% bzw. 45 M.-% AG	34,0	40,5
BA 5 SYLVAROAD RP1000 mit 20 M.-% bzw. 30 M.-% AG	41,5	17,0
BA 4 STORFLUX PLUS mit 60 M.-% AG	27,5	22,0
BA 3 STORFLUX PLUS mit 40 M.-% bzw. 45 M.-% AG	18,7	18,0
BA 2 STORFLUX PLUS mit 20 M.-% bzw. 30 M.-% AG	42,5	17,5
BA 1 Nullstrecke	35,0	35,0
Soll	15,0	12,0

Tabelle 41: Ergebnisse der Schichtdickenmessung

Bauabschnitt	Schichtdicke [cm]	
	Deckschicht	Binderschicht
BA 7 SYLVAROAD RP1000 mit 60 M.-% AG	3,3	6,6
BA 6 SYLVAROAD RP1000 mit 40 M.-% bzw. 45 M.-% AG	3,7	8,4
BA 5 SYLVAROAD RP1000 mit 20 M.-% bzw. 30 M.-% AG	3,5	8,3
BA 4 STORFLUX PLUS mit 60 M.-% AG	3,5	8,9
BA 3 STORFLUX PLUS mit 40 M.-% bzw. 45 M.-% AG	4,1	9,7
BA 2 STORFLUX PLUS mit 20 M.-% bzw. 30 M.-% AG	3,4	8,2
BA 1 Nullstrecke	3,6	8,5
Soll	3,5	8,5

3.3.2 Asphaltmischgutzusammensetzung und -eigenschaften

Die Korngrößenverteilungen der extrahierten Asphaltgemische sind in Abbildung 51 und Abbildung 52 dargestellt. Auffällig ist bei den SMA 16 B S-Varianten der deutlich höhere Anteil feiner Gesteinskörnungen bei der Variante mit 60 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 und ein vergleichbar hoher Anteil feiner Gesteinskörnung 0,063/0,125 mm und grober Gesteinskörnungen 8/11 mm bei der Nullvariante.

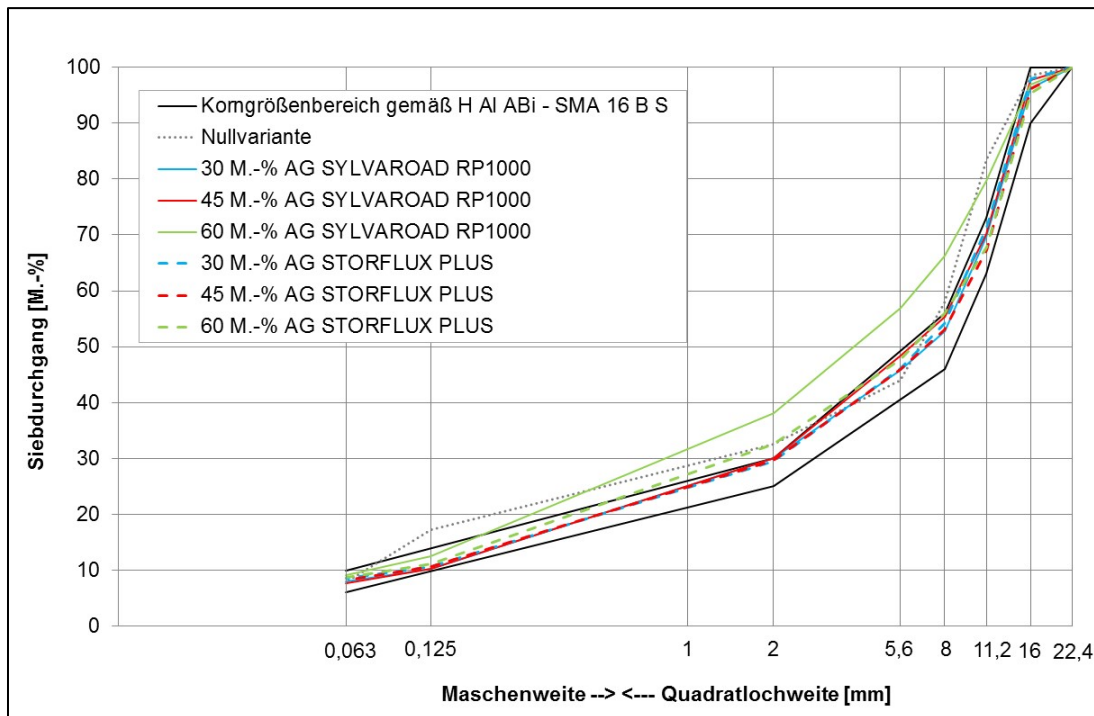


Abbildung 51: Korngrößenverteilung der Asphaltbinderschicht-Varianten

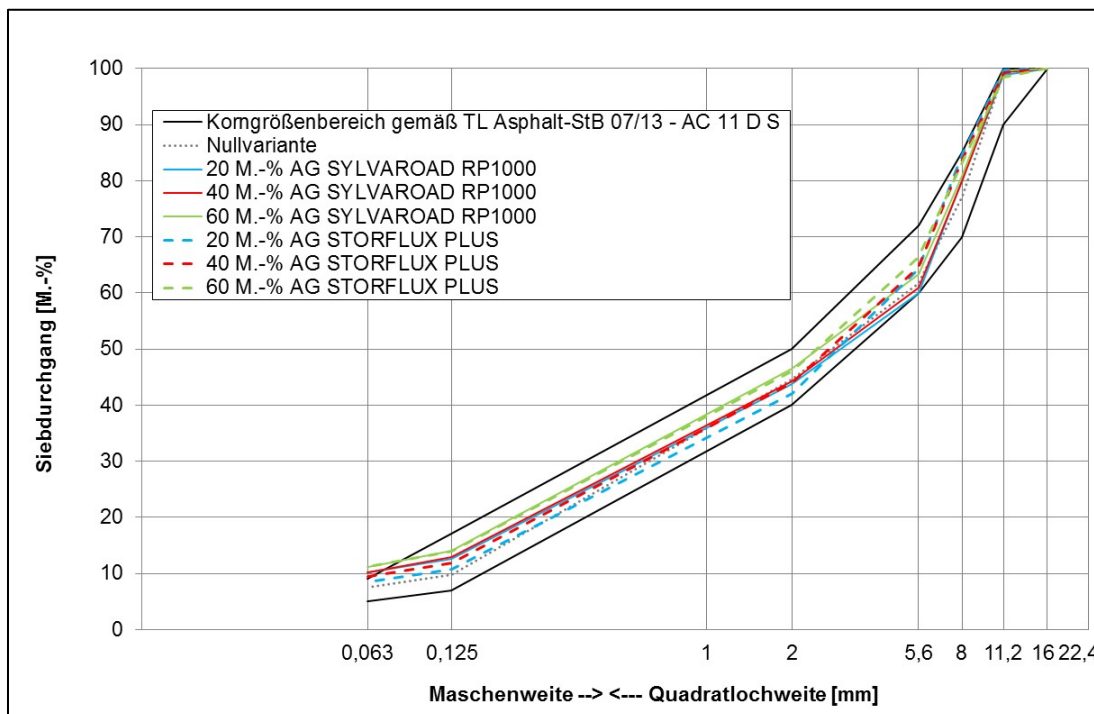


Abbildung 52: Korngrößenverteilung der Asphaltdeckschicht-Varianten

Die Asphaltmischguteigenschaften und die Hohlraumgehalte der Ausbauproben sowie die Verdichtungsgrade sind in Tabelle 42 zusammengefasst. Die Prüfergebnisse, bei denen die zulässigen Toleranzen überschritten wurden, sind rot markiert. Beim Asphaltbinder SMA 16 B S liegen die Bindemittelgehalte zwischen 5,4 bis 5,6 Vol.-%, bei der Asphaltdeckschicht zwischen 6,0 und 6,5 M.-%, die zulässigen Toleranzen sind in allen Fällen eingehalten. Die Hohlraumgehalte am Marshall-Probekörper (MPK) sind vorwiegend geringer als in der Erstprüfung und durch Verdichtungsgrade von i.d.R. > 100 % sind auch die Hohlraumgehalte der eingebauten Schicht entsprechend niedriger. Bei der Asphaltbinderschicht wird der minimale Hohlraumgehalt an der fertigen Schicht von 1,5 Vol.-% nach (H AI ABi 2015) in zwei Fällen unterschritten. Die Nullvarianten weisen geringere Hohlräume ausfüllungsgrade auf als die Varianten mit Asphaltgranulat und den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS. Dies und die Abweichungen in der Korngrößenverteilung können die Performance-Eigenschaften der Asphaltgemische (siehe Abschnitt 3.3.4 bis 3.3.7) beeinflussen.

Tabelle 42: Asphaltmischguteigenschaften und der Hohlraumgehalt der jeweiligen Ausbauprobe sowie der Verdichtungsgrad aller Varianten

Variante		Bindemittelgehalt	Hohlraumgehalt (MPK)	Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Hohlraumausfüllungsgrad VFB	Hohlraumgehalt (BK)	Verdichtungsgrad
		[M.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[%]	[Vol.-%]	[%]
SMA 16 B S	Nullvariante	5,5	4,5	17,1	73,7	3,5	101,0
	30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	5,4	3,5	16,2	78,3	1,9	101,6
	45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	5,6	2,4	15,7	84,7	1,7	100,7
	60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	5,6	2,1	15,5	86,5	2,0	100,1
	30 M.-% AG STORFLUX PLUS	5,4	2,5	15,2	83,6	1,1	101,5
	45 M.-% AG STORFLUX PLUS	5,5	2,8	15,8	82,3	1,5	101,4
	60 M.-% AG STORFLUX PLUS	5,4	1,9	14,9	87,2	1,1	100,8
AC 11 D S	Nullvariante	6,1	2,8	16,9	83,5	3,0	99,9
	20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	6,5	2,1	17,3	87,8	1,8	100,3
	40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	6,4	2,2	17,1	87,2	1,5	100,7
	60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	6,2	2,7	17,2	84,3	4,6	98,0
	20 M.-% AG STORFLUX PLUS	6,3	2,0	16,7	88,0	1,1	100,9
	40 M.-% AG STORFLUX PLUS	6,4	1,4	16,4	91,5	1,2	100,3
	60 M.-% AG STORFLUX PLUS	6,0	1,5	15,6	90,4	1,1	100,4

3.3.3 Bindemittleigenschaften

Die Bindemittleigenschaften Erweichungspunkt Ring und Kugel, Nadelpenetration und elastische Rückstellung aller Varianten sind in Tabelle 43 aufgeführt. Der Grenzwert für den Erweichungspunkt Ring und Kugel eines PmB 25/55-55 von 71 °C nach ZTV Asphalt-StB 07/13 wird in allen Fällen eingehalten. Das rückgewonnene Bindemittel der Variante SMA 16 B S mit 60 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 weist mit 70,6 °C einen vergleichbar hohen Erweichungspunkt Ring und Kugel auf. Dies ist aber nicht auf den Rejuvenator zurückzuführen, da bei allen anderen Varianten mit SYLVAROAD RP1000 geringere Bindemittelsteifigkeiten festgestellt wurden. Ein möglicher Grund für die höhere Bindemittelsteifigkeit könnten Schwankungen im Asphaltgranulat sein. Die elastische Rückstellung nimmt mit zunehmendem Anteil an Asphaltgranulat ab, da das Bindemittel im Asphaltgranulat ein Straßenbaubitumen ist und bei höheren AG-Anteilen die Zugabemenge des frisch zugegebenen PmB 25/55-55 RC und somit der Polymeranteil im gesamten Bindemittelgemisch abnimmt.

Tabelle 43: Bindemittleigenschaften Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK), Nadelpenetration (PEN) und elastische Rückstellung aller Varianten

Variante		EP RuK	PEN	Elastische Rückstellung
		[°C]	[1/10 mm]	[%]
SMA 16 B S	Nullvariante	64,0	25,3	72
	30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	65,5	25,9	61
	45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	63,4	34,1	63
	60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	70,6	19,8	49
	30 M.-% AG STORFLUX PLUS	66,2	25,0	68
	45 M.-% AG STORFLUX PLUS	63,4	29,0	61
	60 M.-% AG STORFLUX PLUS	64,1	30,0	58
AC 11 D S	Nullvariante	61,6	27,6	74
	20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	64,9	33,0	71
	40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	63,5	35,7	71
	60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	66,0	28,8	53
	20 M.-% AG STORFLUX PLUS	66,2	27,4	66
	40 M.-% AG STORFLUX PLUS	63,1	32,7	61
	60 M.-% AG STORFLUX PLUS	65,1	33,5	50

Neben den in Tabelle 43 aufgeführten Bindemitteluntersuchungen wurden auch die Kennwerte komplexer Schermodul und Phasenwinkel im Temperaturbereich von -10 °C bis 150 °C ermittelt. Die Äquisteifigkeitstemperatur $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ aller Varianten und der zugehörige Phasenwinkel sind in Abbildung 53 vergleichend dargestellt. Auch hier zeigt sich die erhöhte Bindemittelsteifigkeit des rückgewonnenen Bindemittels der Variante SMA 16 B S mit 60 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 in Form einer höheren Äquisteifigkeitstemperatur $G^*(15 \text{ kPa})$. Die Phasenwinkel, welche ein Maß für die viskosen und elastischen Anteile der Bindemittelsteifigkeit darstellen, liegen zwischen 62,5° und 72,3° und damit im üblichen Bereich von frischen PmB 25/55-55. Der in Abbildung 53 eingezeichnete Wertebereich für frische PmB 25/55-55 stammt aus dem BAST Forschungsprojekt FE 29.0327/2013/BAST mit dem Titel „Datentechnische Erfassung und Auswertung von Prüfdaten und Erfahrungssammlung“ in dem die nach dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 11/2012 zur Erfahrungssammlung ermittelten Ergebnisse der Jahre 2013 bis 2015 ausgewertet wurden (Radenberg, Flottmann et al. 2017). Werte nach Kurzzeitalterung liegen nicht vor. Wird jedoch auch hier der Grenzwert von 71 °C für den Erweichungspunkt Ring und Kugel angesetzt, überschreitet nur die Variante SMA 16 B S mit 60 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 mit einer Äquisteifigkeitstemperatur $G^*(15 \text{ kPa})$ von 71,5 °C diesen Wert geringfügig. Alle anderen Varianten erfüllen diese Anforderung.

Die Ergebnisse des Temperatur-Sweeps nach DIN EN 14770 in Form des Black-Diagramms sind in Abbildung 54 und Abbildung 55 aufgetragen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Rejuvenator SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS die Bindemittleigenschaften in gleichem Maße beeinflussen. In Bezug auf das verwendete Asphaltgranulat besitzen beide Produkte eine verjüngende Wirkung, die Kurvenverläufe sind vergleichbar mit dem des Bindemittels der Nullvariante. Im Black-Diagramm zeigt sich auch der geringere PmB-Anteil in den Varianten mit höheren AG-Anteilen, da der Kurvenverlauf mit zunehmendem AG-Anteil immer stetiger verläuft. Insbesondere bei der Asphaltdeckschicht nehmen die Phasenwinkel und

damit die viskosen Anteile im Bindemittel mit zunehmendem AG-Anteil ab, dies ist auch auf die geringere Menge an frisch zugegebenem PmB 25/55-55 RC zurückzuführen.

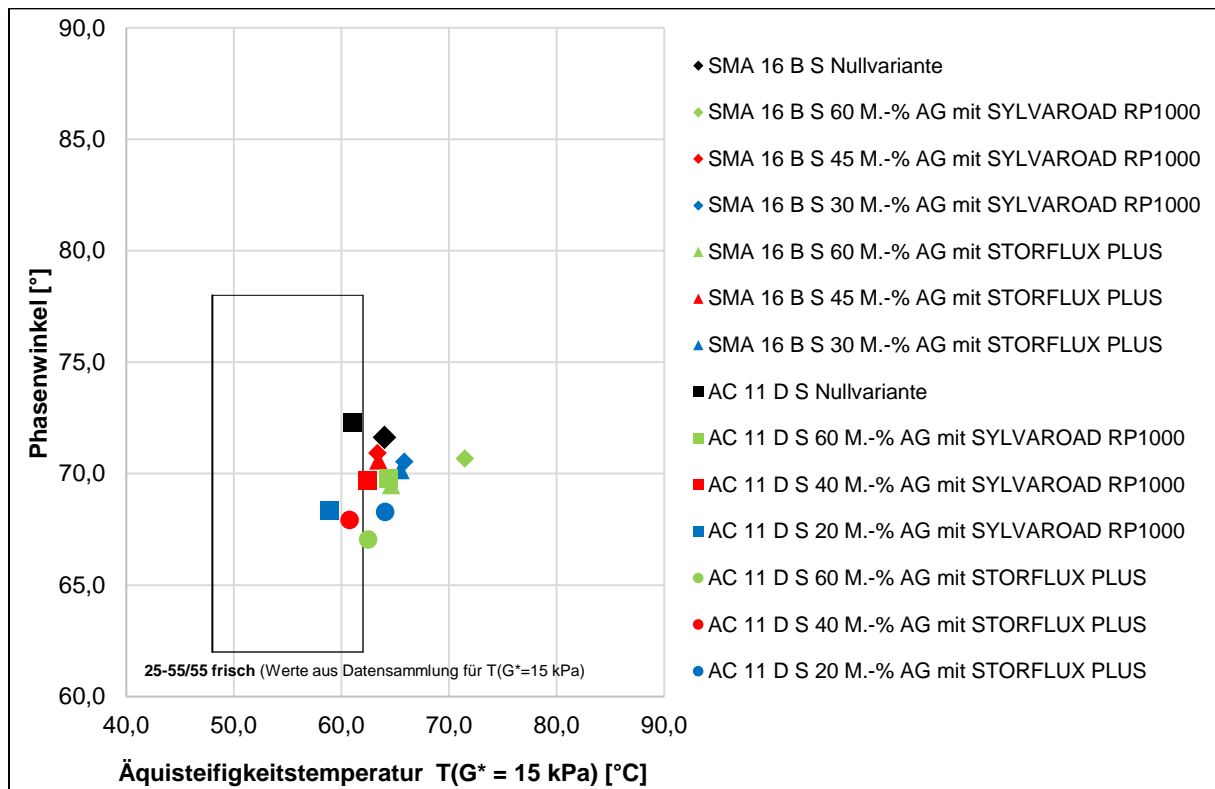


Abbildung 53: Äquisteifigkeitstemperatur $G^*(15 \text{ kPa})$ aller Varianten und der zugehörige Phasenwinkel

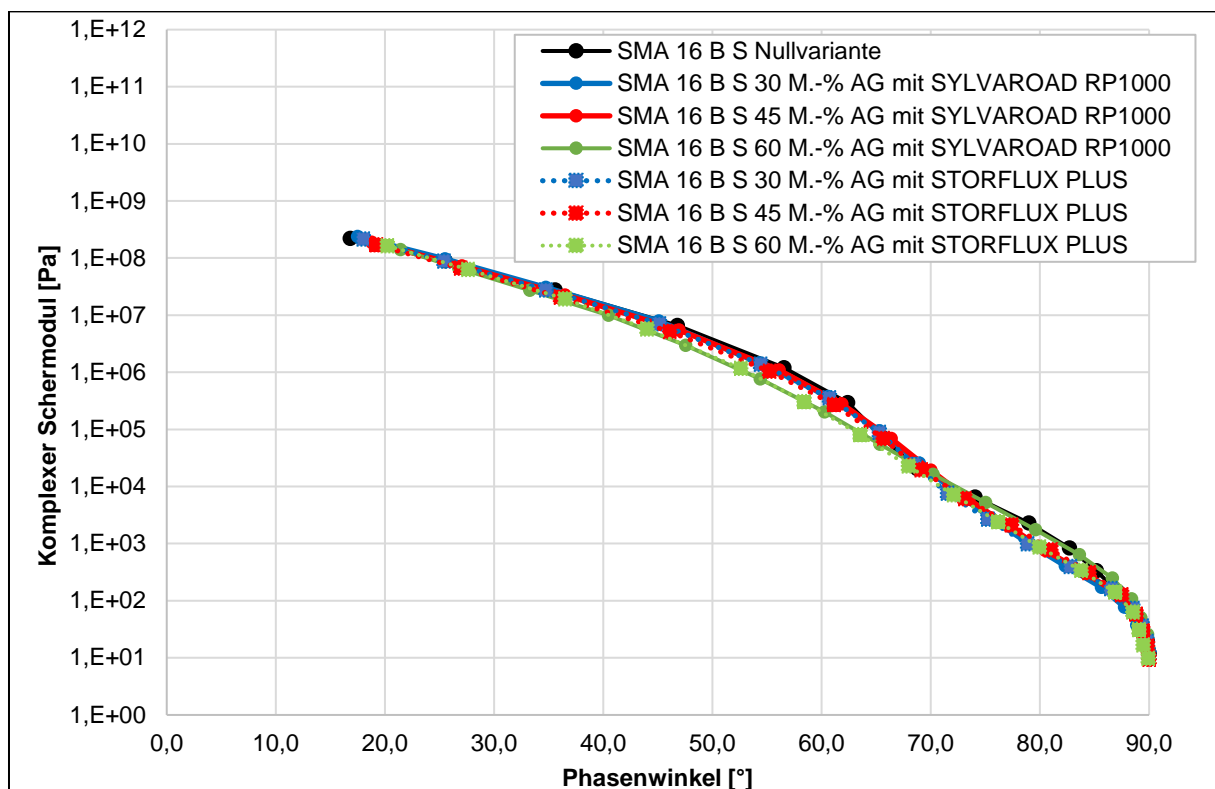


Abbildung 54: Black-Diagramm der rückgewonnenen Bindemittel aus den Asphaltbinder-gemischen

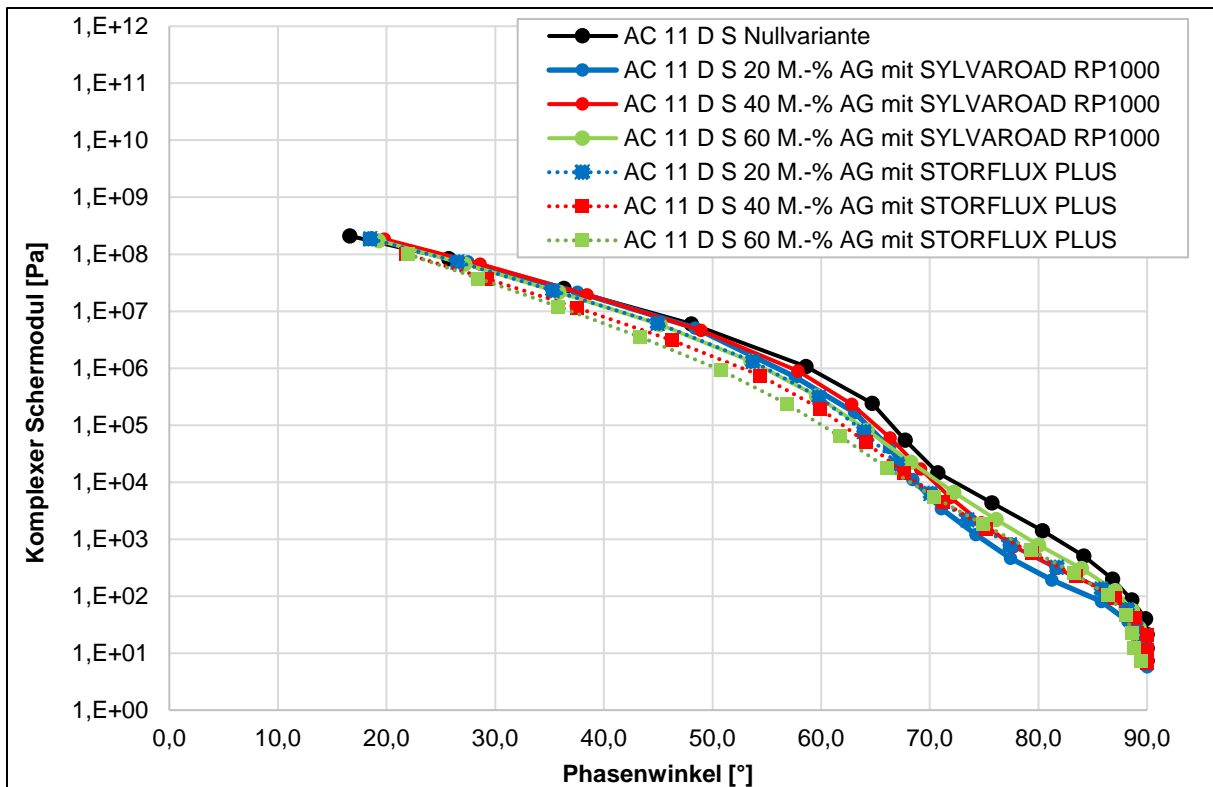


Abbildung 55: Black-Diagramm der rückgewonnenen Bindemittel aus den Asphaltdeckschichtgemischen

3.3.4 Ergebnisse des Spaltzug-Schwellversuches

An Bohrkernen aus den eingebauten Schichten wurden die Asphaltsteifigkeiten mittels Spaltzug-Schwellversuchs nach AL Sp-Asphalt 09 ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 44 bis Tabelle 57 zusammengefasst. Die nach AL Sp-Asphalt 09 berechneten Masterkurven sind in Abbildung 56 bis Abbildung 59 zu entnehmen.

Tabelle 44: Steifigkeiten SMA 16 B S Nullvariante

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	21.056	21.183	20.517	19.506	17.624	16.550
0	16.576	15.745	15.156	13.256	11.103	9.393
10	12.750	11.188	10.626	7.943	5.742	4.032
20	7.714	6.255	5.842	3.476	2.204	1.457

Tabelle 45: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	22.338	21.459	21.187	19.836	17.834	16.473
0	19.348	17.531	16.688	14.379	12.432	10.481
10	13.603	12.429	11.425	8.909	6.407	4.809
20	8.858	7.346	6.846	4.335	2.705	1.893

Tabelle 46: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	22.485	21.403	20.335	19.034	16.481	14.787
0	18.343	16.314	15.178	12.787	10.120	8.182
10	11.602	10.178	9.477	6.911	4.678	3.285
20	6.938	5.766	5.419	3.143	1.755	1.098

Tabelle 47: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	22.792	20.412	19.801	17.965	15.876	14.150
0	18.045	17.003	16.390	14.145	11.497	9.491
10	12.747	11.181	10.340	7.884	5.708	4.090
20	8.486	7.206	6.741	4.294	2.360	1.197

Tabelle 48: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	22.635	21.460	20.494	19.152	17.468	16.112
0	18.040	17.284	16.280	14.321	12.112	10.172
10	13.583	11.967	11.199	8.646	6.432	4.793
20	9.013	7.715	7.058	4.626	3.007	2.143

Tabelle 49: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	22.082	21.158	20.631	18.367	16.558	14.926
0	17.901	16.573	15.579	13.330	10.814	9.162
10	11.747	10.468	9.549	7.334	5.234	3.911
20	7.757	6.349	5.761	3.699	2.338	1.617

Tabelle 50: Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	20.056	18.502	17.638	15.962	13.846	12.156
0	14.828	13.206	12.276	10.166	7.972	6.388
10	9.242	7.819	7.214	5.255	3.541	2.514
20	5.379	4.435	4.093	2.334	1.329	825

Tabelle 51: Steifigkeiten AC 11 D S Nullvariante

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	21.376	20.161	19.816	18.261	16.391	14.766
0	16.908	14.989	14.389	11.906	9.621	7.953
10	11.297	9.883	9.095	6.569	4.518	3.313
20	6.797	5.603	5.196	3.073	1.841	1.183

Tabelle 52: Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	23.544	22.226	21.629	20.068	17.547	15.539
0	17.781	16.330	14.996	12.585	9.795	7.910
10	11.794	9.929	9.237	6.560	4.331	3.116
20	6.593	5.337	4.866	2.908	1.664	1.031

Tabelle 53: Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	22.525	21.235	20.254	18.421	16.362	13.974
0	17.610	15.982	14.845	12.521	9.790	7.919
10	11.407	9.988	9.015	6.320	4.096	2.835
20	6.765	5.558	5.207	2.975	1.661	1.113

Tabelle 54: Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	18.354	17.338	16.443	14.903	12.911	11.248
0	14.891	13.495	12.545	10.971	8.402	6.650
10	10.779	9.465	8.760	6.395	4.517	3.106
20	6.782	5.732	5.295	3.471	2.225	1.562

Tabelle 55: Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	22.097	21.355	20.644	18.614	16.155	14.456
0	17.245	15.360	14.657	11.984	9.464	7.677
10	11.124	9.566	8.804	6.253	4.186	2.894
20	6.741	5.497	5.285	3.071	1.840	1.243

Tabelle 56: Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
	[MPa]					
-10	19.730	18.139	17.556	15.685	12.973	11.482
0	13.802	12.547	11.821	9.339	7.107	5.577
10	8.576	7.234	6.695	4.506	2.921	2.022
20	4.731	3.839	3.674	1.972	1.028	585

Tabelle 57: Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG STORFLUX PLUS

Temperatur [°C]	Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Belastungsfrequenz					
	10 Hz	5 Hz	3 Hz	1 Hz	0,3 Hz	0,1 Hz
-10	18.788	17.532	16.805	14.609	12.546	10.445
0	13.538	12.014	10.939	8.800	6.784	5.265
10	8.947	7.669	7.168	5.074	3.593	2.627
20	5.535	4.650	4.285	2.750	1.734	1.135

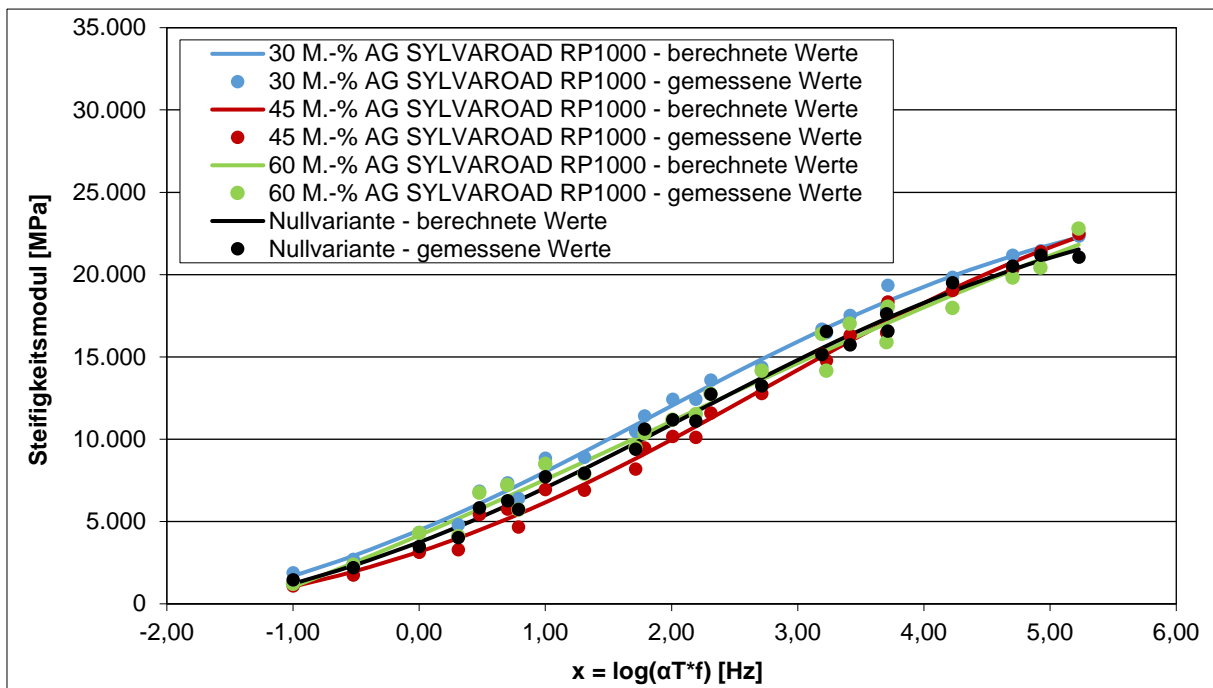


Abbildung 56: Masterkurve SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000

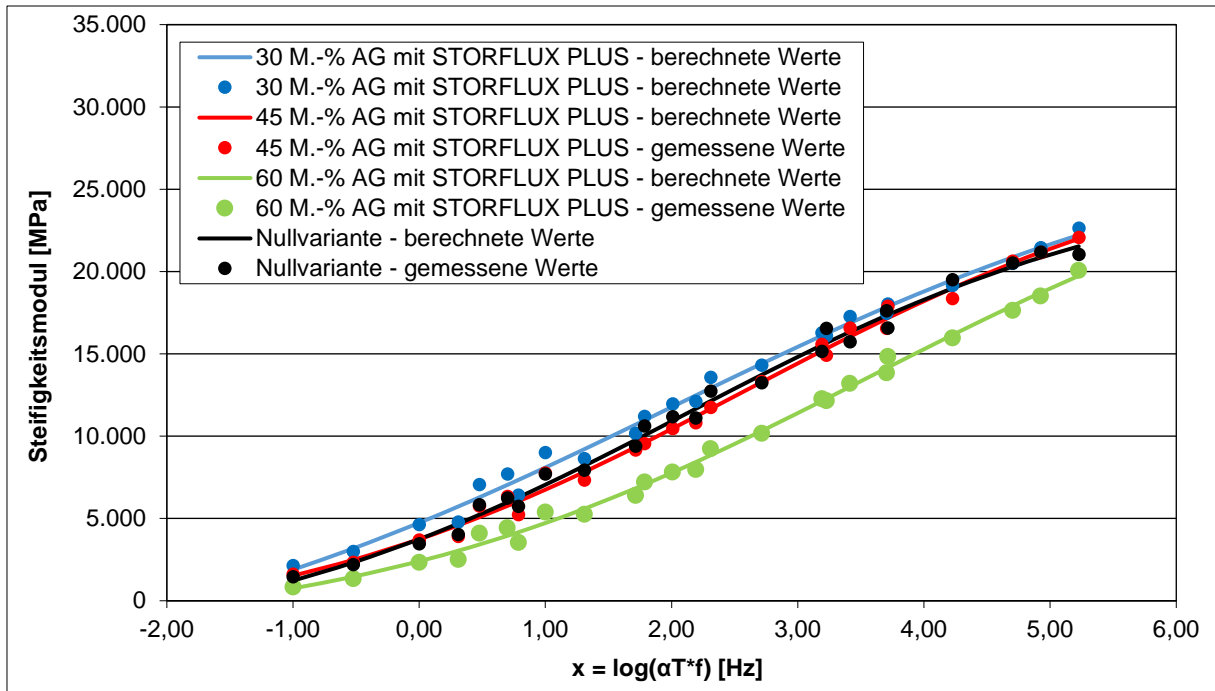


Abbildung 57: Masterkurve SMA 16 B S mit STORFLUX PLUS

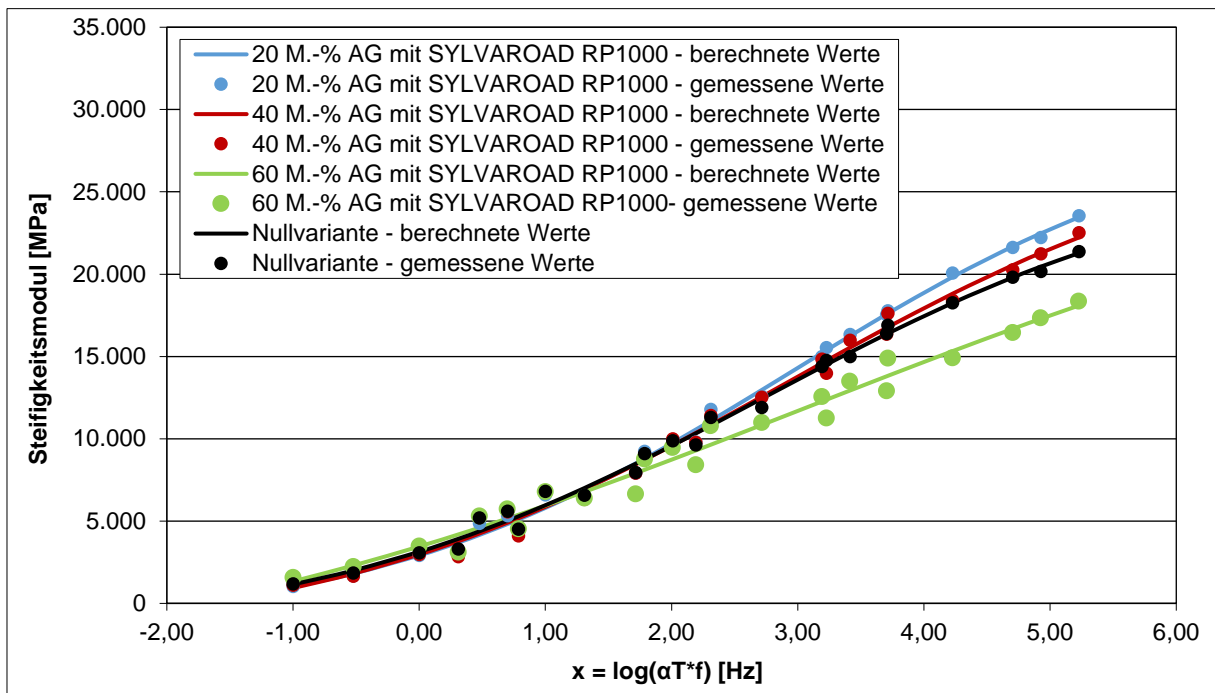


Abbildung 58: Masterkurve AC 11 D S mit SYLVAROAD RP1000

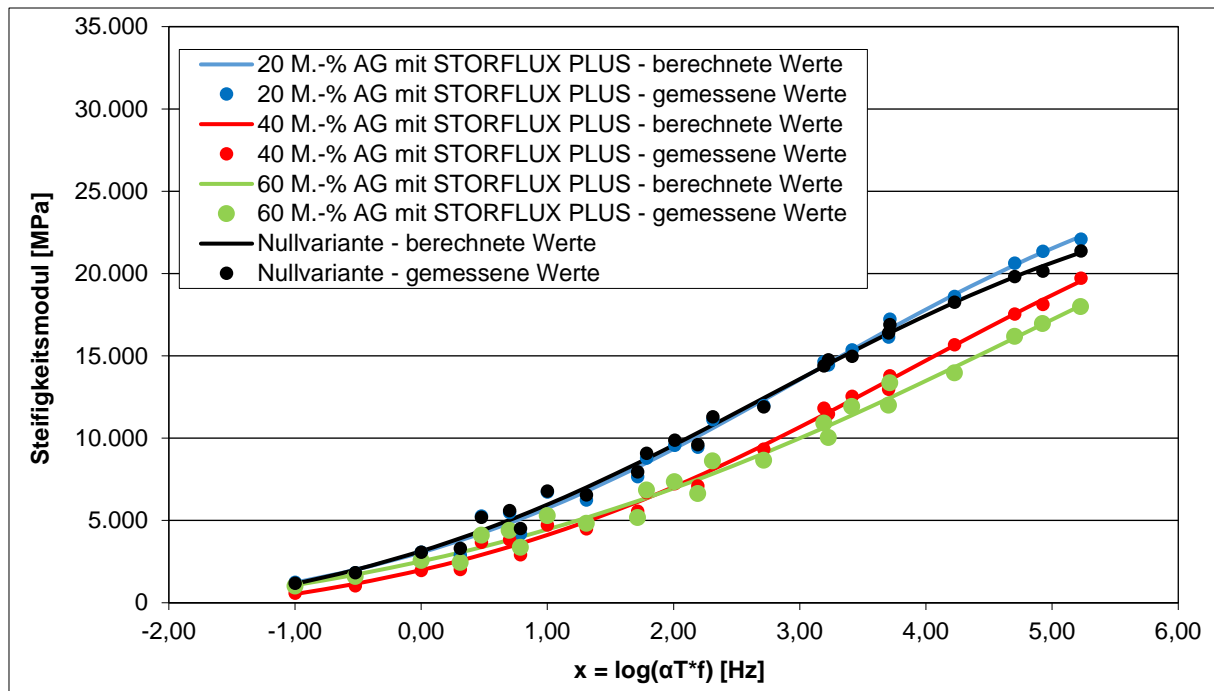


Abbildung 59: Masterkurve AC 11 D S mit STORFLUX PLUS

In Abbildung 60 und Abbildung 61 sind die Asphaltsteifigkeiten der Varianten der Asphaltbinder und Asphaltdeckschicht exemplarisch für eine Frequenz von 10 Hz dargestellt. Die Ergebnisse für $<-10\text{ °C}$ und $>20\text{ °C}$ wurden mit Hilfe der nach AL Sp-Asphalt 09 berechneten Hauptkurve extrapoliert und sind in den Abbildungen grau hinterlegt.

Bei den Ausbauproben der Asphaltbinderschicht liegt die Nullvariante mittig zwischen den Varianten mit 30 M.-% AG und 45 M.-% AG. Bei den rejuvenierten Varianten lässt sich eine abnehmende Steifigkeit mit Zunahme des AG-Anteils feststellen, wie es auch bei den untersuchten Ausbauproben der Asphaltdeckschicht zu beobachten ist. Die Ausnahme bildet die Asphaltbinder-Variante 60 M.-% AG mit SYLVAROAD RP1000. Die höheren Asphaltsteifigkeiten sind korrespondierend zu der ebenfalls erhöhten Bindemittelsteifigkeit dieser Variante. Ein Zusammenhang mit dem Rejuvenator ist nicht zu vermuten, da die beiden anderen Asphaltbinder-Varianten mit 30 M.-% und 45 M.-% AG mit diesem Rejuvenator und auch die rückgewonnenen Bindemittel dieser Gemische ein typisches Steifigkeitsverhalten aufweisen. Zudem weicht bei dieser Variante auch die Korngrößenverteilung deutlicher von den Sollvorgaben ab. Bei den Asphaltdeckschicht-Varianten besitzen die Varianten mit STORFLUX PLUS geringere Asphaltsteifigkeiten als die jeweilige Variante mit SYLVAROAD RP1000. Insbesondere die Steifigkeiten der Variante mit 40 M.-% AG und STORFLUX PLUS sind vergleichsweise gering, wobei sich diese Ergebnisse nicht durch geringere Bindemittelsteifigkeiten oder durch die Korngrößenverteilung erklären lassen.

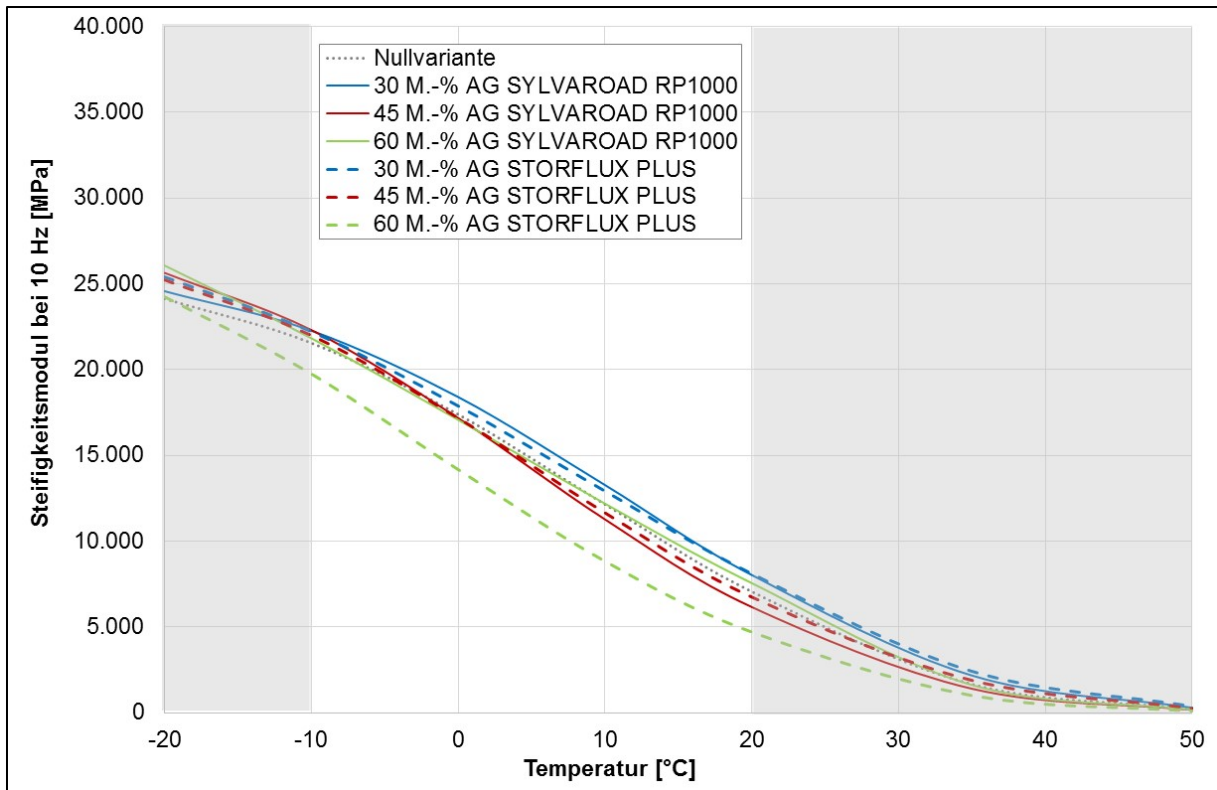


Abbildung 60: Temperatur-Stefigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltbinderschicht mit dem Rejuvenator SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS

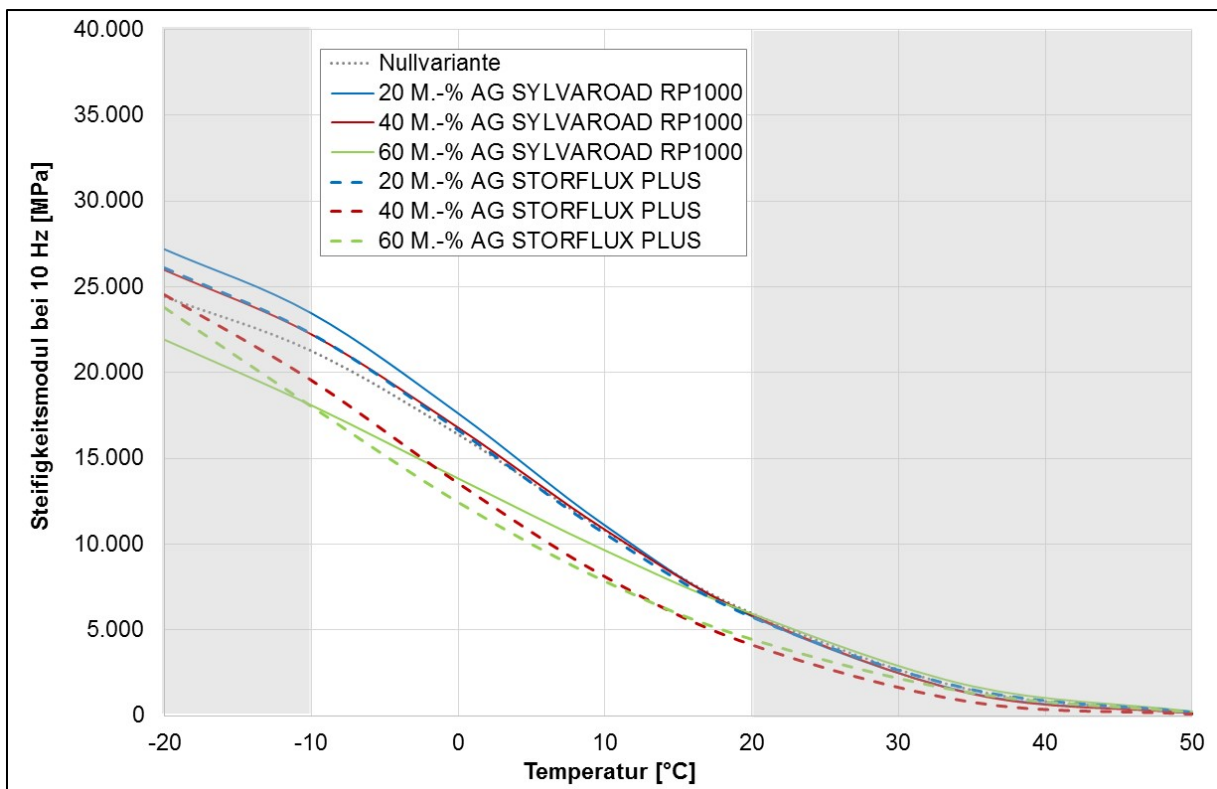


Abbildung 61: Temperatur-Stefigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltdeckschicht mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS

3.3.5 Ergebnisse des einaxialen Druck-Schwellversuches

Zur Beurteilung des Verformungsverhaltens der Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht-Varianten wurde der einaxiale Druck-Schwellversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 durchgeführt. Die Probekörper wurden aus den Asphaltmischgutproben (Eimerproben), die im Labor mit dem Walzsektor-Verdichter zu Platten hergestellt wurden, entnommen. Der Versuch endet nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 üblicherweise, wenn 10.000 Belastungszyklen erreicht werden oder eine Dehnung von 40 ‰ überschritten wird. In dieser Untersuchungsreihe wurde jedoch abweichend hierzu auch bei einem vorzeitigen Eintritt einer Dehnung von 40 ‰ der Versuch bis zum Erreichen von 10.000 Belastungszyklen fortgesetzt. Eine geringe Dehnungsrate ϵ^* und eine hohe Anzahl an Belastungszyklen weisen auf einen hohen Verformungswiderstand hin.

Die volumetrischen Kennwerte Fiktiver Hohlraumgehalt und Hohlraumausfüllungsgrad der geprüften Bohrkerne aus den Walzsektor-Verdichter-Platten sind in Tabelle 58 aufgeführt.

Beim SMA 16 B S ist die Verformungsbeständigkeit bei einem Anteil von ≤ 45 M.-% signifikant schlechter als bei der Nullvariante und den Varianten mit 30 M.-% AG. Das schlechtere Verformungsverhalten stellt sich jedoch direkt innerhalb der ersten Belastungszyklen ein, bei Betrachtung der Dehnungsrate zwischen 5.000 und 10.000 Belastungszyklen liegen diese auf einem vergleichbaren Niveau (siehe Abbildung 62 und Tabelle 59).

Beim AC 11 D S werden bei allen Varianten mit Asphaltgranulat und Rejuvenatoren bereits nach einer noch kürzeren Anzahl an Belastungszyklen Dehnungen von 40 ‰ erreicht. Die Dehnungsraten der Varianten mit 20 M.-% sowie 40 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 sind höher als die der jeweiligen Varianten mit dem Produkt STORFLUX PLUS. Jedoch sind auch hier wieder die ersten Belastungszyklen für das schlechte Verformungsverhalten ausschlaggebend.

In Bezug auf den Anteil an Asphaltgranulat und den beiden Produkten sind sowohl beim SMA 16 B S als auch beim AC 11 D S keine eindeutigen Reihungen festzustellen (siehe Abbildung 62 und Abbildung 63).

In der Regel wurden im Zuge der Kontrollprüfung höhere Dehnungen und geringere Belastungszyklen ermittelt als im Rahmen der Erstprüfung (siehe Kapitel 3.2.4).

In wie weit sich die schlechteren Werte zur Verformungsbeständigkeit der hier geprüften Varianten mit Asphaltgranulat und Rejuvenatoren in der Praxis bestätigen, werden die Ebenheitsmessungen in den nächsten Jahren zeigen.

Tabelle 58: Fiktiver Hohlraumgehalt und Hohlraumausfüllungsgrad der Varianten

Variante		Fiktiver Hohlraumgehalt [Vol.-%]	Hohlraumausfüllungsgrad VFB [%]
SMA 16 B S	Nullvariante	16,3	78,3
	30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	15,4	83,1
	45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	14,5	93,3
	60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	14,6	92,6
	30 M.-% AG STORFLUX PLUS	13,9	92,7
	45 M.-% AG STORFLUX PLUS	14,6	90,6
	60 M.-% AG STORFLUX PLUS	13,9	94,8
AC 11 D S	Nullvariante	16,7	85,5
	20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	17,7	86,4
	40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	17,6	86,3
	60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	17,2	85,8
	20 M.-% AG STORFLUX PLUS	17,3	86,0
	40 M.-% AG STORFLUX PLUS	17,6	86,2
	60 M.-% AG STORFLUX PLUS	16,6	85,4

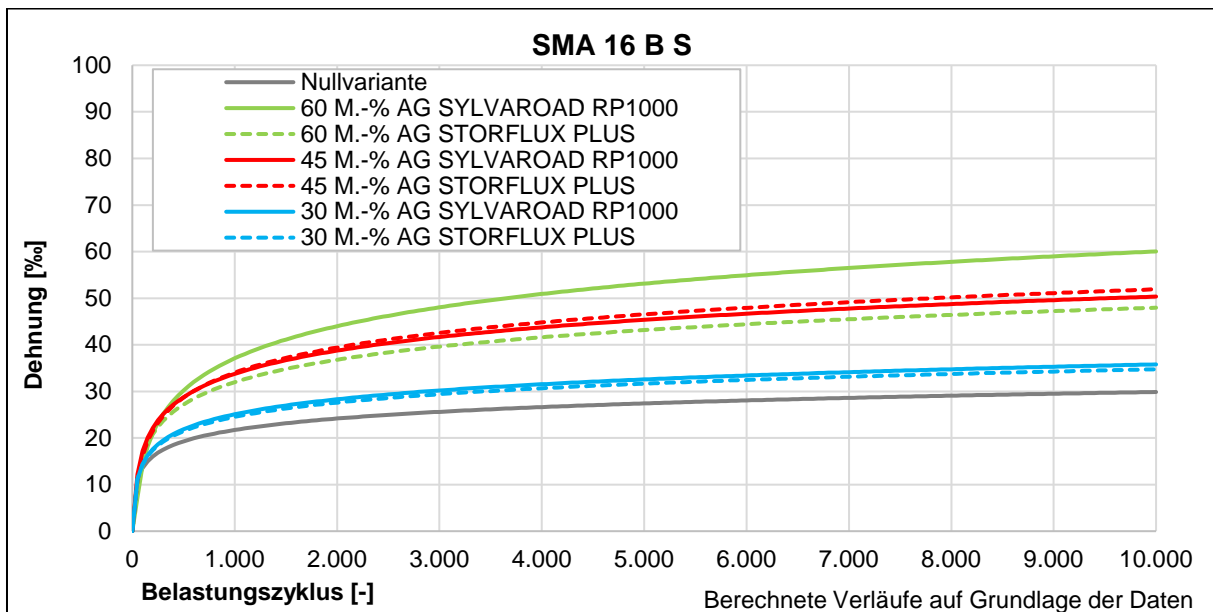


Abbildung 62: Werte für die bleibende Verformung in Abhängigkeit von der Anzahl der Belastungszyklen für die Asphaltbinderschicht

Tabelle 59: Zusammenfassung der Ergebnisse für den einaxialen Druck-Schwellversuch für die Asphaltbinderschicht mit beiden Rejuvenatoren

SMA 16 B S													
Zugabeanteil AG [M.-%]	Nullstrecke				Zugabeanteil AG [M.-%]	Rejuvenator							
						SYLVAROAD RP1000				STORFLUX PLUS			
	Anz. B.Zy.	ϵ_n	ϵ^*	$\epsilon_{10.000}^*$		Anz. B.Zy.	ϵ_n	ϵ^*	$\epsilon_{10.000}^*$	Anz. B.Zy.	ϵ_n	ϵ^*	$\epsilon_{10.000}^*$
[-]	[‰]	[‰*10 ⁻⁴ /n]		[-]	[‰]	[‰*10 ⁻⁴ /n]		[-]	[‰]	[‰*10 ⁻⁴ /n]			
0	10.000	29,9	0,2	0,2	30	10.000	35,8	0,3	0,3	10.000	34,7	0,3	0,3
					45	2.531	40,0	1,9	0,4	2.169	40,0	2,2	0,5
					60	1.338	40,0	4,4	0,6	3.319	40,0	1,4	0,4

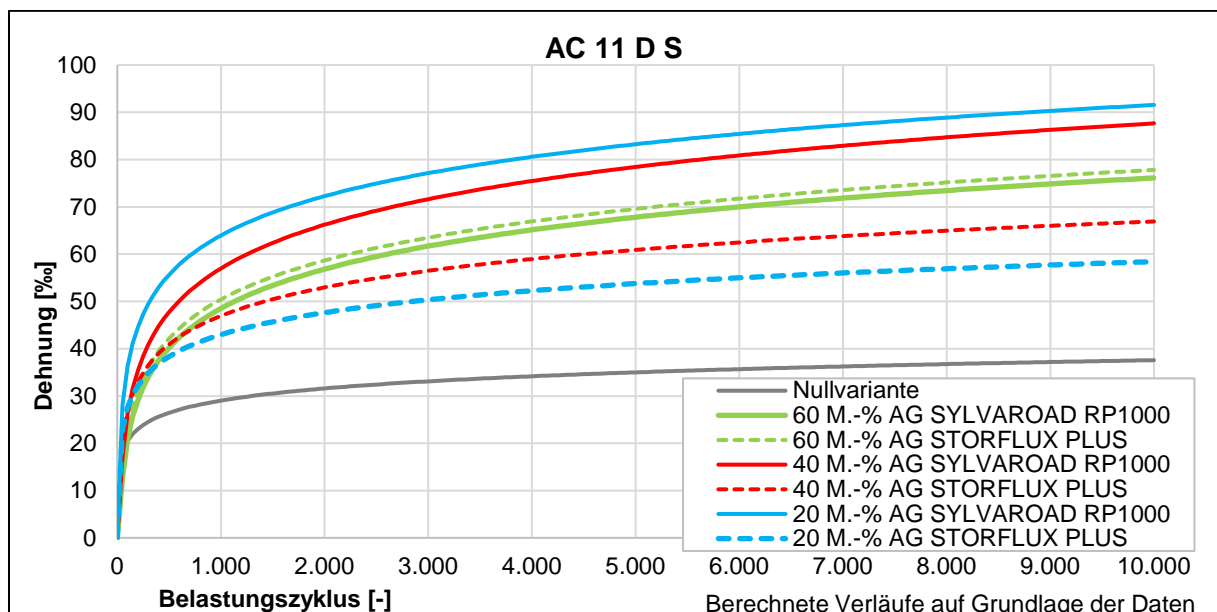


Abbildung 63: Werte für die bleibende Verformung in Abhängigkeit von den Belastungszyklen für die Asphaltdeckschicht

Tabelle 60: Zusammenfassung der Ergebnisse für den einaxialen Druck-Schwellversuch für die Asphaltdeckschicht mit beiden Rejuvenatoren

AC 11 D S													
Zugabeanteil AG [M.-%]	Nullstrecke				Zugabeanteil AG [M.-%]	Rejuvenator							
						SYLVAROAD RP1000				STORFLUX PLUS			
	Anz. B.Zy.	ϵ_n	ϵ^*	$\epsilon_{10.000}^*$		Anz. B.Zy.	ϵ_n	ϵ^*	$\epsilon_{10.000}^*$	Anz. B.Zy.	ϵ_n	ϵ^*	$\epsilon_{10.000}^*$
[-]	[‰]	$[\% \cdot 10^{-4}/n]$		[-]	[‰]	$[\% \cdot 10^{-4}/n]$		[-]	[‰]	$[\% \cdot 10^{-4}/n]$			
0	10.000	37,6	0,2	0,2	20	124	40	58,7	0,7	642	40	6,3	0,4
					40	859	40	25,8	0,8	550	40	12,2	0,5
					60	491	40	14,7	0,7	418	40	16,8	0,7

3.3.6 Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit

Die Ergebnisse der Wasserempfindlichkeit nach TP Asphalt-StB, Teil 12, ausgedrückt durch den Spaltzugfestigkeitsabfall nach Wasserlagerung, sind in Abbildung 64 und Abbildung 65 vergleichend dargestellt. Die MPK wurden aus dem Asphaltmischgut, welches beim Einbau entnommen wurde, im Labor hergestellt. Sowohl beim Asphaltbinder SMA 16 B S als auch bei der Asphaltdeckschicht wurden auch unter Berücksichtigung der Präzision des Verfahrens vergleichbare ITSR-Werte zwischen den Varianten mit Asphaltgranulat sowie Rejuvenatoren und der Nullvariante ermittelt. Nur die Variante SMA 16 B S mit 30 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 liefert etwas geringere Werte. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Erstprüfung (siehe Kapitel 3.2.5) wurden im Rahmen der Kontrollprüfung höhere ITSR-Werte und somit eine etwas geringere Wasserempfindlichkeit festgestellt.

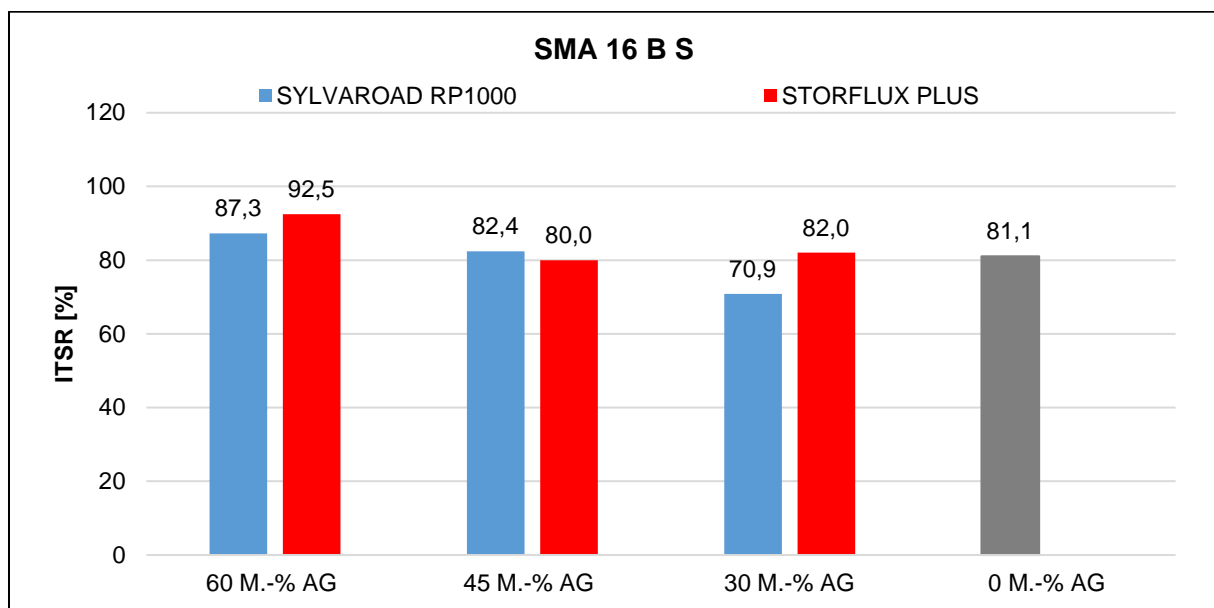


Abbildung 64: Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltbinderschicht-Varianten

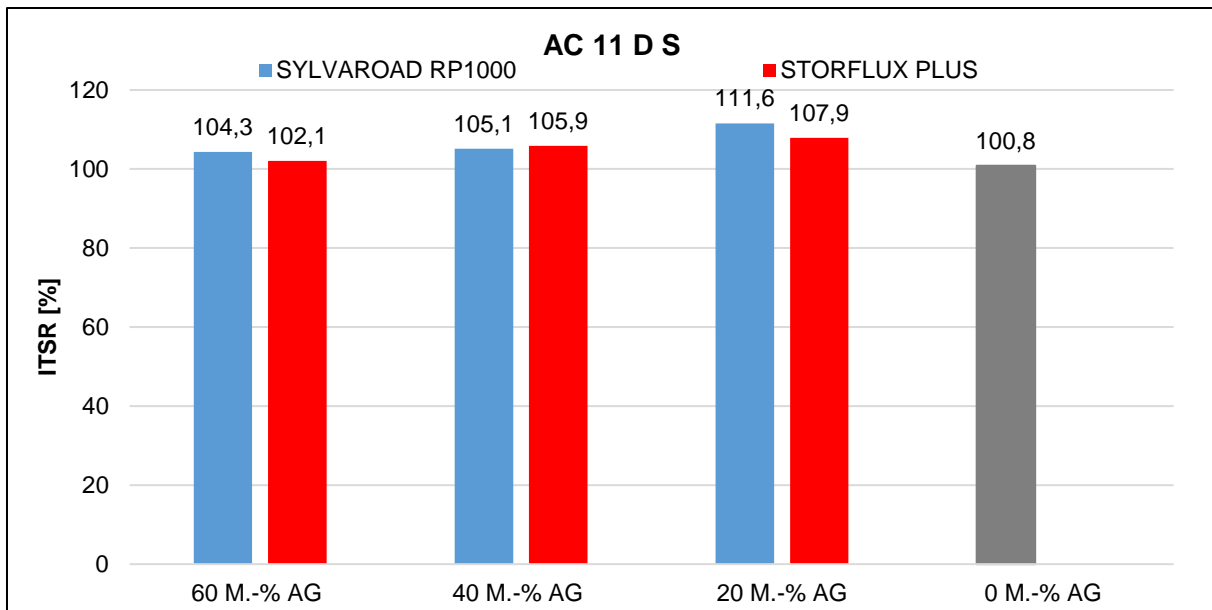


Abbildung 65: Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltdeckschicht-Varianten

3.3.7 Ergebnisse zu den Kälteeigenschaften

Im Rahmen der erweiterten Kontrollprüfung wurde auch das Kälteverhalten untersucht. Dazu wurden einaxiale Zug- und Abkühlversuche nach TP Asphalt-StB, Teil 46 A durchgeführt. Die aus Platten geschnittenen Prismen wurden im Labor aus dem Asphaltmischgut der Strecke mit dem Walzsektor-Verdichter hergestellt. Aus den Ergebnissen der einaxialen Zug- und Abkühlversuche wurde zudem die Zugfestigkeitsreserve berechnet. Die Ergebnisse sind der Abbildung 66 bis Abbildung 71 zu entnehmen. Werden die Orientierungswerte aus dem Arbeitspapier „Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche“ (siehe Veröffentlichung Teil 1) zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen, weisen alle Varianten ein für die Frostempfindlichkeitsklasse I positives Kälteverhalten auf. Bei den Varianten mit Asphaltgranulat und Rejuvenatoren wurden niedrigere Bruchtemperaturen und eine höhere Zugfestigkeitsreserve ermittelt. Bei dem Produkt STORFLUX PLUS nimmt die Bruchtemperatur mit zunehmendem AG-Anteil ab. Die Varianten mit dem Produkt SYLVAROAD RP1000 weisen unabhängig vom AG-Anteil vergleichbare Bruchtemperaturen auf. Die Ausnahme bildet auch hier die Variante SMA 16 B S mit 60 M.-% AG. Aufgrund der höheren Bindemittelsteifigkeit, die vermutlich ein schlechteres Relaxationsverhalten zur Folge hat, wurde hier eine etwas höhere Bruchtemperatur ermittelt, die aber immer noch für ein gutes Kälteverhalten steht. Im Vergleich zu den Ergebnissen aus der erweiterten Erstprüfung (siehe Kapitel 3.2.6) wurden im Rahmen der erweiterten Kontrollprüfung höhere Zugfestigkeitsreserven und geringere korrespondierende Temperaturen berechnet.

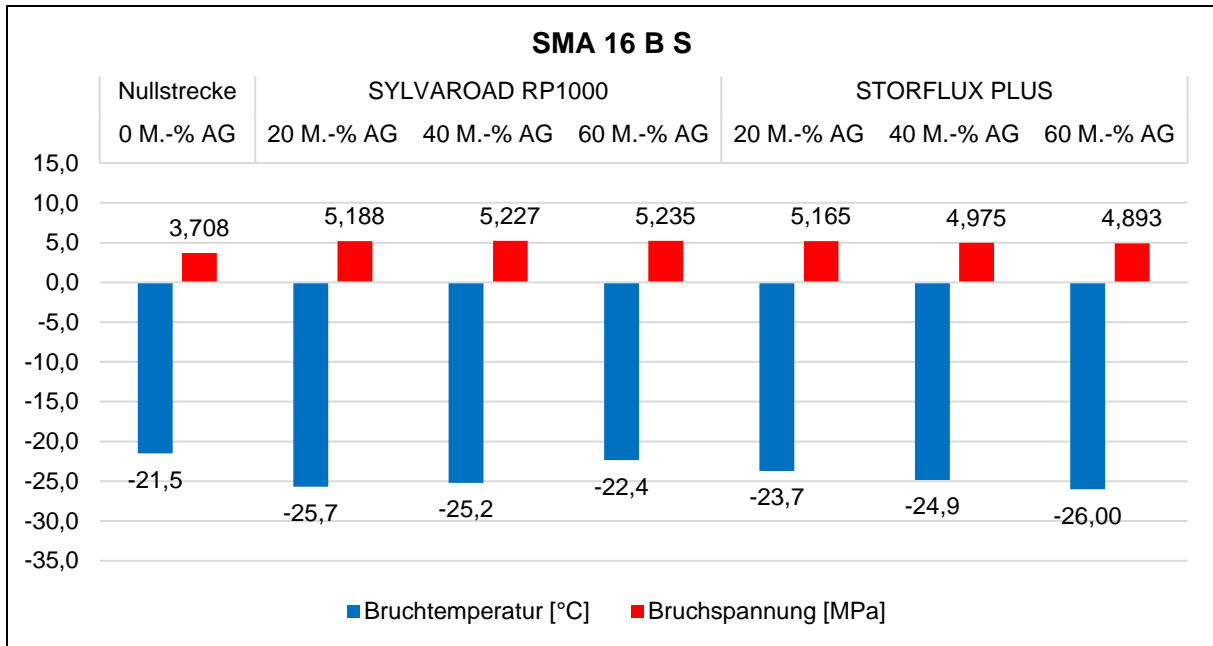


Abbildung 66: Darstellung der Bruchtemperatur und -spannung für die Asphaltbinderschicht-Varianten

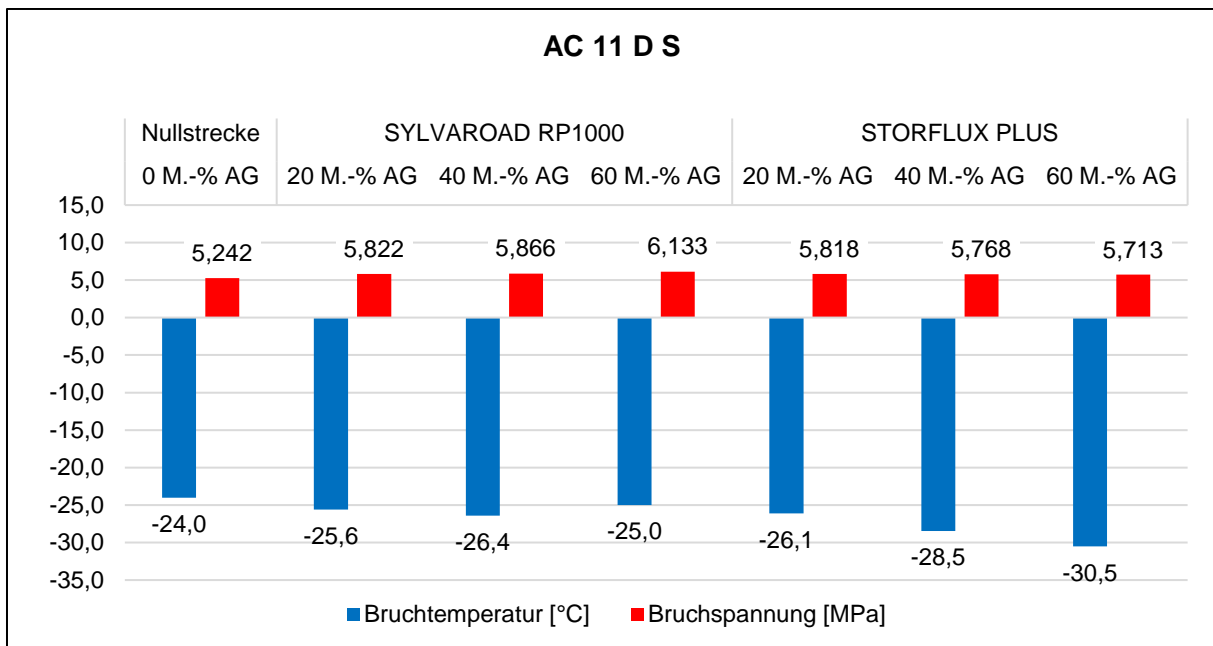


Abbildung 67: Darstellung der Bruchtemperatur und -spannung für die Asphaltdeckschicht-Varianten

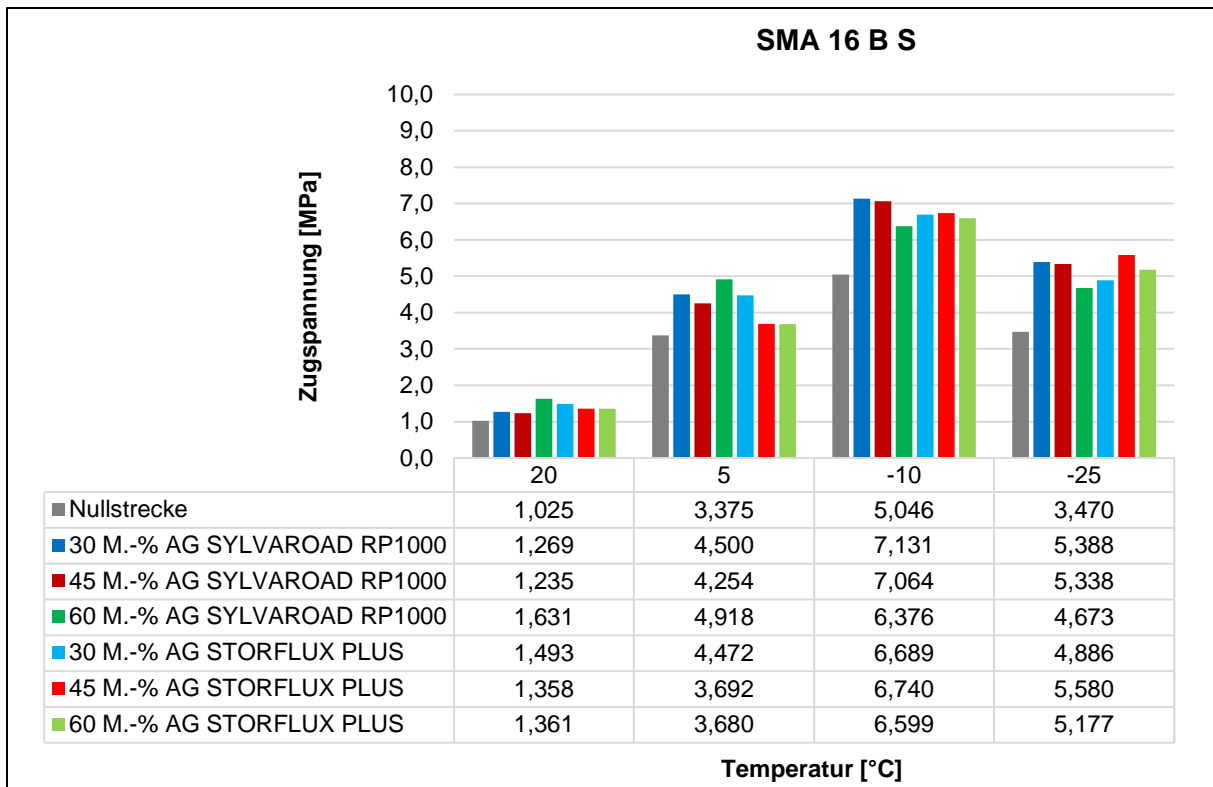


Abbildung 68: Ergebnisse der Zugversuche für die Asphaltbinderschicht-Varianten

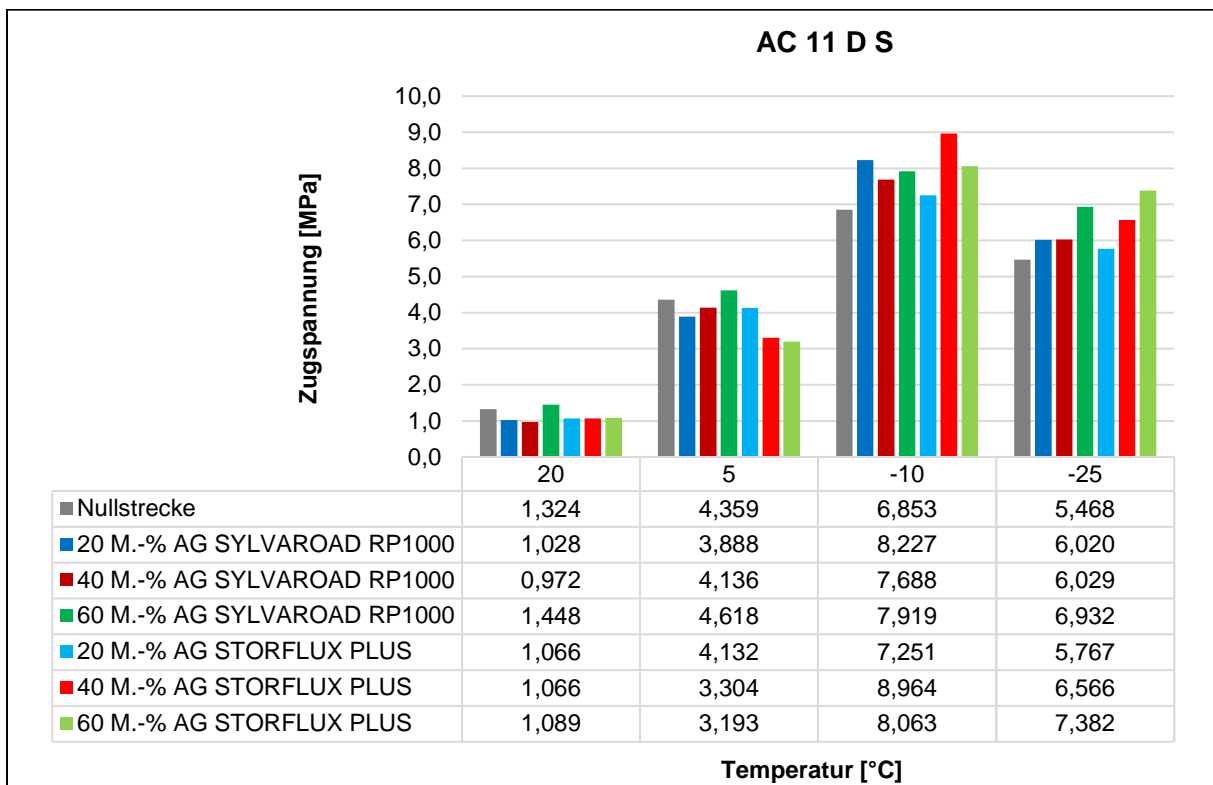


Abbildung 69: Ergebnisse der Zugversuche für die Asphaltdeckschicht-Varianten

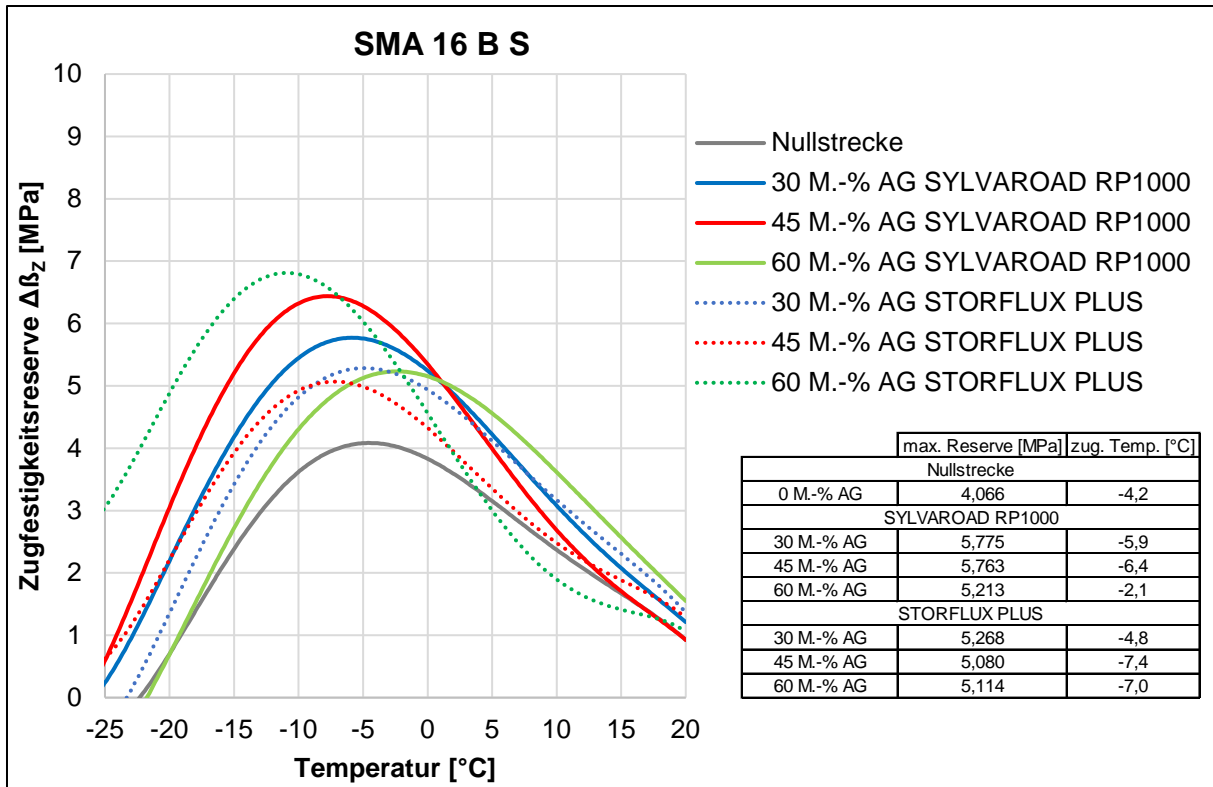


Abbildung 70: Darstellung der Zugfestigkeitsreserven für die Asphaltbinderschicht-Varianten

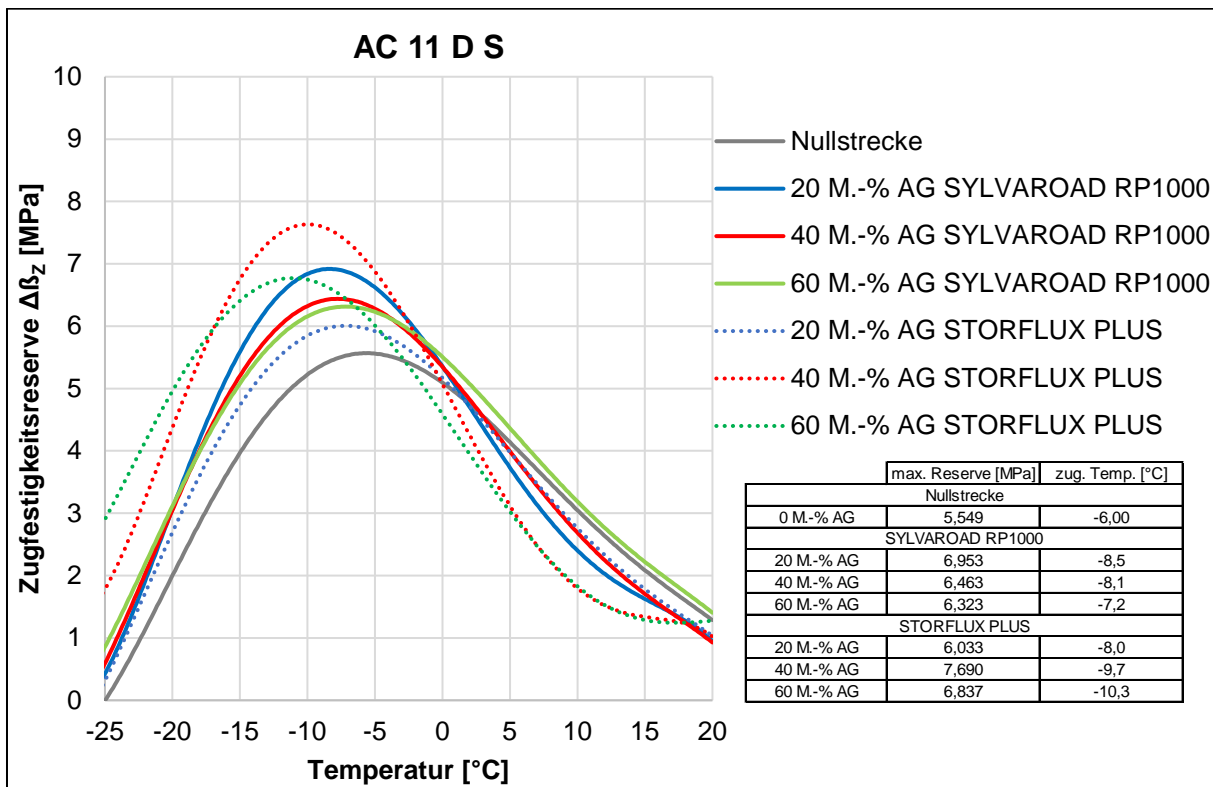


Abbildung 71: Darstellung der Zugfestigkeitsreserven für die Asphaltdeckschicht-Varianten

3.4 Weitere Untersuchungen

Durch den LBM Speyer wurden über die am Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum durchgeführten Untersuchungen hinaus noch die Messung der Ebenheit und der Griffigkeit in Auftrag gegeben. Die Ergebnisse wurden dem Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum vom LBM zur Verfügung gestellt.

3.4.1 Ebenheitsmessungen

Die Messung der Ebenheit der verschiedenen Bauabschnitte erfolgte durch „Stutz GmbH“ mithilfe eines Planografers gemäß TP Eben - Berührende Messungen am 14.08.2017.

Die grafischen Darstellungen der Messergebnisse aus dem Bericht der „Stutz GmbH“ sind im Anhang 2 aufgeführt.

3.4.2 Griffigkeitsmessungen

Die Messungen der Griffigkeit gemäß TP Griff-StB (SKM) erfolgten am 20.06.2018 durch die Prüfstelle „Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH“. Entsprechend des Berichtes der Prüfstelle erfüllen die ermittelten geschwindigkeits- und temperaturkorrigierten Werte die Anforderungen. Die Ergebnisse für den Hauptfahrstreifen in Fahrtrichtung Feuerberg sind in Abbildung 72 und in Fahrtrichtung Bad Dürkheim in Abbildung 73 dargestellt. Die Messungen erfolgten in dem Bereich von Station 0+045 bis 1+813, die Versuchsstrecke endet bei Station 1+641 (siehe Tabelle 39).

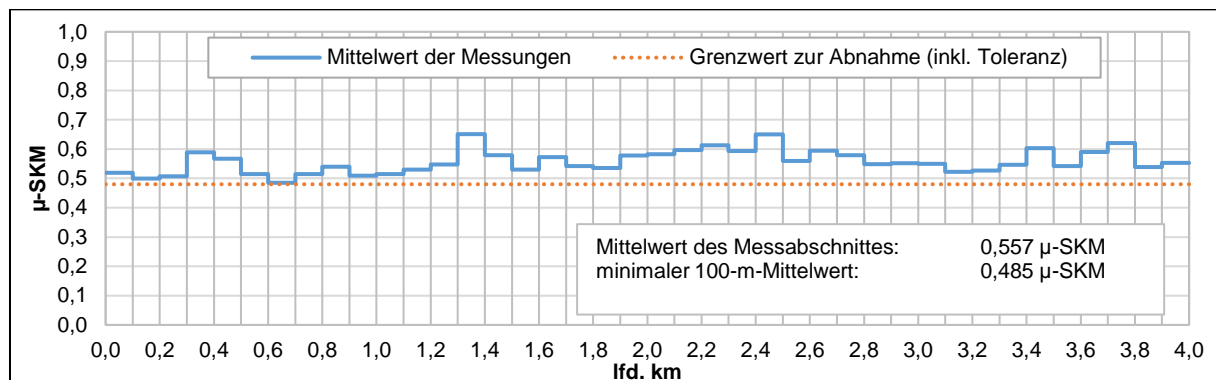


Abbildung 72: B 37 1 HFS Bad Dürkheim - Feuerberg, Messergebnis (Mittelwert aus 1. und 2. Messfahrt) in 100 m-Abschnitten nach (Prüfbericht-Nr. G-18111-I-BJ/AK 2018)

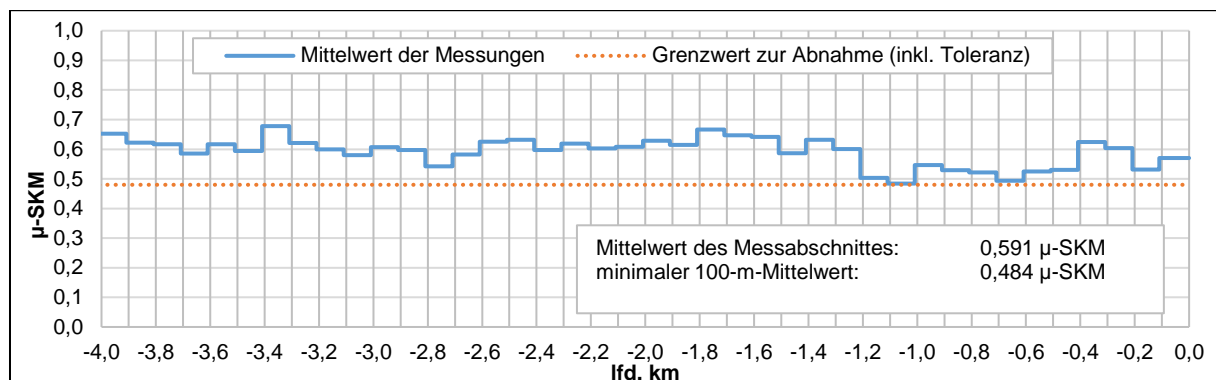


Abbildung 73: HFS Feuerberg - Bad Dürkheim, Messergebnis (Mittelwert aus 1. und 2. Messfahrt) in 100 m-Abschnitten nach (Prüfbericht-Nr. G-18111-I-BJ/AK 2018)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum wurde vom LandesBetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz mit der Erstellung von erweiterten Erstprüfungen für die Erneuerung der Bundesstraße B37, Bad Dürkheim sowie mit erweiterten Kontrollprüfungen beauftragt. Bei der Erneuerung wurde der Einsatz von den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 (Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen) und STORFLUX PLUS (mineralölbasiertes Produkt) in der Asphaltdeckschicht und der Asphaltbinderschicht und zugleich der Einfluss verschiedener Asphaltgranulat-Anteile auf die Asphalteigenschaften erprobt. Folgende Varianten kamen dabei unter der Verwendung beider Rejuvenatoren zum Einsatz:

- SMA 16 B S mit 30 M.-% Asphaltgranulat
- SMA 16 B S mit 45 M.-% Asphaltgranulat
- SMA 16 B S mit 60 M.-% Asphaltgranulat
- AC 11 D S mit 20 M.-% Asphaltgranulat
- AC 11 D S mit 40 M.-% Asphaltgranulat
- AC 11 D S mit 60 M.-% Asphaltgranulat
- Nullvariante ohne Asphaltgranulat

Die Erstprüfung der Nullvariante wurde von der Basalt-Actien-Gesellschaft erstellt. Zusätzlich zu den Untersuchungen einer Erstprüfung und Kontrollprüfung nach ZTV Asphalt-StB 07/13 wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Untersuchung der zwei Asphaltgranulate (Asphaltdecke und Asphaltbinder):
Korngrößenverteilung, Bindemittelgehalt und Bindemittleigenschaften (Erweichungspunkt Ring und Kugel, komplexer Schermodul und Phasenwinkel im Temperaturbereich von -10 °C bis +150 °C)
- Festlegung der Zugabemengen der beiden Rejuvenatoren:
Bestimmung der Bindemittleigenschaften bei jeweils drei unterschiedlichen Zugabemengen, Alterung der Bindemittelgemische (RTFOT und PAV) und erneute Bestimmung der Bindemittleigenschaften
- Ermittlung der Temperatur-Steifigkeitsfunktion nach AL Sp-Asphalt 09
- Einaxialer Druck-Schwellversuch zur Bestimmung des Verformungsverhaltens gemäß TP Asphalt-StB, Teil 25 B1
- Bestimmung der Wasserempfindlichkeit (ITSR) der Asphaltgemische nach TP Asphalt-StB, Teil 12
- Ermittlung des Kälteverhaltens:
Einaxialer Zugversuch (4 Temperaturen) und Abkühlversuch nach TP Asphalt-StB, Teil 46 A

Im Rahmen der Vorversuche zur Festlegung der finalen Zugabemenge der beiden Rejuvenatoren wurde festgestellt, dass die Wirkungsweise für das Produkt STORFLUX PLUS unter den hier gewählten Randbedingungen zur Herstellung der Bindemittelgemische im Labor nicht mit der gleichen Wirkungsweise abgebildet wird, wie sie bei Probemischungen an der Asphaltmischanlage und auch später im Rahmen der Erprobungsstrecke festgestellt wurde.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass individuelle Vorversuche mit drei verschiedenen Zugabemengen von Rejuvenatoren zur Festlegung der zum Einsatz kommenden Zugabemenge für jedes Asphaltgranulat in jedem Fall sinnvoll sind. Trotz vergleichbarer Äquisteifigkeitstemperaturen der beiden Asphaltgranulate (AG Decke und AG Binder) wurden bei dem Asphaltgranulat, welches für die Asphaltdeckschicht verwendet wurde, zur Erreichung gleicher Äquisteifigkeitstemperaturen nach der Verjüngung höhere Zugabemengen bei beiden Produkte benötigt.

Untersuchungen zum Alterungsverhalten der Bindemittelgemische zeigen, dass nach der Kurzzeitalterung (RTFOT) beide Produkte bei Berücksichtigung der Verfahrenspräzision untereinander und im Vergleich zum Alterungsverhalten der Bindemittel aus den Asphaltgranulaten ein vergleichbares Alterungsverhalten aufweisen. Nach der Langzeitalterung (PAV) wird beim Produkt STORFLUX PLUS eine stärkere Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur und Abnahme des Phasenwinkels festgestellt, die auch tendenziell bei zunehmender Zugabemenge ansteigen.

Die Performance-Untersuchungen an den Asphaltgemischen im Rahmen der erweiterten Erstprüfung zeigen keinen eindeutigen Einfluss des Anteils an Asphaltgranulat sowie der beiden Rejuvenatoren auf die jeweiligen Asphalteeigenschaften.

Die Bindemitteluntersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel aus der Baumaßnahme zeigen, dass der Grenzwert eines 25/55-55 für den Erweichungspunkt Ring und Kugel in allen Fällen eingehalten wird. Die Bindemittelsteifigkeiten, ausgedrückt in Form der Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^* = 15 \text{ kPa}$, liegen mit Ausnahme einer Variante nahezu auf einem Niveau. Die Ergebnisse der elastischen Rückstellung und auch die Darstellung der DSR-Kennwerte – komplexer Schermodul und Phasenwinkel – im Black-Diagramm zeigen den abnehmenden Polymeranteil im Bitumen mit zunehmendem Anteil an Asphaltgranulat; der Wert der elastischen Rückstellung wird reduziert und der Graph im Black-Diagramm verläuft zunehmend stetig. Insbesondere bei der Asphaltdeckschicht nehmen die Phasenwinkel und damit die viskosen Anteile im Bindemittel mit zunehmendem AG-Anteil ab, dies ist auch auf die geringere Menge an frisch zugegebenem PmB 25/55-55 RC zurückzuführen.

Das Black-Diagramm dient weiterhin dazu die Wirkungsweise von Rejuvenatoren zu beschreiben. Die Ergebnisse am rückgewonnenen Bindemittel aus der Baumaßnahme zeigen, dass die Produkte SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS die Bindemiteleigenschaften in gleichem Maße beeinflussen.

Durch die Verwendung der beiden Produkte werden somit höhere Zugabemengen an Asphaltgranulat ermöglicht.

Bei den Performance-Untersuchungen am Asphaltmischgut aus der Erprobungsstrecke wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Bei den rejuvenierten Varianten aus SMA 16 B S lässt sich eine abnehmende Steifigkeit mit Zunahme des Anteils an Asphaltgranulat feststellen, wie es auch bei den untersuchten Ausbauproben der Asphaltdeckschicht zu beobachten ist.
- Im Vergleich zur Nullvariante ohne Asphaltgranulat wird ein schlechteres Verformungsverhalten der Varianten mit Asphaltgranulat und Rejuvenatoren im einaxialen Druck-

Schwellversuch ermittelt. Das schlechtere Verformungsverhalten stellt sich jedoch direkt innerhalb der ersten Belastungszyklen ein, bei Betrachtung der Dehnungsrate zwischen 5.000 und 10.000 Belastungszyklen liegen diese auf einem vergleichbaren Niveau. In der Regel wurden im Zuge der Kontrollprüfung höhere Dehnungen ermittelt als im Rahmen der Erstprüfung.

- Hinsichtlich der Wasserempfindlichkeit der Asphaltgemische wurden sowohl beim Asphaltbinder SMA 16 B S als auch bei der Asphaltdeckschicht auch unter Berücksichtigung der Präzision des Verfahrens vergleichbare ITSR-Werte zwischen den Varianten mit Asphaltgranulat sowie Rejuvenatoren und der Nullvariante ermittelt. Nur die Variante SMA 16 B S mit 30 M.-% AG und SYLVAROAD RP1000 liefert etwas geringere Werte. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Erstprüfung wurden im Rahmen der Kontrollprüfung höhere ITSR-Werte und somit eine etwas geringere Wasserempfindlichkeit festgestellt.
- Alle Varianten weisen ein unkritisches Kälteverhalten auf. Bei den Varianten mit Asphaltgranulat und Rejuvenatoren wurden niedrigere Bruchtemperaturen und eine höhere Zugfestigkeitsreserve ermittelt. Bei dem Produkt STORFLUX PLUS nimmt die Bruchtemperatur mit zunehmendem AG-Anteil und somit zunehmendem Anteil an STORFLUX PLUS ab. Die Varianten mit dem Produkt SYLVAROAD RP1000 weisen unabhängig vom AG-Anteil vergleichbare Bruchtemperaturen auf.

Zur Gewinnung von Langzeiterfahrungen mit Rejuvenatoren sollte die Erprobungsstrecke in den nächsten Jahren weiterhin beobachtet und in sinnvollen Zeitabständen untersucht werden. So können z.B. Ebenheitsmessungen in Querrichtung in den nächsten Jahren zeigen, in wie weit sich die schlechteren Werte zur Verformungsbeständigkeit der hier geprüften Varianten mit Asphaltgranulat und Rejuvenatoren ermittelt durch den einaxialen Druck-Schwellversuch in der Praxis bestätigen. Der Einfluss der Langzeitalterung auf die Eigenschaften der Bindemittelgemische sollte ebenfalls durch Untersuchungen im DSR analysiert werden.

5 Literaturverzeichnis

Entwurf TP Asphalt-StB, Teil 26 A: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 26 A: Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit, Entwurf Sept. 2016

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (2009): AL Sp-Asphalt 09: Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung, Ausgabe 2009. FGSV-Nr. 430, FGSV Verlag, Köln

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (2012): AP Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Arbeitspapier Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche, Ausgabe 2012. FGSV-Nr. 725, FGSV Verlag, Köln

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (2012): TP Asphalt-StB, Teil 25 B1: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 25 B1: Einaxialer Druck-Schwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme, Ausgabe 2012. FGSV-Nr. 756/25 B1, FGSV Verlag, Köln

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (2013): TP Asphalt-StB, Teil 46 A: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 46 A: Kälteeigenschaften – Einaxialer Zugversuch und Abkühlversuch, Ausgabe 2013. FGSV-Nr. 756/46 A, FGSV Verlag, Köln

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (2015): Hinweise für die Planung und Ausführung von Alternativen Asphaltbinderschichten (H AI ABi), Ausgabe 2015. FGSV-Nr. 737, FGSV Verlag, Köln

Chemisch Technisches Laboratorium Heinrich Hart GmbH: Prüfbericht-Nr. G-18111-I-BJ/AK, 29.06.2018

Radenberg, M., Nytus, N., Gehrke, M.: Einfluss der chemischen, rheologischen und physikalischen Grundeigenschaften von Straßenbaubitumen auf das Adhäsionsverhalten unterschiedlicher Gesteinskörnungen, IGF-Vorhaben 16639 N/1, 2014

Radenberg, M.; Flottmann, N.; Drewes, B.; König, M.; Hilfert, T.: Datentechnische Erfassung und Auswertung von Prüfdaten und Erfahrungssammlung. Schlussbericht zum FE 29.0327/2013/BASSt, 2017, unveröffentlicht

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzip des Spaltzug-Schwellversuchs (AL Sp-Asphalt 09)	8
Abbildung 2:	Versuchsaufbau des einaxialen Druck-Schwellversuches	9
Abbildung 3:	Impulskriechkurve mit Wendepunkt (Fall 1, oben) und ohne Wendepunkt (Fall 2, unten)	10
Abbildung 4:	Bestimmung der Zugfestigkeitsreserve (TP Asphalt-StB, Teil 46 A 2013).....	12
Abbildung 5:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung.....	16
Abbildung 6:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung	16
Abbildung 7:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung	17
Abbildung 8:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung	17
Abbildung 9:	Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung	18
Abbildung 10:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung.....	18
Abbildung 11:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung	19
Abbildung 12:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung.....	19
Abbildung 13:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung	20
Abbildung 14:	Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Binder und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung	20
Abbildung 15:	Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge für das Asphaltgranulat AG Binder von SYLVAROAD RP1000.....	23
Abbildung 16:	Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge beim AG Binder von STORFLUX PLUS.....	24
Abbildung 17:	Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge von SYLVAROAD RP1000 beim AG Decke.....	27
Abbildung 18:	Darstellung der Ergebnisse zur Auswahl der Zugabemenge von STORFLUX PLUS beim AG Decke.....	27
Abbildung 19:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung.....	28
Abbildung 20:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke und allen SYLVAROAD RP1000-Varianten vor und nach Alterung	28

Abbildung 21:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke sowie 4 M.-% und 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung.....	29
Abbildung 22:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke sowie 4 M.-% und 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung.....	29
Abbildung 23:	Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Decke sowie 4 M.-% und 6 M.-% SYLVAROAD RP1000 vor und nach Alterung.....	30
Abbildung 24:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung.....	30
Abbildung 25:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke und allen STORFLUX PLUS-Varianten vor und nach Alterung.....	31
Abbildung 26:	Komplexer Schermodul vom Asphaltgranulat AG Decke und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung	31
Abbildung 27:	Phasenwinkel vom Asphaltgranulat AG Decke und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung	32
Abbildung 28:	Black-Diagramm vom Asphaltgranulat AG Decke und der final ausgewählten Zugabemenge STORFLUX PLUS vor und nach Alterung	32
Abbildung 29:	Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^* = 15$ kPa infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Binder.....	33
Abbildung 30:	Zunahme der Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^* = 15$ kPa infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Decke.....	34
Abbildung 31:	Abnahme des Phasenwinkels bei $T(G^* = 15$ kPa) infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Binder.....	34
Abbildung 32:	Abnahme des Phasenwinkels bei $T(G^* = 15$ kPa) infolge von Kurz(RTFOT)- und Langzeitalterung (PAV) beim AG Decke.....	35
Abbildung 33:	Korngrößenverteilung SMA 16 B S	36
Abbildung 34:	Korngrößenverteilung AC 11 D S.....	39
Abbildung 35:	Masterkurve SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000.....	44
Abbildung 36:	Masterkurve SMA 16 B S mit STORFLUX PLUS	44
Abbildung 37:	Temperatur-Steifigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltbinderschicht mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS	45
Abbildung 38:	Masterkurve AC 11 D S mit SYLVAROAD RP1000.....	47
Abbildung 39:	Masterkurve AC 11 D S mit STORFLUX PLUS.....	48
Abbildung 40:	Temperatur-Steifigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltdeckschicht mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS	48
Abbildung 41:	Impulskriechkurve ohne Wendepunkt der Varianten SMA 16 B S	50
Abbildung 42:	Impulskriechkurve ohne Wendepunkt der Varianten AC 11 D S.....	50
Abbildung 43:	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltbinderschicht-Varianten	52
Abbildung 44:	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltdeckschicht-Varianten	52

Abbildung 45:	Bruchtemperaturen mit korrespondierenden Bruchspannungen aus den Abkühlversuchen der SMA 16 B S-Varianten	53
Abbildung 46:	Bruchtemperaturen mit korrespondierenden Bruchspannungen aus den Abkühlversuchen der AC 11 D S-Varianten.....	53
Abbildung 47:	Ergebnisse der einaxialen Zugversuche SMA 16 B S	54
Abbildung 48:	Ergebnisse der einaxialen Zugversuche AC 11 D S.....	54
Abbildung 49:	Zugfestigkeitsreserve SMA 16 B S.....	55
Abbildung 50:	Zugfestigkeitsreserve AC 11 D S	56
Abbildung 51:	Korngrößenverteilung der Asphaltbinderschicht-Varianten.....	58
Abbildung 52:	Korngrößenverteilung der Asphaltdeckschicht-Varianten	58
Abbildung 53:	Äquisteifigkeitstemperatur $G^*(15 \text{ kPa})$ aller Varianten und der zugehörige Phasenwinkel	61
Abbildung 54:	Black-Diagramm der rückgewonnenen Bindemittel aus den Asphaltbindergemischen.....	61
Abbildung 55:	Black-Diagramm der rückgewonnenen Bindemittel aus den Asphaltdeckschichtgemischen	62
Abbildung 56:	Masterkurve SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000.....	66
Abbildung 57:	Masterkurve SMA 16 B S mit STORFLUX PLUS	67
Abbildung 58:	Masterkurve AC 11 D S mit SYLVAROAD RP1000.....	67
Abbildung 59:	Masterkurve AC 11 D S mit STORFLUX PLUS.....	68
Abbildung 60:	Temperatur-Steifigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltbinderschicht mit dem Rejuvenator SYLVAROAD RP1000.....	69
Abbildung 61:	Temperatur-Steifigkeitsfunktion bei 10 Hz für die Asphaltdeckschicht mit den Rejuvenatoren SYLVAROAD RP1000 und STORFLUX PLUS....	69
Abbildung 62:	Werte für die bleibende Verformung in Abhängigkeit von der Anzahl der Belastungszyklen für die Asphaltbinderschicht.....	71
Abbildung 63:	Werte für die bleibende Verformung in Abhängigkeit von den Belastungszyklen für die Asphaltdeckschicht	72
Abbildung 64:	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltbinderschicht-Varianten	73
Abbildung 65:	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der Asphaltdeckschicht-Varianten	74
Abbildung 66:	Darstellung der Bruchtemperatur und -spannung für die Asphaltbinderschicht-Varianten.....	75
Abbildung 67:	Darstellung der Bruchtemperatur und -spannung für die Asphaltdeckschicht-Varianten	75
Abbildung 68:	Ergebnisse der Zugversuche für die Asphaltbinderschicht-Varianten.....	76
Abbildung 69:	Ergebnisse der Zugversuche für die Asphaltdeckschicht-Varianten	76
Abbildung 70:	Darstellung der Zugfestigkeitsreserven für die Asphaltbinderschicht-Varianten	77
Abbildung 71:	Darstellung der Zugfestigkeitsreserven für die Asphaltdeckschicht-Varianten	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Prüfbedingungen für die Durchführung des Spaltzug-Schwellversuches	8
Tabelle 2:	Prüfparameter zur Durchführung und Abbruchbedingungen des einaxialen Druck-Schwellversuches nach TP Asphalt-StB, Teil 25 B1.....	9
Tabelle 3:	Orientierungswerte für die im Abkühlversuch ermittelte Bruchtemperatur in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen am Ort der Asphaltbefestigung gemäß RStO 01 (AP Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1 2012)	13
Tabelle 4:	Orientierungswerte für die in Zugversuchen ermittelte Zugfestigkeit und Bruchdehnung für verschiedene Asphaltmischgutarten (AP Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1 2012)	13
Tabelle 5:	Eigenschaften des Asphaltbinderschichtgranulats.....	14
Tabelle 6:	Eigenschaften des Asphaltdeckschichtgranulats	14
Tabelle 7:	Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) und Nadelpenetration (PEN) der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus der Asphaltbinderschicht und SYLVAROAD RP1000 sowie STORFLUX PLUS.....	15
Tabelle 8:	Äquisteifigkeitstemperatur $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ und zugehörige Phasenwinkel des rückgewonnenen Bitumens aus dem AG Binder mit unterschiedlichen Zugabemengen SYLVAROAD RP1000	21
Tabelle 9:	Äquisteifigkeitstemperatur $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ und zugehörige Phasenwinkel des rückgewonnenen Bitumens aus dem AG Binder mit unterschiedlichen Zugabemengen STORFLUX PLUS	22
Tabelle 10:	Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) und Äquisteifigkeitstemperaturen $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ sowie zugehörige Phasenwinkel der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus der Deckschicht und SYLVAROAD RP1000	25
Tabelle 11:	Erweichungspunkte Ring und Kugel (EP RuK) und Äquisteifigkeitstemperaturen $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ sowie zugehörige Phasenwinkel der Bindemittelgemische mit dem rückgewonnenen Bindemittel aus der Deckschicht und STORFLUX PLUS.....	26
Tabelle 12:	Zugabeanteile der verschiedenen Varianten	36
Tabelle 13:	Kornzusammensetzung der Lieferkörnungen	36
Tabelle 14:	Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches.....	37
Tabelle 15:	Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten SMA 16 B S mit SYLVAROAD RP1000	37
Tabelle 16:	Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten SMA 16 B S mit STORFLUX PLUS.....	38
Tabelle 17:	Zugabeanteile der verschiedenen Varianten	38
Tabelle 18:	Kornzusammensetzung der Lieferkörnungen	39
Tabelle 19:	Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches AC 11 D S.....	40
Tabelle 20:	Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten AC 11 D S mit SYLVAROAD RP1000.....	40
Tabelle 21:	Asphaltmischgutzusammensetzung sowie -eigenschaften der Varianten AC 11 D S mit STORFLUX PLUS	41

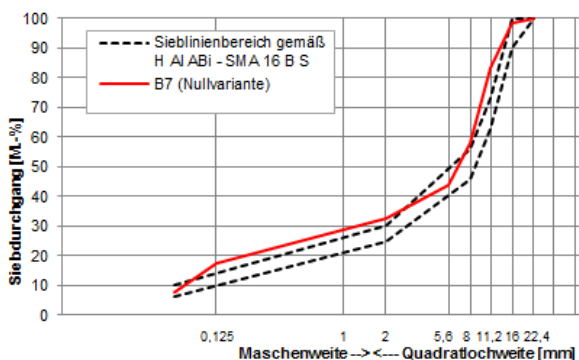
Tabelle 22:	Bindemittleigenschaften der Varianten SMA 16 B S.....	42
Tabelle 23:	Bindemittleigenschaften der Varianten AC 11 D S	42
Tabelle 24:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	43
Tabelle 25:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	43
Tabelle 26:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	43
Tabelle 27:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG STORFLUX PLUS	44
Tabelle 28:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG STORFLUX PLUS	45
Tabelle 29:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG STORFLUX PLUS	45
Tabelle 30:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000.....	46
Tabelle 31:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000.....	46
Tabelle 32:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000.....	46
Tabelle 33:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG STOFLEX PLUS	47
Tabelle 34:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG STOFLEX PLUS	47
Tabelle 35:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG STOFLEX PLUS	47
Tabelle 36:	Ergebnisse der einaxialen Druck-Schwellversuche SMA 16 B S.....	49
Tabelle 37:	Ergebnisse der einaxialen Druck-Schwellversuche AC 11 D S.....	50
Tabelle 38:	Ergebnisse zur Wasserempfindlichkeit der verschiedenen Asphaltgemische.....	51
Tabelle 39:	Bauabschnitte und Ort der Probenahme nach Straßenstation.....	56
Tabelle 40:	Ergebnisse des Abscherversuches zur Bewertung des Schichtenverbundes.....	57
Tabelle 41:	Ergebnisse der Schichtdickenmessung.....	57
Tabelle 42:	Asphaltmischguteigenschaften und der Hohlraumgehalt der jeweiligen Ausbauprobe sowie der Verdichtungsgrad aller Varianten	59
Tabelle 43:	Bindemittleigenschaften Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK), Nadelpenetration (PEN) und elastische Rückstellung aller Varianten	60
Tabelle 44:	Steifigkeiten SMA 16 B S Nullvariante.....	62
Tabelle 45:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	63
Tabelle 46:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	63
Tabelle 47:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000	63
Tabelle 48:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 30 M.-% AG STORFLUX PLUS	63
Tabelle 49:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 45 M.-% AG STORFLUX PLUS	64
Tabelle 50:	Steifigkeiten SMA 16 B S mit 60 M.-% AG STORFLUX PLUS	64
Tabelle 51:	Steifigkeiten AC 11 D S Nullvariante	64
Tabelle 52:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG SYLVAROAD RP1000.....	64
Tabelle 53:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG SYLVAROAD RP1000.....	65
Tabelle 54:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG SYLVAROAD RP1000.....	65
Tabelle 55:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 20 M.-% AG STORFLUX PLUS.....	65
Tabelle 56:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 40 M.-% AG STORFLUX PLUS.....	65

Tabelle 57:	Steifigkeiten AC 11 D S mit 60 M.-% AG STORFLUX PLUS.....	66
Tabelle 58:	Fiktiver Hohlraumgehalt und Hohlraumausfüllungsgrad der Varianten	71
Tabelle 59:	Zusammenfassung der Ergebnisse für den einaxialen Druck- Schwellversuch für die Asphaltbinderschicht mit beiden Rejuvenatoren	72
Tabelle 60:	Zusammenfassung der Ergebnisse für den einaxialen Druck- Schwellversuch für die Asphaltdeckschicht mit beiden Rejuvenatoren.....	73

Anhang 1

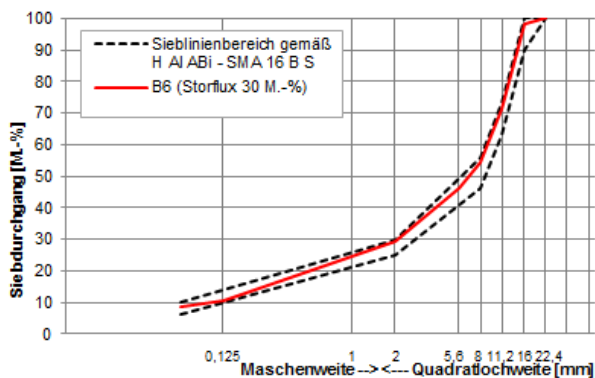
Ergebnisse der Kontrollprüfung

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: SMA 16 B S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B7 (Nullvariante)		Entnahmedatum: 28.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 3082 1 17 W470		Entnahmestelle: 1+499 BA 1			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungsergebnisse	Bewertungsrelevante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweichungen
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0		
	16	[M.-%]	98,6		
	11,2	[M.-%]	83,6		
	8	[M.-%]	57,9		
	5,6	[M.-%]	44,0		
	2	[M.-%]	32,6		
	0,125	[M.-%]	17,3		
0,063	[M.-%]	7,9			
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 16 mm		[M.-%]	1,4	3,3	
grobe Gesteinskörnung > 11 mm		[M.-%]	16,4	33,6	24,6 - 42,6
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	67,4	71,0	63,0 - 79,0
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	24,7	20,9	12,9 - 28,9
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	17,3	10,2	7,2 - 13,2
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	7,9	8,1	5,1 - 11,1
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,30		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,20		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	5,5	5,4	5,0 - 5,8
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	64,0		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	72		mind. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,438	2,435	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,329	2,353	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	4,5	3,4	1,0 - 6,0
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,352		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	3,5		1,5 - 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	101		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	35,0		mind. 12
Schichtdicke		[cm]	8,5		



Gesteinsarten	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteins-
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller, Kalksteinfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

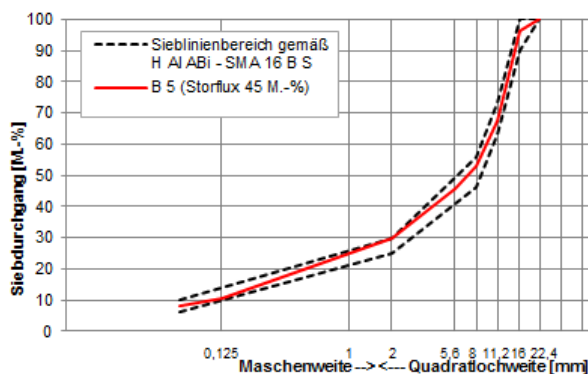
Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltemischgutart: SMA 16 B S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B6 (Storflux 30 M.-%)		Entnahmedatum: 28.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-4		Entnahmestelle: 1+176 BA 2			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungsergebnisse	Bewertungsrelevante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweichungen
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0		
	16	[M.-%]	98,0		
	11,2	[M.-%]	71,3		
	8	[M.-%]	54,2		
	5,6	[M.-%]	46,1		
	2	[M.-%]	29,5		
	0,125	[M.-%]	10,7		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	8,5		
			Anteil	Anteil	Anteil
grobe Gesteinskörnung > 16 mm		[M.-%]	2,0	2,8	
grobe Gesteinskörnung > 11 mm		[M.-%]	28,7	32,9	23,9 - 41,9
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	70,5	67,7	59,7 - 75,7
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	21,0	24,4	16,4 - 32,4
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	10,7	11,1	8,1 - 14,1
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	8,5	7,9	4,9 - 10,9
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,19		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,21		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	5,4	5,2	4,8 - 5,6
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	66,2		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	68		mind. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,452	2,457	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,390	2,368	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,5	3,6	1,0 - 6,0
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,425	2,368	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,1	3,6	1,5 - 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	101,5		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	17,5		mind. 12
Schichtdicke		[cm]	8,2		



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

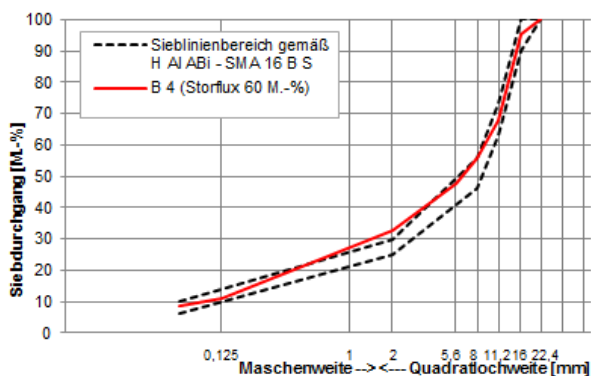
Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: SMA 16 B S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B 5 (Storflux 45 M.-%)		Entnahmedatum: 27.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-5		Entnahmestelle: 0+775 BA 3			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungsergebnisse	Bewertungsrelevante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweichungen
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0		
	16	[M.-%]	96,2		
	11,2	[M.-%]	67,3		
	8	[M.-%]	53,0		
	5,6	[M.-%]	45,9		
	2	[M.-%]	29,6		
	0,125	[M.-%]	10,6		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	8,3		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 16 mm		[M.-%]	3,8	2,7	
grobe Gesteinskörnung > 11 mm		[M.-%]	32,7	33,0	24,0 - 42,0
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	70,4	67,6	59,6 - 75,6
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	21,3	24,1	16,1 - 32,1
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	10,6	11,7	8,7 - 14,7
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	8,3	8,3	5,3 - 11,3
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,29		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,21		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	5,5	5,3	4,9 - 5,7
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	63,4		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	61		mind. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,476	2,493	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,406	2,394	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,8	4,0	1,0 - 6,0
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,439	2,394	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,5	4,0	1,5 - 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	101,4		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	18,0		mind. 12
Schichtdicke		[cm]	9,7		



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

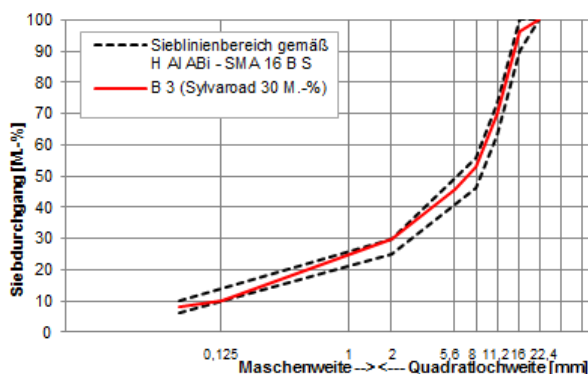
Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13						
Asphaltmischgutart: SMA 16 B S			RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A			Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B 4 (Storflux 60 M.-%)			Entnahmedatum: 27.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-6			Entnahmestelle: 0+403 BA 4			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach						
Prüfparameter	Einheit		Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsre- levante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweich- ungen
Gesteinskörnungsgemisch						
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0			
	16	[M.-%]	95,4			
	11,2	[M.-%]	67,8			
	8	[M.-%]	55,9			
	5,6	[M.-%]	47,7			
	2	[M.-%]	32,5			
	0,125	[M.-%]	11,1			
	0,063 (Füller)	[M.-%]	8,8			
			Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 16 mm			[M.-%] 4,6	2,6		
grobe Gesteinskörnung > 11 mm			[M.-%] 32,2	32,3	23,7 - 41,7	
grobe Gesteinskörnung > 2 mm			[M.-%] 67,5	67,6	59,6 - 75,6	
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm			[M.-%] 23,7	24,0	16,0 - 32,0	
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm			[M.-%] 11,1	12,0	9,0 - 15,0	
Füller < 0,063 mm			[M.-%] 8,8	8,4	5,4 - 11,4	
Bindemittel (25/55-55 A res.)						
lösliches Bindemittel			[M.-%] 5,18			
Zuschlag unslösl. Anteil			[M.-%] 0,22			
Bindemittelgehalt			[M.-%] 5,4	5,4	5,0 - 5,8	
Erweichungspunkt Ring und Kugel			[°C] 64,1		max. 71	
elast. Rückstellung			[%] 58		mind. 40	
Fadenlänge Probe 1			[mm] 200			
Fadenlänge Probe 2			[mm] 200			
Mischgut						
Rohdichte			[g/cm³] 2,486	2,483		
Raumdichte (MPK)			[g/cm³] 2,439	2,400		
Hohlraumgehalt			[Vol.-%] 1,9	3,3	1,0 - 6,0	
Ausbaustück						
Raumdichte (BK)			[g/cm³] 2,458	2,400		
Hohlraumgehalt			[Vol.-%] 1,1	3,3	1,5 - 5,5	-0,4 †
Verdichtungsgrad			[%] 100,8		≥ 98,0	
Schichtenverbund			[kN] 22,0		mind. 12	
Schichtdicke			[cm] 8,9			



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

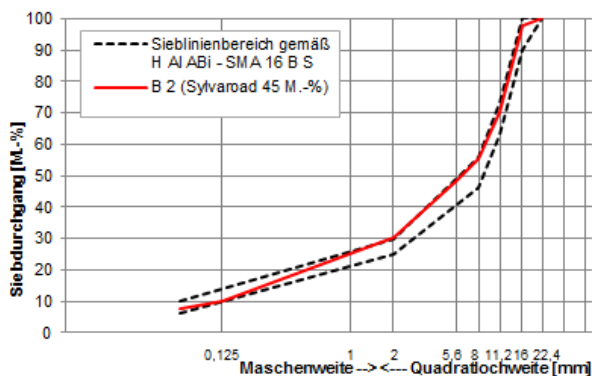
Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: SMA 16 B S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B 3 (Sylvaroad 30 M.-%)		Entnahmedatum: 27.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-1		Entnahmestelle: 0+940 BA 5			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungsergebnisse	Bewertungsrelevante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweichungen
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0		
	16	[M.-%]	96,3		
	11,2	[M.-%]	69,6		
	8	[M.-%]	52,8		
	5,6	[M.-%]	45,9		
	2	[M.-%]	30,0		
	0,125	[M.-%]	10,2		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	8,0		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 16 mm		[M.-%]	3,7	2,8	
grobe Gesteinskörnung > 11 mm		[M.-%]	30,4	32,9	23,9 - 41,9
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	70,0	67,7	59,7 - 75,7
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	22,0	24,4	16,4 - 32,4
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	10,2	11,1	8,1 - 14,1
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	8,0	7,9	4,9 - 10,9
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,19		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,21		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	5,4	5,2	4,8 - 5,6
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	65,5		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	61		mind. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,465	2,472	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,379	2,383	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	3,5	3,6	1,0 - 6,0
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,418	2,383	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,9	3,6	1,5 - 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	101,6		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	17,0		mind. 12
Schichtdicke		[cm]	8,3		



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

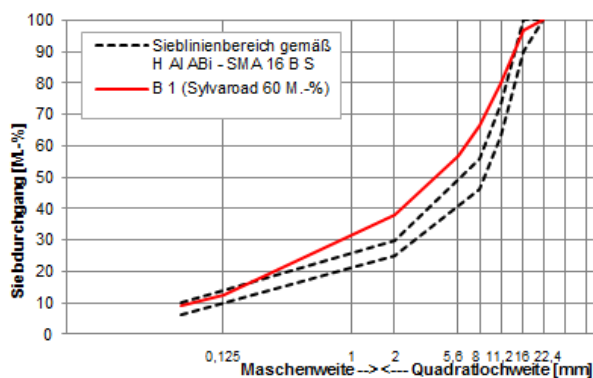
Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: SMA 16 B S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B 2 (Sylvaroad 45 M.-%)		Entnahmedatum: 26.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-2		Entnahmestelle: 0+623 BA 6			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsrele- vante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweich- ungen
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0		
	16	[M.-%]	97,7		
	11,2	[M.-%]	70,2		
	8	[M.-%]	55,4		
	5,6	[M.-%]	48,4		
	2	[M.-%]	30,1		
	0,125	[M.-%]	10,2		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	7,7		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 16 mm		[M.-%]	2,3	2,7	
grobe Gesteinskörnung > 11 mm		[M.-%]	29,8	33,0	24,0 - 42,0
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	69,9	67,6	59,6 - 75,6
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	22,4	24,1	16,1 - 32,1
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	10,2	11,7	8,7 - 14,7
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	7,7	8,3	5,3 - 11,3
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,40		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,20		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	5,6	5,3	4,9 - 5,7
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	63,4		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	63		mind. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,475	2,489	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,415	2,399	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,4	3,6	1,0 - 6,0
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,432	2,399	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,7	3,6	1,5 - 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	100,7		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	40,5		mind. 12
Schichtdicke		[cm]	8,4		



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

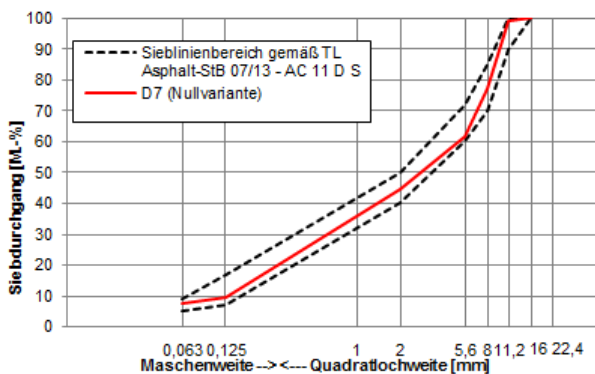
Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: SMA 16 B S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: B 1 (Sylvaroad 60 M.-%)		Entnahmedatum: 26.07.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-3		Entnahmestelle: 0+233 BA 7			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungs-	Bewertungsre-	Sollwerte inkl.	unzul. Abweichungen
		ergebnisse	vante Parameter	Toleranzen gem.	
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	22,4	[M.-%]	100,0		
	16	[M.-%]	96,9		
	11,2	[M.-%]	79,7		
	8	[M.-%]	66,3		
	5,6	[M.-%]	56,9		
	2	[M.-%]	38,1		
	0,125	[M.-%]	12,5		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	9,2		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 16 mm		[M.-%]	3,1	2,6	
grobe Gesteinskörnung > 11 mm		[M.-%]	20,3	32,3	23,3 - 41,3
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	61,9	67,6	59,6 - 75,6
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	28,9	24,0	16,0 - 32,0
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	12,5	12,0	7,6 - 13,6
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	9,2	8,4	5,3 - 11,3
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,38		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,22		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	5,6	5,4	5,0 - 5,8
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	70,6		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	49		mind. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	119		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	119		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,485	2,474	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,433	2,384	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,1	3,6	1,0 - 6,0
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,436	2,384	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,0	3,6	1,5 - 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	100,1		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	39,0		mind. 12
Schichtdicke		[cm]	6,6		



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	dunkle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit	Brechsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltemischgutart: AC 11 D S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: D7 (Nullvariante)		Entnahmedatum: 04.08.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 4087 1 14 W470		Entnahmestelle: 1+499 BA 1			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsrele- vante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweich- ungen
Gesteinskörnungsgemisch					
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0		
	11,2	[M.-%]	99,4		
	8	[M.-%]	77,2		
	5,6	[M.-%]	61,6		
	2	[M.-%]	44,6		
	0,125	[M.-%]	9,7		
	0,063	[M.-%]	7,5		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm		[M.-%]	0,6	1,4	
grobe Gesteinskörnung > 8 mm		[M.-%]	22,8	19,1	14,1 - 24,1
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	55,4	53,0	45,0 - 61,0
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	37,1	39,7	31,7 - 47,7
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	9,7	9,8	6,8 - 12,8
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	7,5	7,3	4,3 - 10,3
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm		[M.-%]	26,1		min. 20
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,9		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,20		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	6,1	6,2	5,8 - 6,6
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	61,6		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	74,0		min. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,422	2,445	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,353	2,369	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,8	3,1	1,5 - 4,5
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,350	2,369	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	3,0	3,1	≤ 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	99,9		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	35,0		min. 15
Schichtdicke		[cm]	3,6		



Gesteinsarten

Grobe Gesteinskörnung:

Soll
Mikrodiorit,
Quarzit

Ist (augensch.)
dunkle u. helle
Gesteinskörnung

Feine Gesteinskörnung:

Mikrodiorit,
Natursand

Brechsand,
Natursand

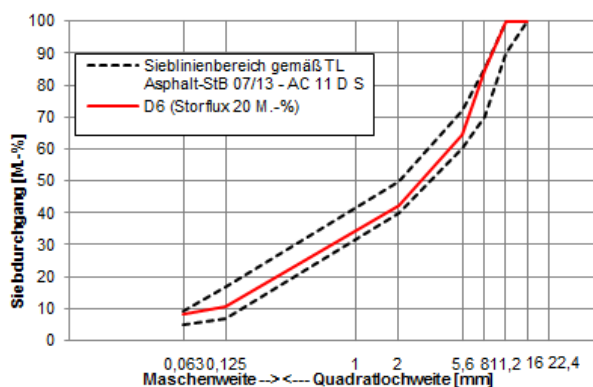
Füller:

Eigenfüller,
Kalksteinfüller

Äußere Beschaffenheit:

gleichmäßig
umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13						
Asphaltmischgutart: AC 11 D S			RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A			Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: D6 (Storflux 20 M.-%)			Entnahmedatum: 03.08.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-10			Entnahmestelle: 1+176 BA 2			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach						
Prüfparameter	Einheit		Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsrele- vante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweich- ungen
Gesteinskörnungsgemisch			Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0			
	11,2	[M.-%]	99,8			
	8	[M.-%]	84,8			
	5,6	[M.-%]	64,2			
	2	[M.-%]	42,1			
	0,125	[M.-%]	10,7			
	0,063 (Füller)	[M.-%]	8,5			
			Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm		[M.-%]	0,2	0,5		
grobe Gesteinskörnung > 8 mm		[M.-%]	15,2	16,2	11,2 - 21,2	
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	57,9	59,2	51,2 - 67,2	
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	33,6	32,3	24,3 - 40,3	
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	10,7	11,3	8,3 - 14,3	
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	8,5	8,5	5,5 - 11,5	
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm		[M.-%]	54,8		min. 20	
Bindemittel (25/55-55 A res.)						
lösliches Bindemittel		[M.-%]	6,09			
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,21			
Bindemittelgehalt		[M.-%]	6,3	6,3	5,9 - 6,7	
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	66,2		max. 71	
elast. Rückstellung		[%]	66,0		min. 40	
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200			
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200			
Mischgut						
Rohdichte		[g/cm³]	2,416	2,418		
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,368	2,343		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,0	3,1	1,5 - 4,5	
Ausbaustück						
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,390	2,343		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,1	3,1	≤ 5,5	
Verdichtungsgrad		[%]	100,9		≥ 98,0	
Schichtenverbund		[kN]	42,5		min. 15	
Schichtdicke		[cm]	3,4			



Gesteinsarten

Grobe Gesteinskörnung:

Soll
Mikrodiorit,
Quarzit

Ist (augensch.)
dunkle u. helle
Gesteinskörnung

Feine Gesteinskörnung:

Mikrodiorit,
Natursand

Brechsand,
Natursand

Füller:

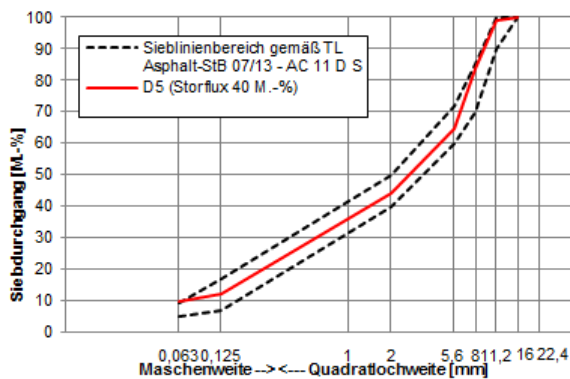
Eigenfüller

Äußere
Beschaffenheit:

gleichmäßig
umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13		
Asphaltemischgutart:	AC 11 D S	RUB-Projekt Nr.: 444 6020012
Bindemittelart:	PmB 25/55-55 A	Baumaßnahme: B37
Probe-Nr.:	D5 (Storflux 40 M.-%)	Entnahmedatum: 03.08.2017
Erstprüfungs-Nr.:	444 6020012-11	Entnahmestelle: 0+775 BA 3
Lieferwerk:	Ramstein-Miesenbach	

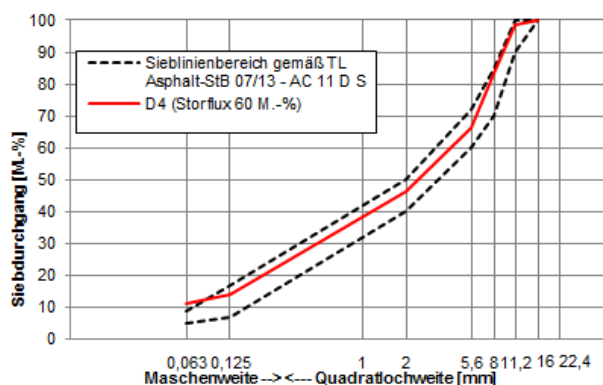
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungsergebnisse	Bewertungsrelevante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweichungen
Gesteinskörnungsgemisch		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0		
	11,2	[M.-%]	99,2		
	8	[M.-%]	83,9		
	5,6	[M.-%]	64,6		
	2	[M.-%]	44,0		
	0,125	[M.-%]	11,9		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	9,5		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm	[M.-%]	0,8	0,5		
grobe Gesteinskörnung > 8 mm	[M.-%]	16,1	16,2	11,2 - 21,2	
grobe Gesteinskörnung > 2 mm	[M.-%]	56,0	59,0	51,0 - 67,0	
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm	[M.-%]	34,5	32,3	24,3 - 40,3	
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm	[M.-%]	11,9	11,0	8,0 - 14,0	
Füller < 0,063 mm	[M.-%]	9,5	8,7	5,7 - 11,7	
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm	[M.-%]	62,2		min. 20	
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel	[M.-%]	6,17			
Zuschlag unslösl. Anteil	[M.-%]	0,23			
Bindemittelgehalt	[M.-%]	6,4	6,3	5,9 - 6,7	
Erweichungspunkt Ring und Kugel	[°C]	63,1		max. 71	
elast. Rückstellung	[%]	61		min. 40	
Fadenlänge Probe 1	[mm]	200			
Fadenlänge Probe 2	[mm]	200			
Mischgut					
Rohdichte	[g/cm³]	2,419	2,412		
Raumdichte (MPK)	[g/cm³]	2,385	2,330		
Hohlraumgehalt	[Vol.-%]	1,4	3,4	1,5 - 4,5	-0,1 !
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)	[g/cm³]	2,391	2,330		
Hohlraumgehalt	[Vol.-%]	1,2	3,4	≤ 5,5	
Verdichtungsgrad	[%]	100,3		≥ 98,0	
Schichtenverbund	[kN]	18,7		min. 15	
Schichtdicke	[cm]	4,1			



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit, Quarzit	dunkle u. helle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit, Natursand	Brechsand, Natursand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13						
Asphaltmischgutart: AC 11 D S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012				
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37				
Probe-Nr.: D4 (Storflux 60 M.-%)		Entnahmedatum: 03.08.2017				
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-12		Entnahmestelle: 0+403 BA 4				
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach						
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsrele- vante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07 Durchgang	unzul. Abweich- ungen	
Gesteinskörnungsgemisch						
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0			
	11,2	[M.-%]	98,4			
	8	[M.-%]	83,3			
	5,6	[M.-%]	66,3			
	2	[M.-%]	46,1			
	0,125	[M.-%]	14,0			
	0,063 (Füller)	[M.-%]	11,2			
		Anteil	Anteil	Anteil		
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm		[M.-%]	1,6	0,4		
grobe Gesteinskörnung > 8 mm		[M.-%]	16,7	16,7	11,7 - 21,7	
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	53,9	58,8	50,8 - 66,8	
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	34,9	32,3	24,3 - 40,3	
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	14,0	10,7	7,7 - 13,7	+0,3 !
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	11,2	8,9	5,9 - 11,9	
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm		[M.-%]	51,1		min. 20	
Bindemittel (25/55-55 A res.)						
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,75			
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,25			
Bindemittelgehalt		[M.-%]	6,0	6,3	5,9 - 6,7	
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	65,1		max. 71	
elast. Rückstellung		[%]	50		min. 40	
Fadenlänge Probe 1		[mm]	167			
Fadenlänge Probe 2		[mm]	167			
Mischgut						
Rohdichte		[g/cm³]	2,425	2,407		
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,389	2,335		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,5	3,0	1,5 - 4,5	
Ausbaustück						
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,399	2,335		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,1	3,0	≤ 5,5	
Verdichtungsgrad		[%]	100,4		≥ 98,0	
Schichtenverbund		[kN]	27,5		min. 15	
Schichtdicke		[cm]	3,5			

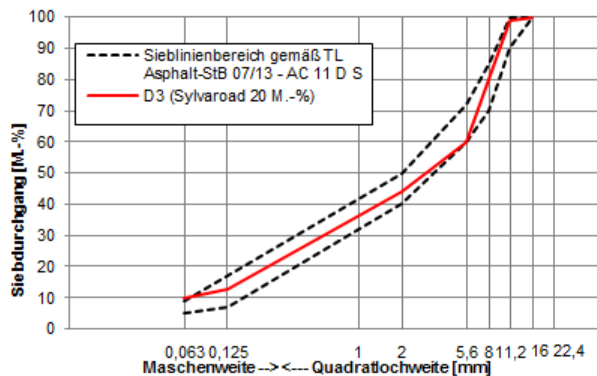


Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Quarzit	dunkle u. helle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit, Natursand	Brechsand, Natursand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: AC 11 D S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: D3 (Sylvaroad 20 M.-%)		Entnahmedatum: 02.08.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-7		Entnahmestelle: 0+940 BA 5			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					

Prüfparameter	Einheit	Untersuchungsergebnisse	Bewertungsrelevante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweichungen
Gesteinskörnungsgemisch					
		Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0		
	11,2	[M.-%]	98,8		
	8	[M.-%]	80,0		
	5,6	[M.-%]	60,0		
	2	[M.-%]	43,8		
	0,125	[M.-%]	12,6		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	10,1		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm		[M.-%]	1,2	0,5	
grobe Gesteinskörnung > 8 mm		[M.-%]	20,0	16,2	11,2 - 21,2
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	56,2	59,2	51,2 - 67,2
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	33,7	32,3	24,3 - 40,3
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	12,6	11,3	8,3 - 14,3
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	10,1	8,5	5,5 - 11,5
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm		[M.-%]	76,4		min. 20
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	6,27		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,23		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	6,5	6,3	5,9 - 6,7
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	64,9		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	71,0		min. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,416	2,424	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,366	2,354	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,1	2,9	1,5 - 4,5
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,372	2,354	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,8	2,9	≤ 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	100,3		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	41,5		min. 15
Schichtdicke		[cm]	3,5		



Gesteinsarten

Grobe Gesteinskörnung:

Soll
Mikrodiorit,
Quarzit

Ist (augensch.)
dunkle u. helle
Gesteinskörnung

Feine Gesteinskörnung:

Soll
Mikrodiorit,
Natursand

Brechsand,
Natursand

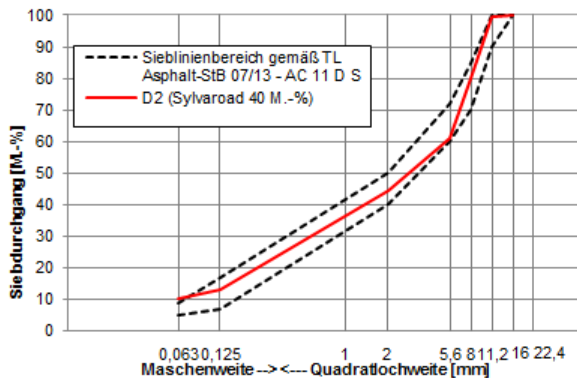
Füller:

Soll
Eigenfüller

Äußere Beschaffenheit:

gleichmäßig
umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: AC 11 D S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: D2 (Sylvaroad 40 M.-%)		Entnahmedatum: 02.08.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-8		Entnahmestelle: 0+623 BA 6			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					
Prüfparameter	Einheit	Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsrele- vante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweich- ungen
Gesteinskörnungsgemisch					
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0		
	11,2	[M.-%]	99,4		
	8	[M.-%]	79,9		
	5,6	[M.-%]	61,0		
	2	[M.-%]	44,3		
	0,125	[M.-%]	12,9		
	0,063 (Füller)	[M.-%]	10,2		
		Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm		[M.-%]	0,6	0,5	
grobe Gesteinskörnung > 8 mm		[M.-%]	20,1	16,2	11,2 - 21,2
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	55,7	59,0	51,0 - 67,0
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	34,1	32,3	24,3 - 40,3
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	12,9	11,0	8,0 - 14,0
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	10,2	8,7	5,7 - 11,7
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm		[M.-%]	72,0		min. 20
Bindemittel (25/55-55 A res.)					
lösliches Bindemittel		[M.-%]	6,16		
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,24		
Bindemittelgehalt		[M.-%]	6,4	6,3	5,9 - 6,7
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	63,5		max. 71
elast. Rückstellung		[%]	71,0		min. 40
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200		
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200		
Mischgut					
Rohdichte		[g/cm³]	2,421	2,394	
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,368	2,322	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,2	3,0	1,5 - 4,5
Ausbaustück					
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,384	2,322	
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	1,5	3,0	≤ 5,5
Verdichtungsgrad		[%]	100,7		≥ 98,0
Schichtenverbund		[kN]	34,0		min. 15
Schichtdicke		[cm]	3,7		

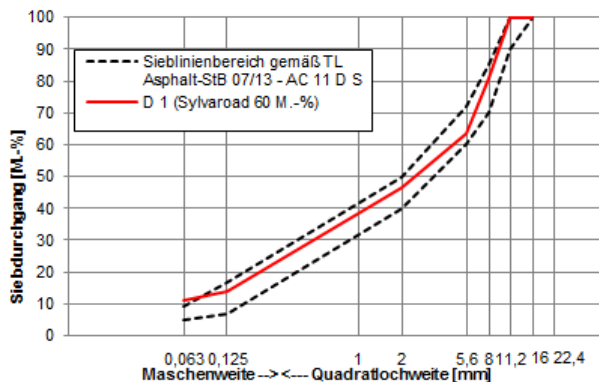


Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Mikrodiorit, Quarzit	dunkle u. helle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit, Natarsand	Brechsand, Natarsand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

Kontrollprüfung gemäß ZTV Asphalt-StB 07/13					
Asphaltmischgutart: AC 11 D S		RUB-Projekt Nr.: 444 6020012			
Bindemittelart: PmB 25/55-55 A		Baumaßnahme: B37			
Probe-Nr.: D 1 (Sylvaroad 60 M.-%)		Entnahmedatum: 02.08.2017			
Erstprüfungs-Nr.: 444 6020012-9		Entnahmestelle: 0+233 BA 7			
Lieferwerk: Ramstein-Miesenbach					

Prüfparameter		Einheit	Untersuchungs- ergebnisse	Bewertungsrele- vante Parameter aus Erstprüfung	Sollwerte inkl. Toleranzen gem. ZTV Asphalt-StB 07	unzul. Abweich- ungen
Gesteinskörnungsgemisch			Durchgang	Durchgang	Durchgang	
Siebweite [mm]	16	[M.-%]	100,0			
	11,2	[M.-%]	99,6			
	8	[M.-%]	80,8			
	5,6	[M.-%]	63,4			
	2	[M.-%]	46,4			
	0,125	[M.-%]	14,0			
	0,063 (Füller)	[M.-%]	11,1			
			Anteil	Anteil	Anteil	
grobe Gesteinskörnung > 11,2 mm		[M.-%]	0,4	0,4		
grobe Gesteinskörnung > 8 mm		[M.-%]	19,2	16,7	11,7 - 21,7	
grobe Gesteinskörnung > 2 mm		[M.-%]	53,6	58,8	50,8 - 66,8	
feine Gesteinskörnung 0,063 - 2 mm		[M.-%]	35,3	32,3	24,3 - 40,3	
feine Gesteinskörnung < 0,125 mm		[M.-%]	14,0	10,7	7,7 - 13,7	+0,3 !
Füller < 0,063 mm		[M.-%]	11,1	8,9	5,9 - 11,9	
Anteil Aufhellungsgestein > 2 mm		[M.-%]	53,0		min. 20	
Bindemittel (25/55-55 A res.)						
lösliches Bindemittel		[M.-%]	5,95			
Zuschlag unslösl. Anteil		[M.-%]	0,25			
Bindemittelgehalt		[M.-%]	6,2	6,3	5,9 - 6,7	
Erweichungspunkt Ring und Kugel		[°C]	66,0		max. 71	
elast. Rückstellung		[%]	53,0		min. 40	
Fadenlänge Probe 1		[mm]	200			
Fadenlänge Probe 2		[mm]	200			
Mischgut						
Rohdichte		[g/cm³]	2,431	2,404		
Raumdichte (MPK)		[g/cm³]	2,366	2,342		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	2,7	2,6	1,5 - 4,5	
Ausbaustück						
Raumdichte (BK)		[g/cm³]	2,318	2,342		
Hohlraumgehalt		[Vol.-%]	4,6	2,6	≤ 5,5	
Verdichtungsgrad		[%]	98,0		≥ 98,0	
Schichtenverbund		[kN]	37,0		min. 15	
Schichtdicke		[cm]	3,3			



Gesteinsarten

	Soll	Ist (augensch.)
Grobe Gesteinskörnung:	Quarzit	dunkle u. helle Gesteinskörnung
Feine Gesteinskörnung:	Mikrodiorit, Natursand	Brechsand, Natursand
Füller:	Eigenfüller	
Äußere Beschaffenheit:		gleichmäßig umhüllt

Anhang 2

Ergebnisse der Ebenheitsmessungen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A- 1:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 0 bis 100 m	106
Abbildung A- 2:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 100 bis 200 m	106
Abbildung A- 3:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 200 bis 300 m	106
Abbildung A- 4:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 300 bis 400 m	106
Abbildung A- 5:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 400 bis 500 m	106
Abbildung A- 6:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 500 bis 600 m	107
Abbildung A- 7:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 600 bis 700 m	107
Abbildung A- 8:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 700 bis 800 m	107
Abbildung A- 9:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 800 bis 900 m	107
Abbildung A- 10:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 900 bis 1000 m	107
Abbildung A- 11:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1000 bis 1100 m.....	108
Abbildung A- 12:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1100 bis 1200 m.....	108
Abbildung A- 13:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1200 bis 1300 m.....	108
Abbildung A- 14:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1300 bis 1400 m.....	108
Abbildung A- 15:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1400 bis 1500 m.....	108
Abbildung A- 16:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1500 bis 1600 m.....	109
Abbildung A- 17:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1600 bis 1700 m.....	109
Abbildung A- 18:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1700 bis 1800 m.....	109
Abbildung A- 19:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1800 bis 1900 m.....	109
Abbildung A- 20:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1900 bis 2000 m.....	109
Abbildung A- 21:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2000 bis 2100 m.....	110
Abbildung A- 22:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2100 bis 2200 m.....	110
Abbildung A- 23:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2200 bis 2300 m.....	110
Abbildung A- 24:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2300 bis 2400 m.....	110
Abbildung A- 25:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2400 bis 2500 m.....	110
Abbildung A- 26:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2500 bis 2600 m.....	111
Abbildung A- 27:	B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2600 bis 2680 m.....	111
Abbildung A- 28:	B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 0 bis 100 m	111
Abbildung A- 29:	B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 100 bis 200 m	111
Abbildung A- 30:	B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 200 bis 300 m	111
Abbildung A- 31:	B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 300 bis 400 m	112
Abbildung A- 32:	B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 400 bis 500 m	112
Abbildung A- 33:	B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 500 bis 600 m	112

Abbildung A- 34: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 600 bis 700 m	112
Abbildung A- 35: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 700 bis 800 m	112
Abbildung A- 36: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 800 bis 900 m	113
Abbildung A- 37: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 900 bis 1000 m	113
Abbildung A- 38: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1000 bis 1100 m.....	113
Abbildung A- 39: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1100 bis 1200 m.....	113
Abbildung A- 40: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1200 bis 1300 m.....	113
Abbildung A- 41: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1300 bis 1400 m.....	114
Abbildung A- 42: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1400 bis 1500 m.....	114
Abbildung A- 43: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1500 bis 1600 m.....	114
Abbildung A- 44: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1600 bis 1700 m.....	114
Abbildung A- 45: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1700 bis 1800 m.....	114
Abbildung A- 46: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1800 bis 1900 m.....	115
Abbildung A- 47: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1900 bis 2000 m.....	115
Abbildung A- 48: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2000 bis 2100 m.....	115
Abbildung A- 49: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2100 bis 2200 m.....	115
Abbildung A- 50: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2200 bis 2300 m.....	115
Abbildung A- 51: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2300 bis 2400 m.....	116
Abbildung A- 52: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2400 bis 2500 m.....	116
Abbildung A- 53: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2500 bis 2600 m.....	116
Abbildung A- 54: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2600 bis 2630 m.....	116

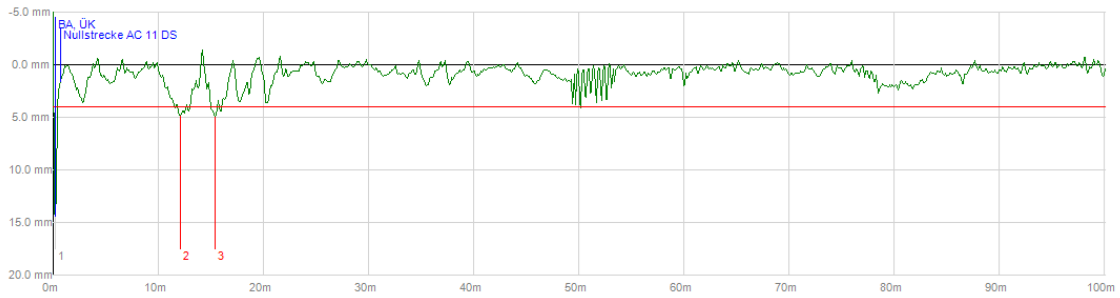


Abbildung A- 1: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 0 bis 100 m

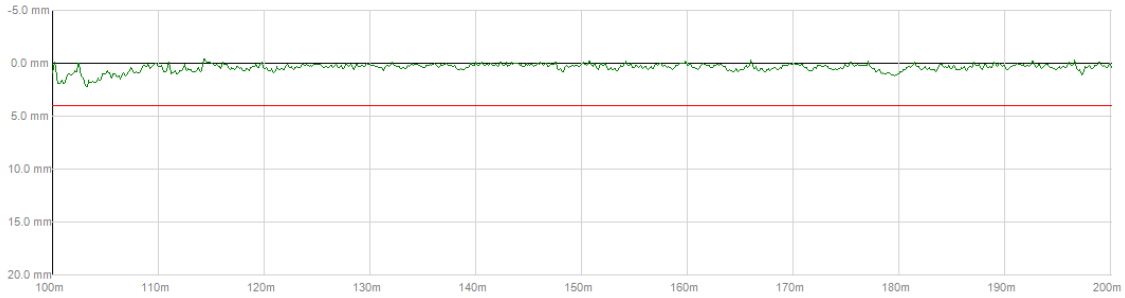


Abbildung A- 2: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 100 bis 200 m

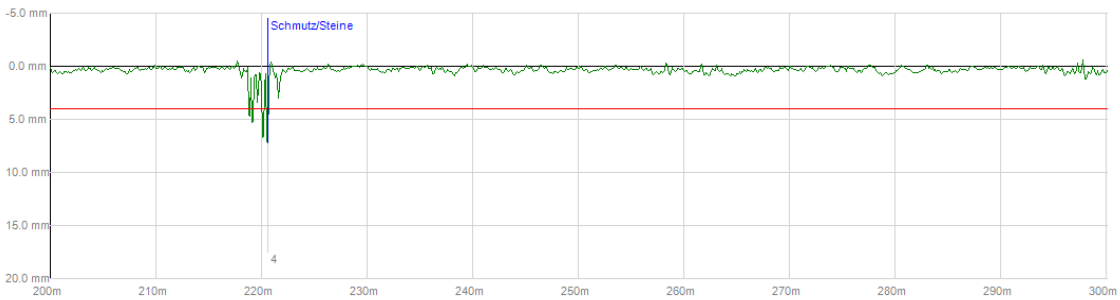


Abbildung A- 3: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 200 bis 300 m

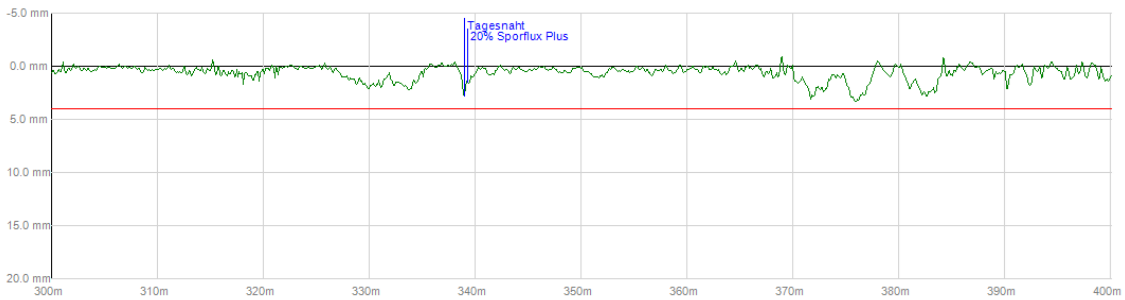


Abbildung A- 4: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 300 bis 400 m

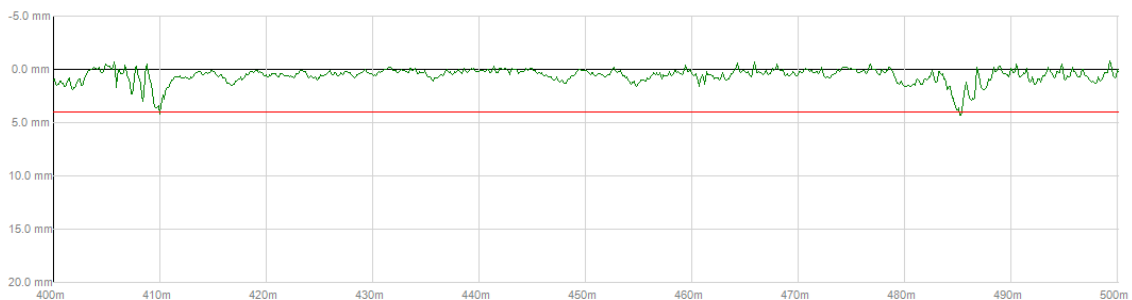


Abbildung A- 5: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 400 bis 500 m

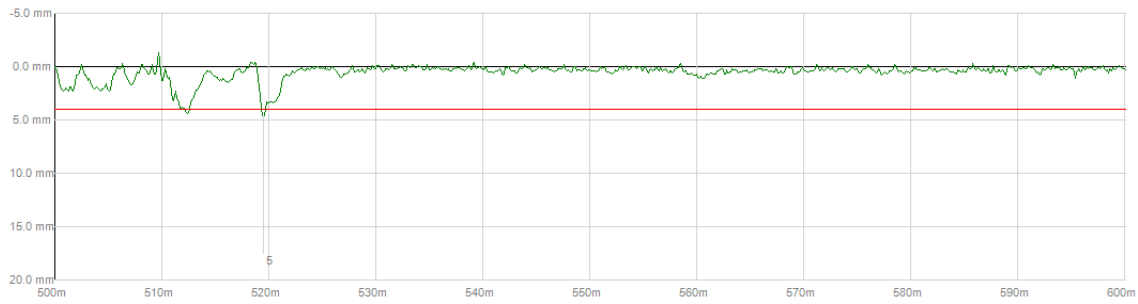


Abbildung A- 6: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 500 bis 600 m

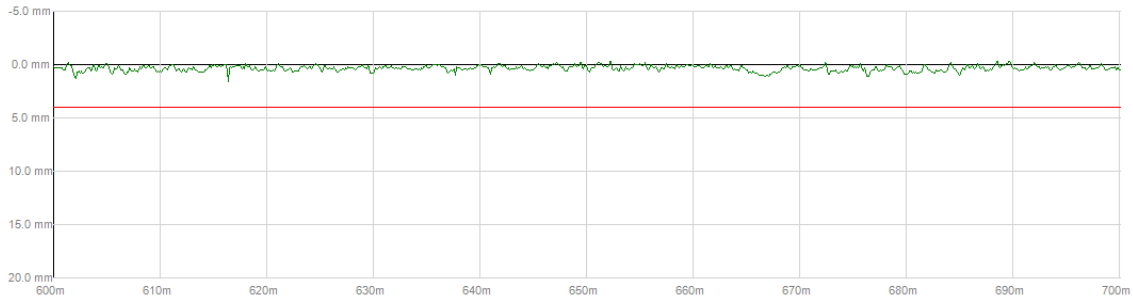


Abbildung A- 7: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 600 bis 700 m

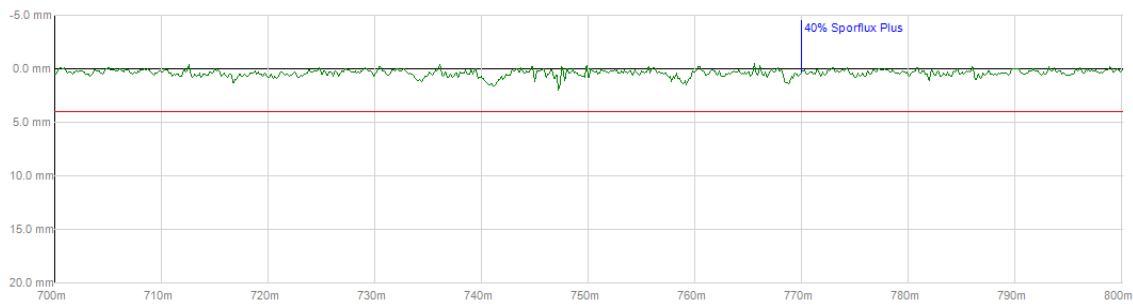


Abbildung A- 8: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 700 bis 800 m

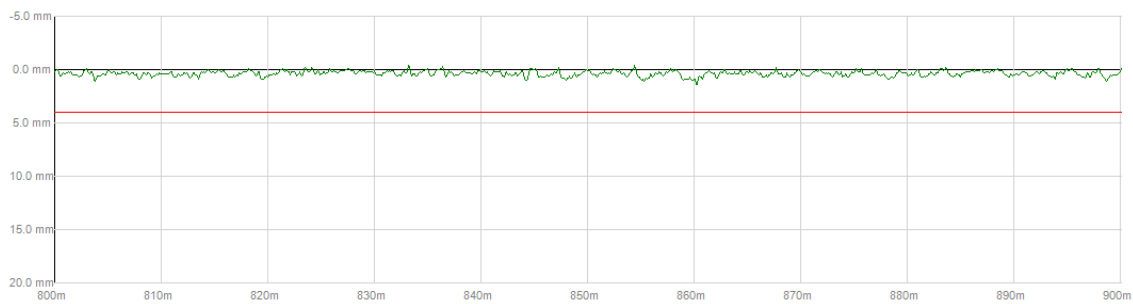


Abbildung A- 9: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 800 bis 900 m

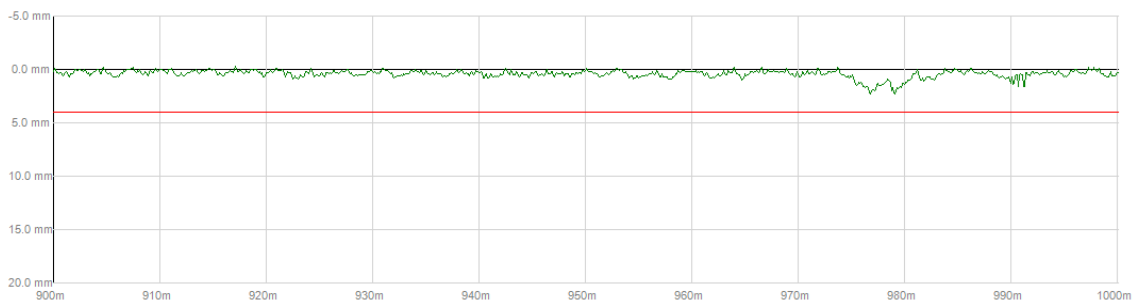


Abbildung A- 10: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 900 bis 1000 m

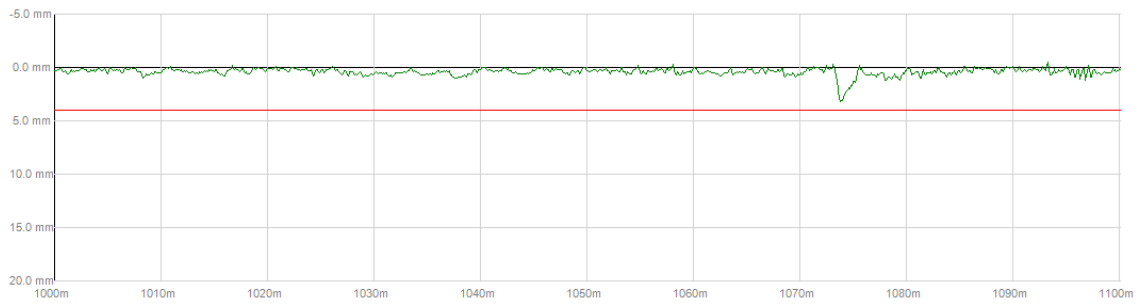


Abbildung A- 11: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1000 bis 1100 m

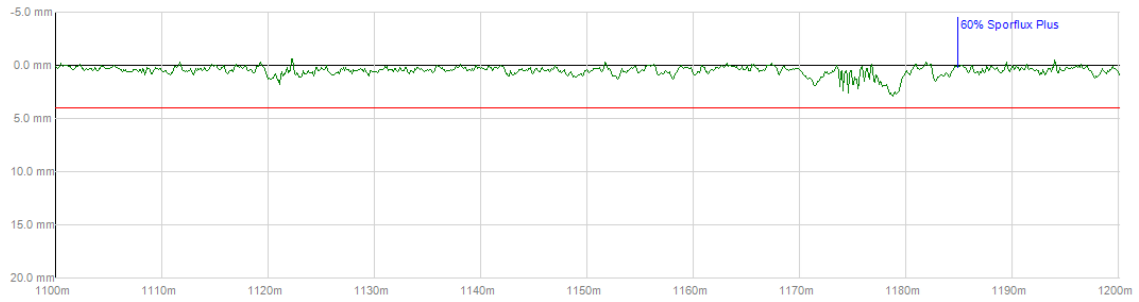


Abbildung A- 12: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1100 bis 1200 m

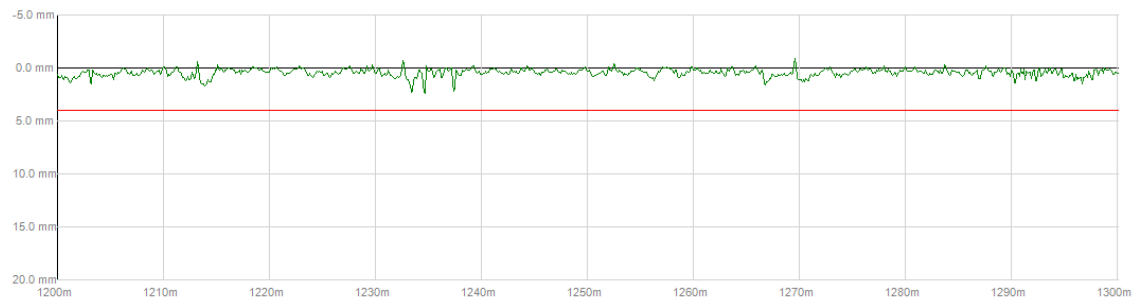


Abbildung A- 13: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1200 bis 1300 m

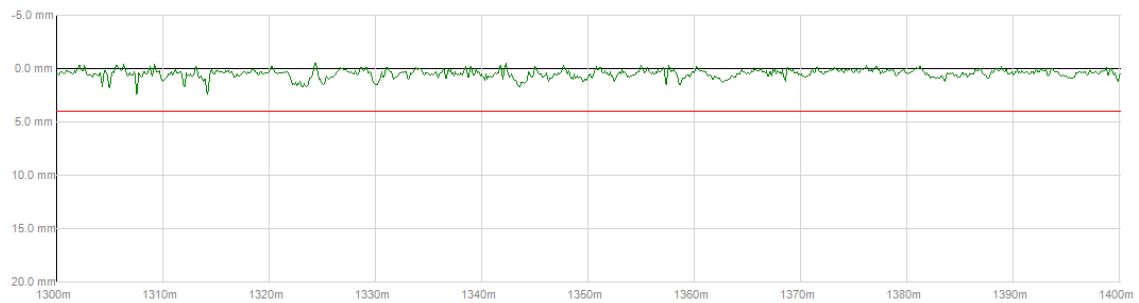


Abbildung A- 14: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1300 bis 1400 m

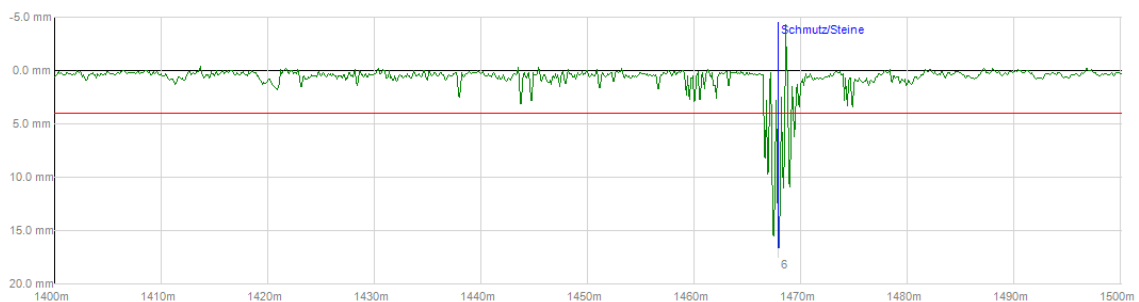


Abbildung A- 15: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1400 bis 1500 m

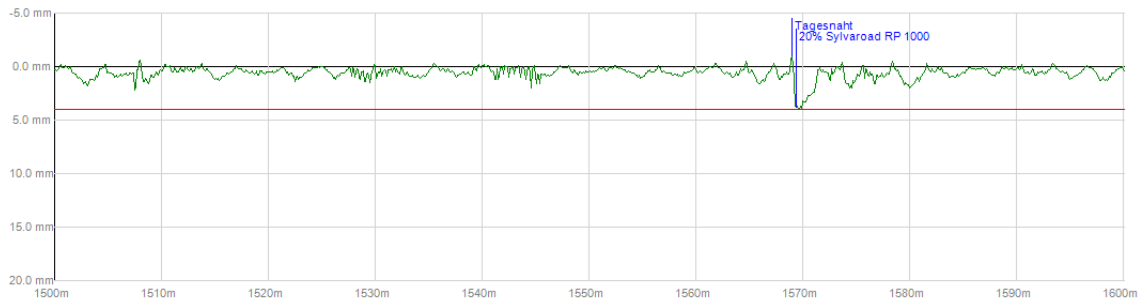


Abbildung A- 16: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1500 bis 1600 m

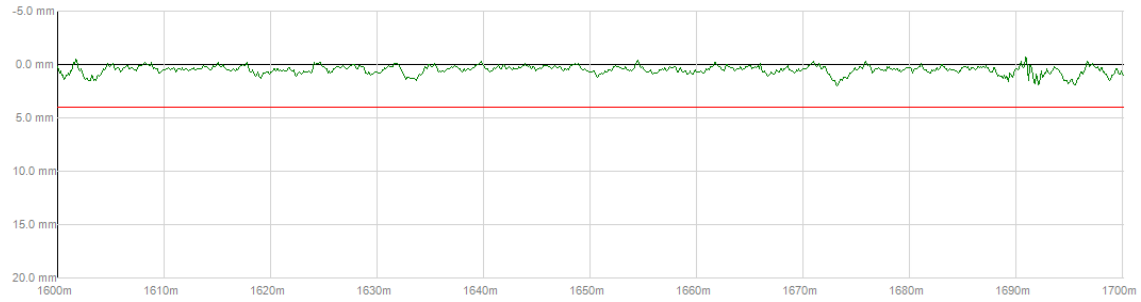


Abbildung A- 17: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1600 bis 1700 m

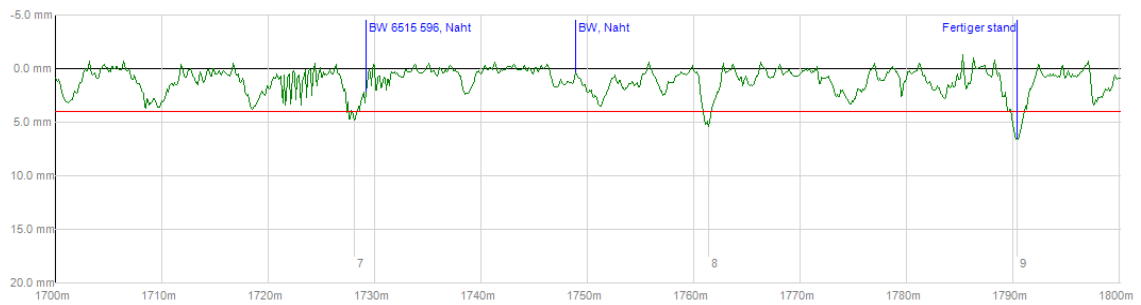


Abbildung A- 18: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1700 bis 1800 m

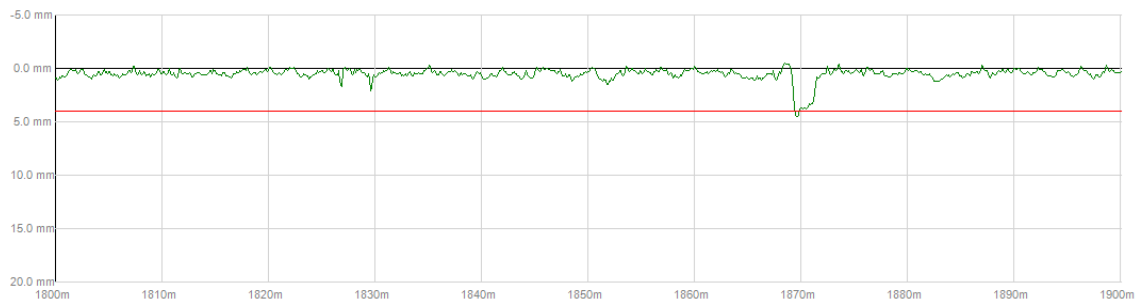


Abbildung A- 19: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1800 bis 1900 m

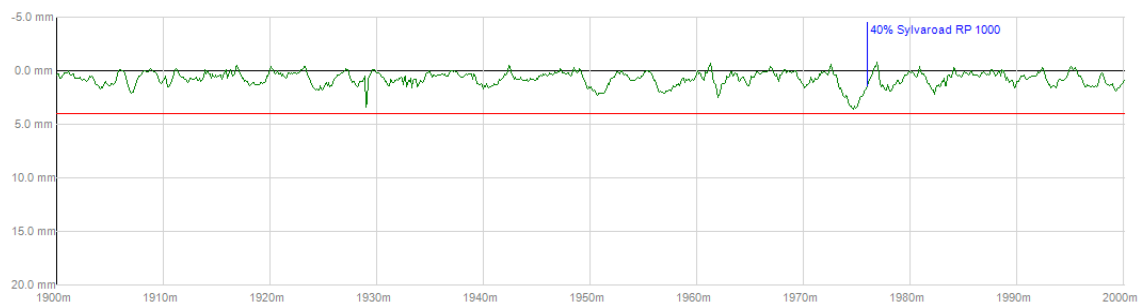


Abbildung A- 20: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 1900 bis 2000 m

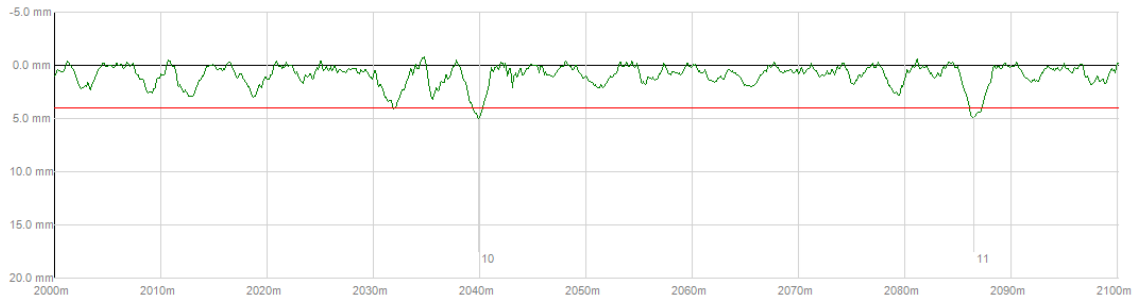


Abbildung A- 21: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2000 bis 2100 m

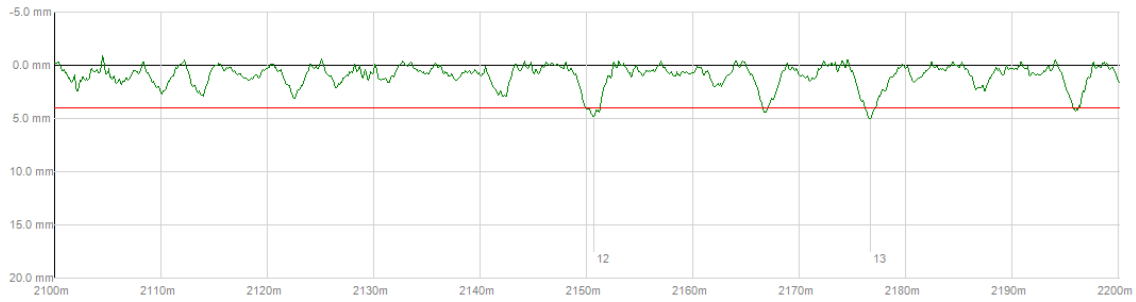


Abbildung A- 22: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2100 bis 2200 m

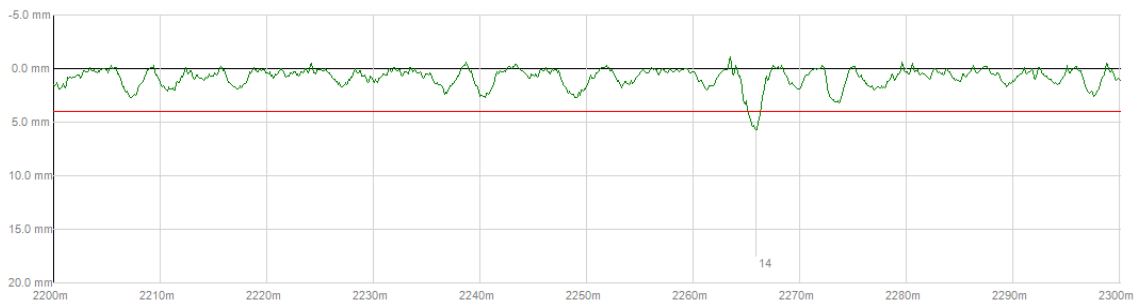


Abbildung A- 23: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2200 bis 2300 m

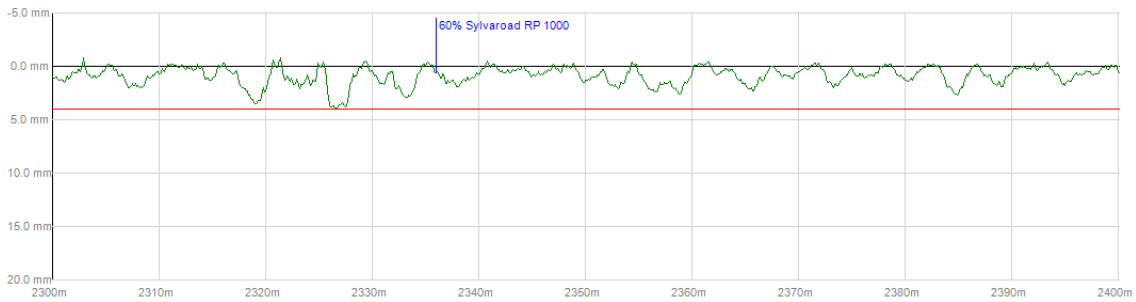


Abbildung A- 24: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2300 bis 2400 m

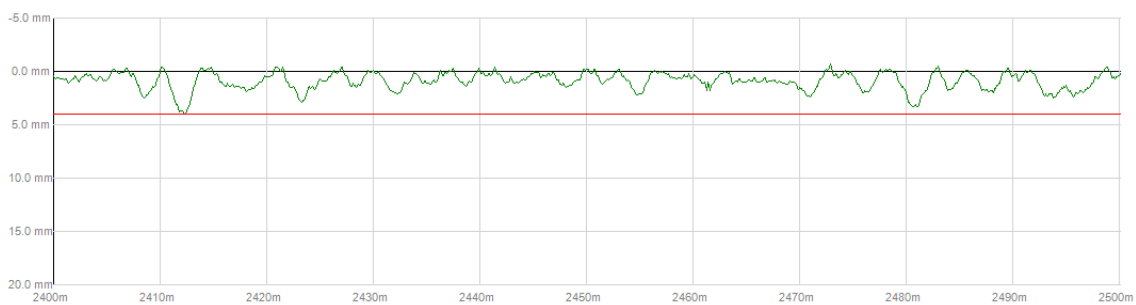


Abbildung A- 25: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2400 bis 2500 m

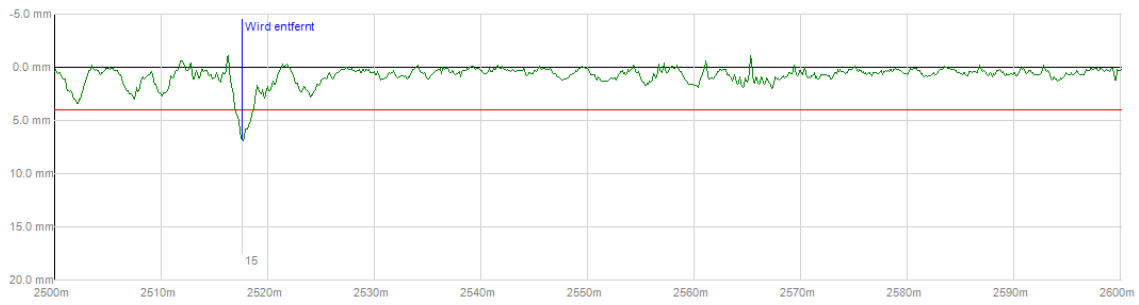


Abbildung A- 26: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2500 bis 2600 m

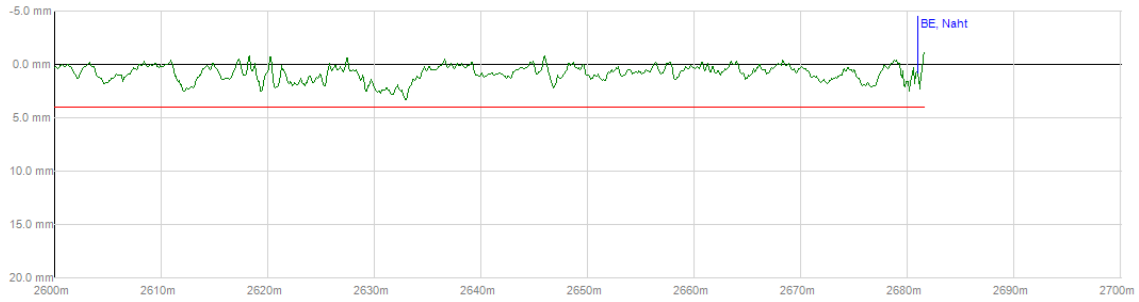


Abbildung A- 27: B 37 Fahrtrichtung Ludwigshafen – Bad Dürkheim 2600 bis 2680 m

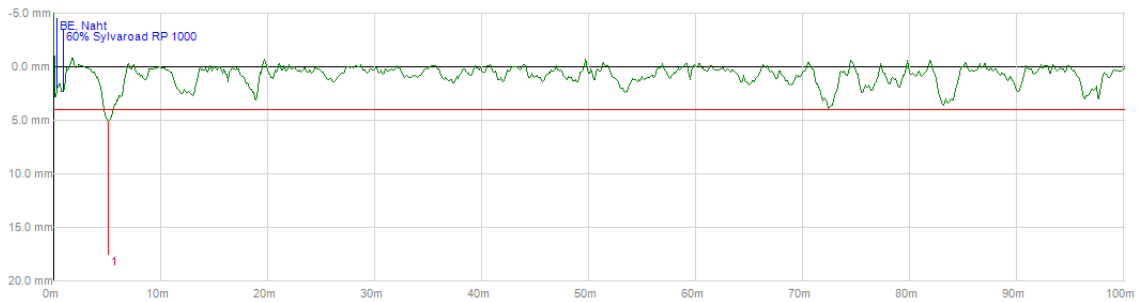


Abbildung A- 28: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 0 bis 100 m

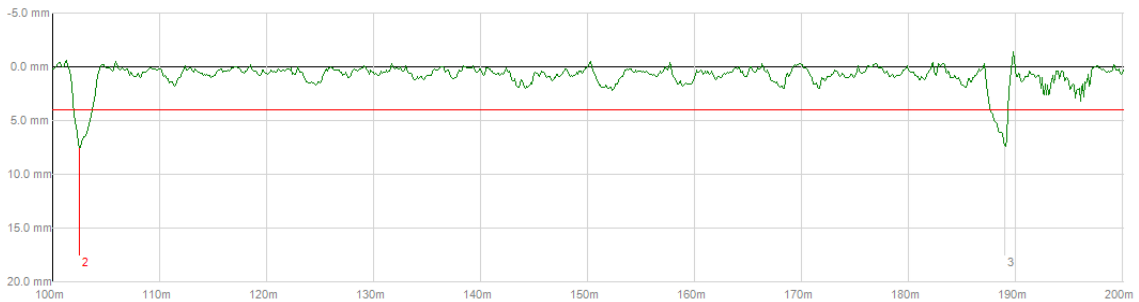


Abbildung A- 29: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 100 bis 200 m

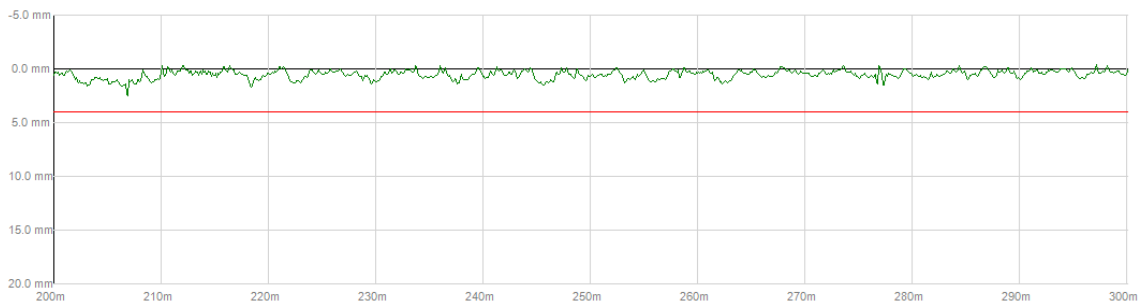


Abbildung A- 30: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 200 bis 300 m

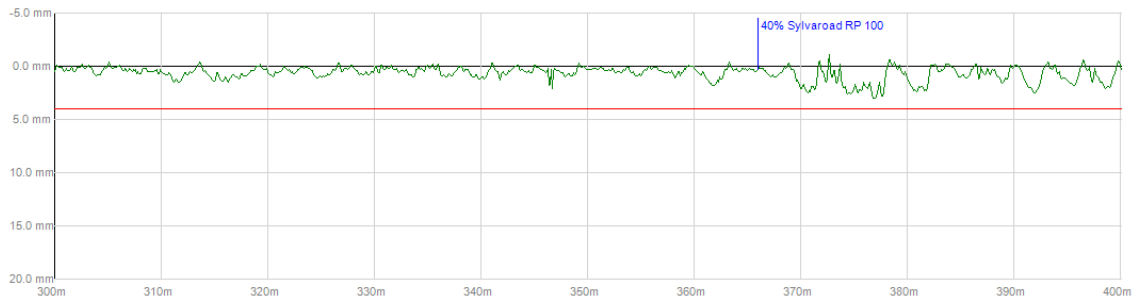


Abbildung A- 31: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 300 bis 400 m

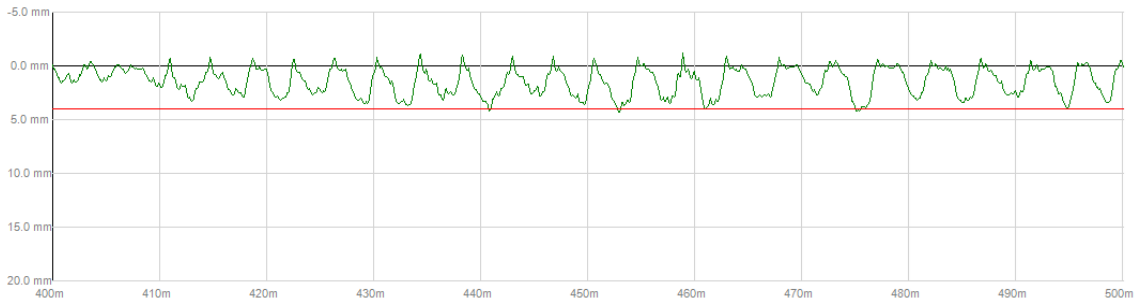


Abbildung A- 32: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 400 bis 500 m

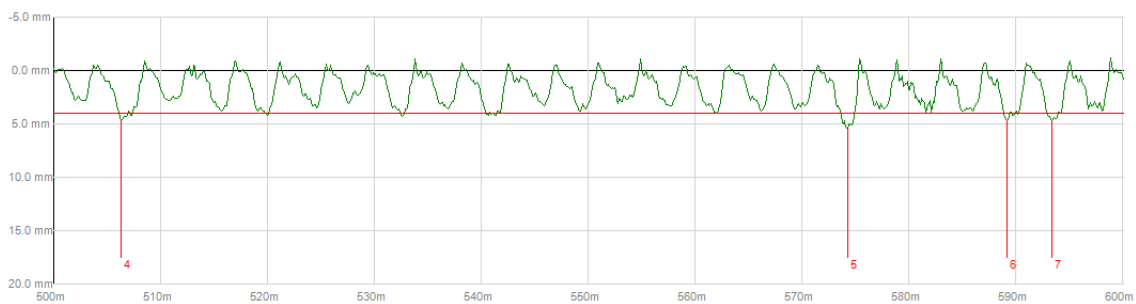


Abbildung A- 33: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 500 bis 600 m

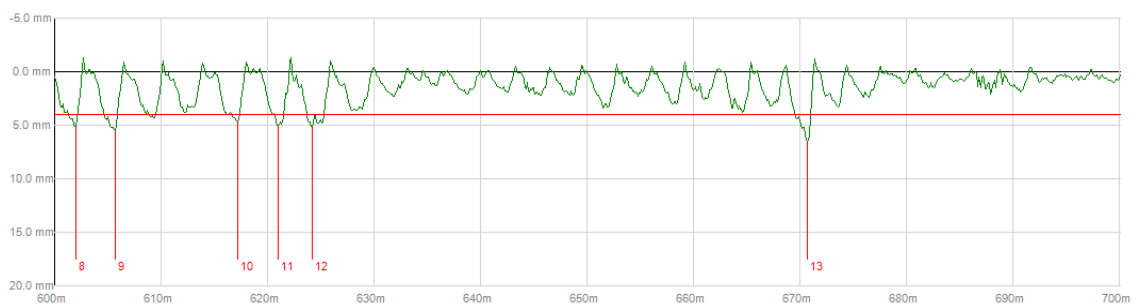


Abbildung A- 34: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 600 bis 700 m

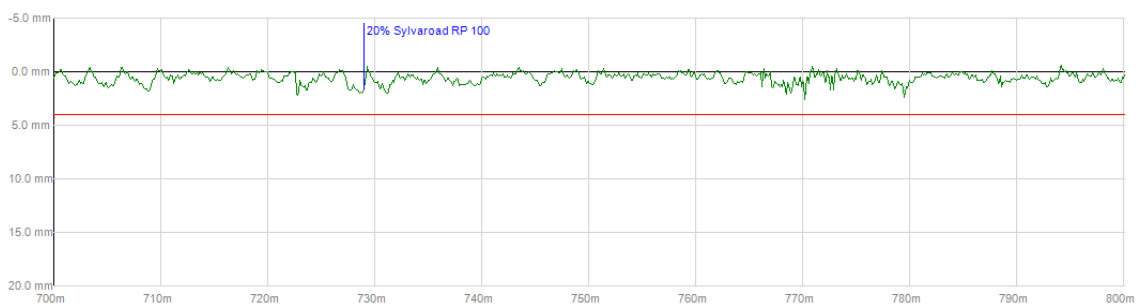


Abbildung A- 35: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 700 bis 800 m

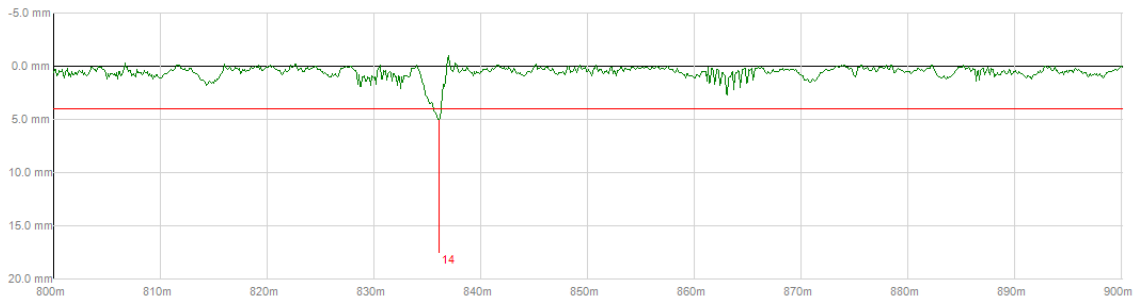


Abbildung A- 36: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 800 bis 900 m

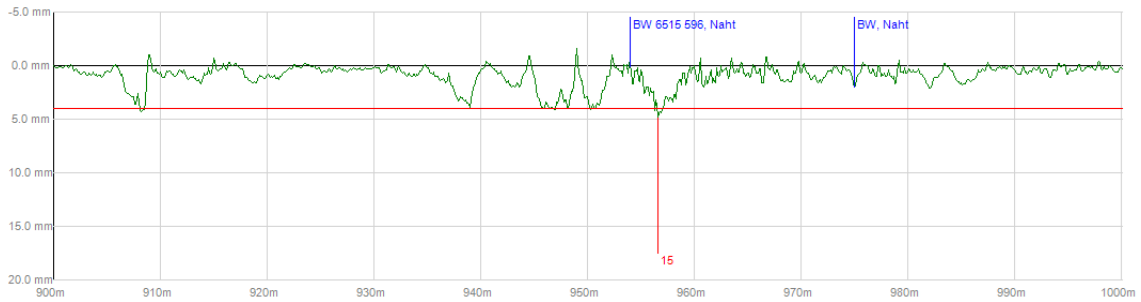


Abbildung A- 37: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 900 bis 1000 m

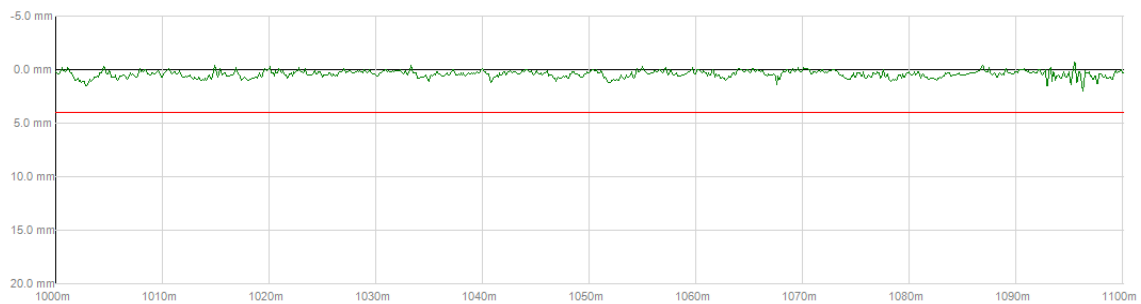


Abbildung A- 38: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1000 bis 1100 m

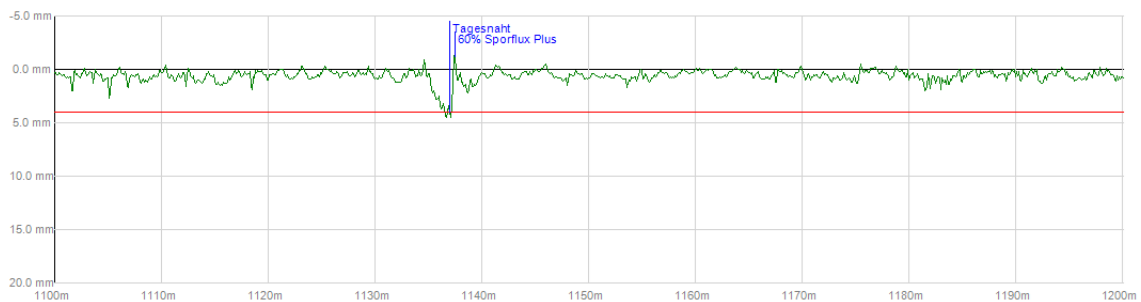


Abbildung A- 39: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1100 bis 1200 m

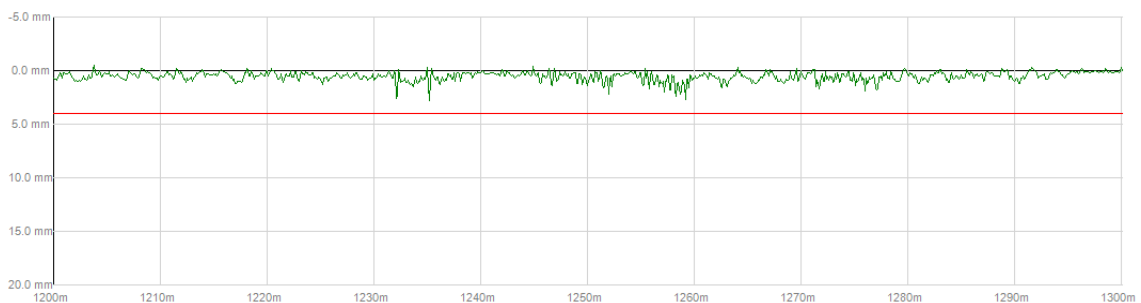


Abbildung A- 40: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1200 bis 1300 m

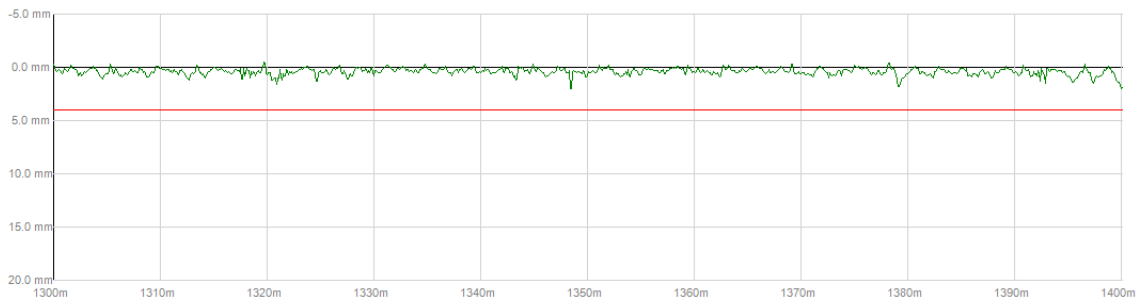


Abbildung A- 41: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1300 bis 1400 m

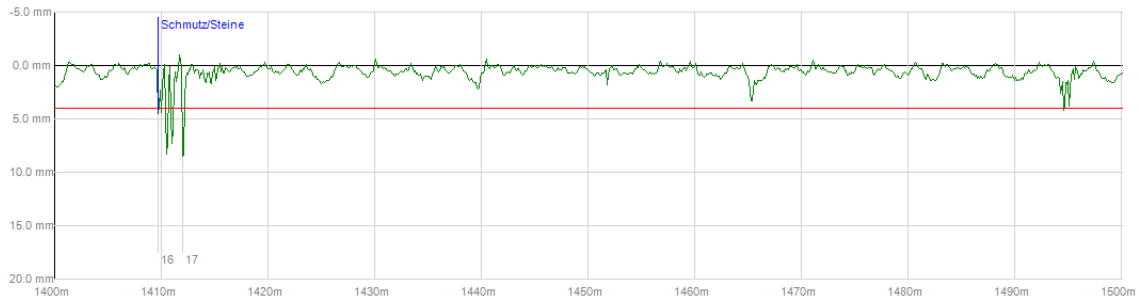


Abbildung A- 42: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1400 bis 1500 m

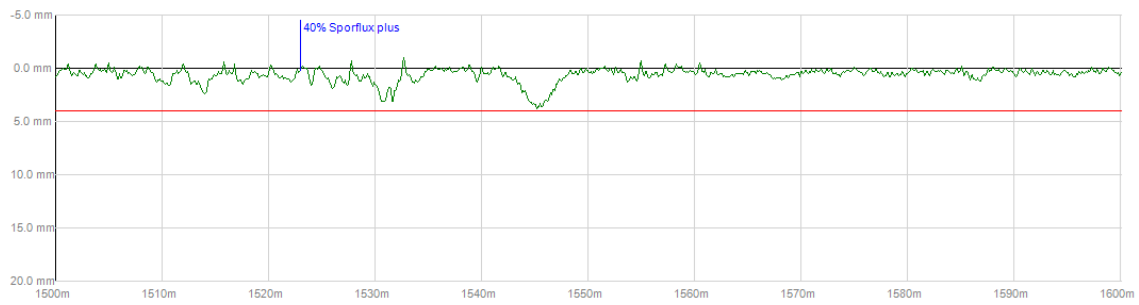


Abbildung A- 43: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1500 bis 1600 m

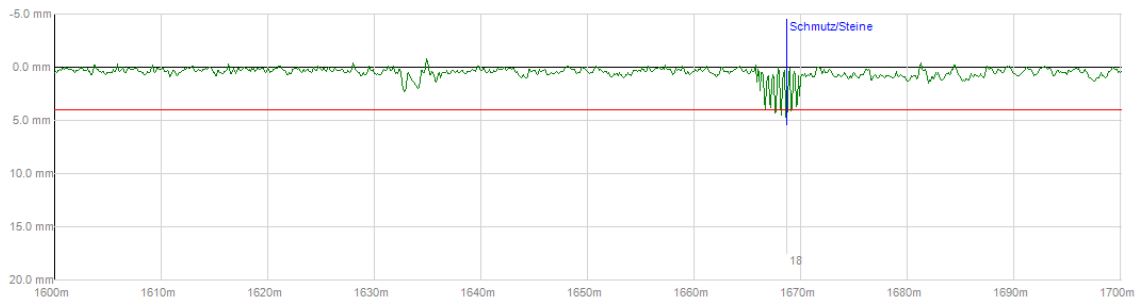


Abbildung A- 44: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1600 bis 1700 m

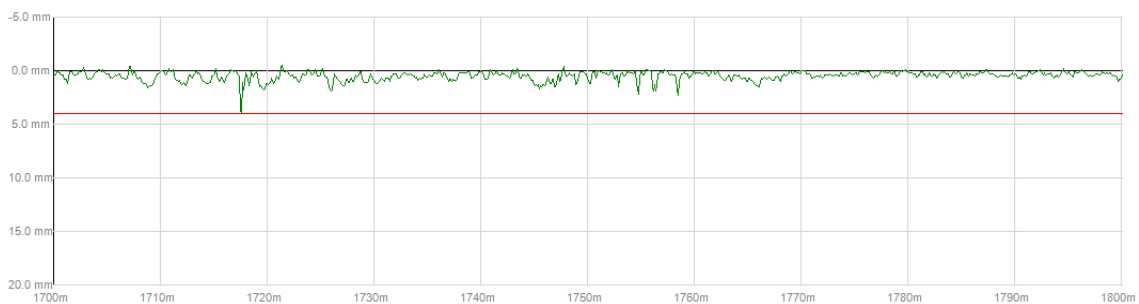


Abbildung A- 45: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1700 bis 1800 m

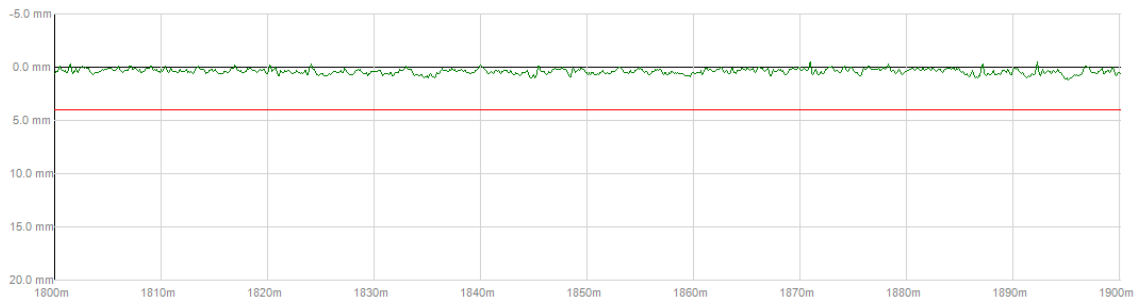


Abbildung A- 46: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1800 bis 1900 m

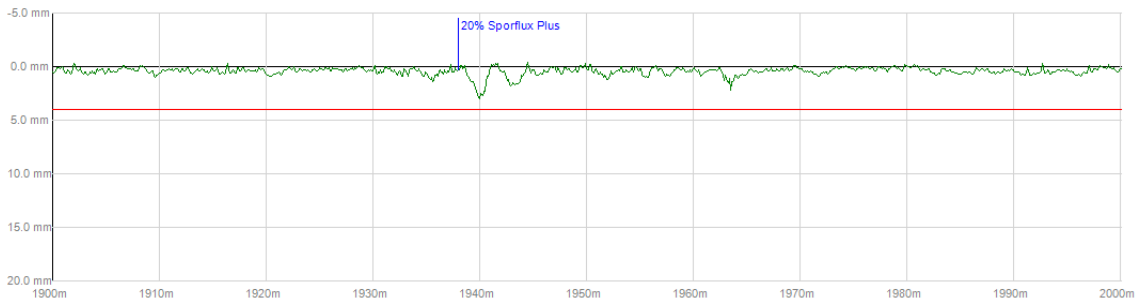


Abbildung A- 47: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 1900 bis 2000 m

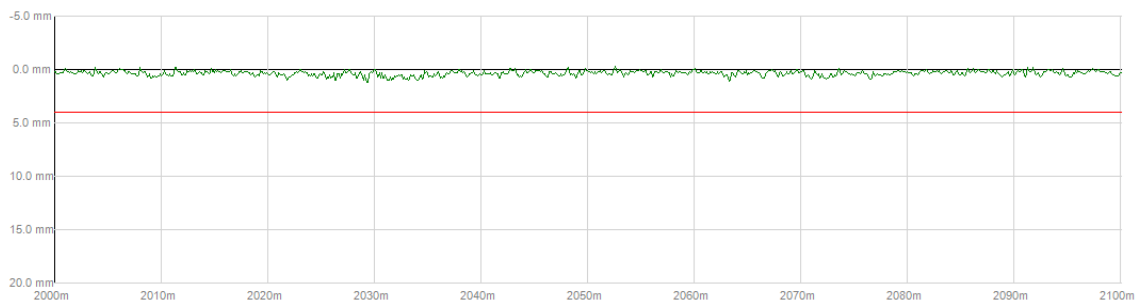


Abbildung A- 48: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2000 bis 2100 m

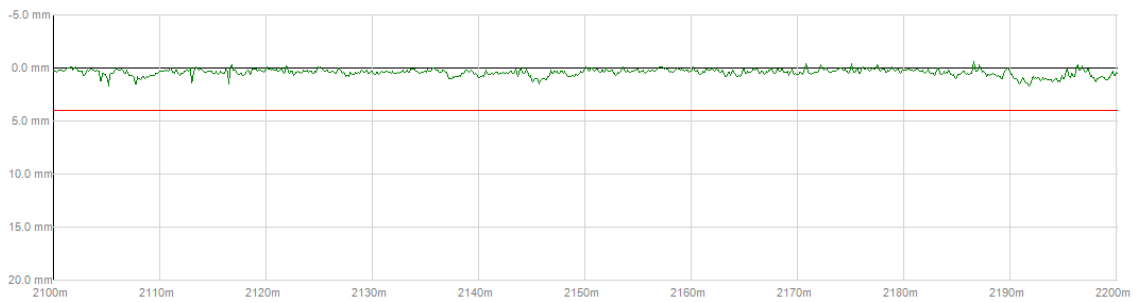


Abbildung A- 49: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2100 bis 2200 m

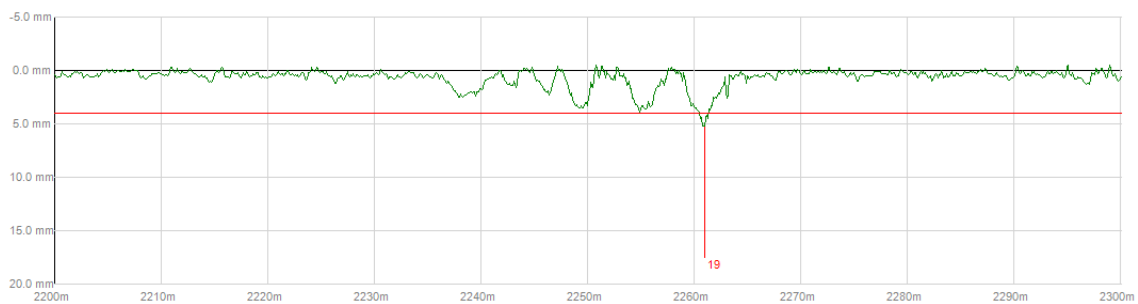


Abbildung A- 50: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2200 bis 2300 m

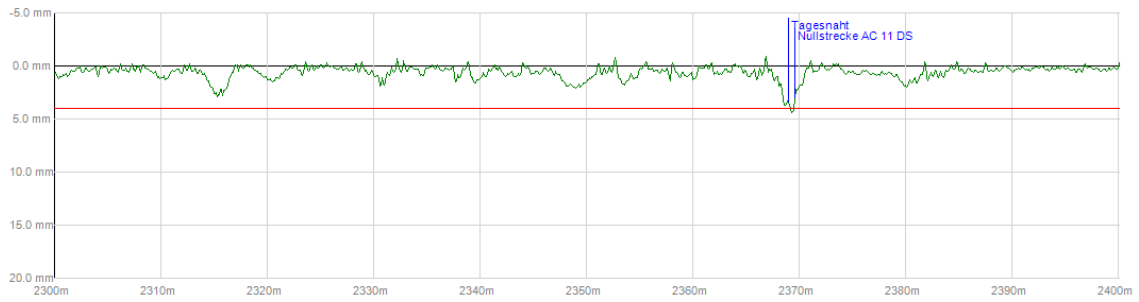


Abbildung A- 51: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2300 bis 2400 m

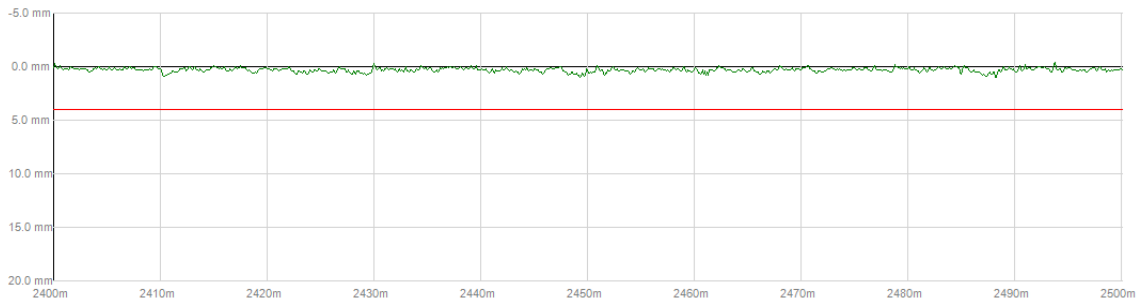


Abbildung A- 52: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2400 bis 2500 m

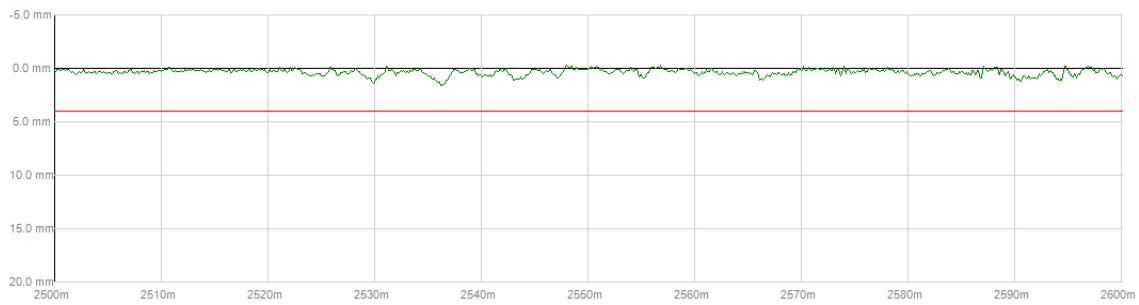


Abbildung A- 53: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2500 bis 2600 m

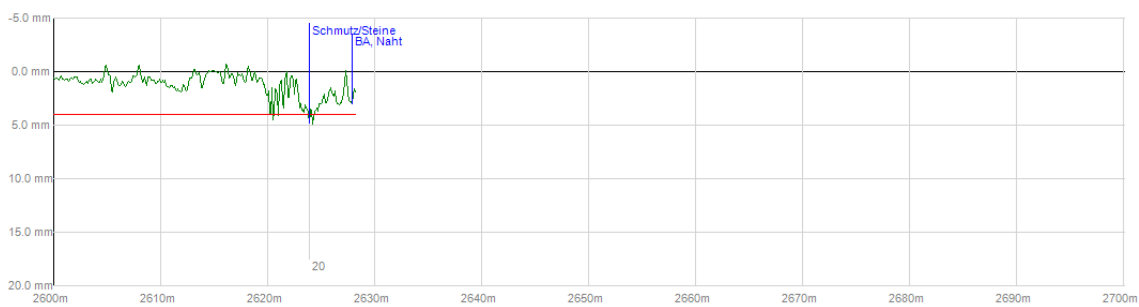


Abbildung A- 54: B 37 Fahrtrichtung Bad Dürkheim – Ludwigshafen 2600 bis 2630 m