

## Gebrauchsverhalten von Heißasphalt mit Asphaltgranulat unterschiedlicher Art und Menge sowie Ableitung eines einfachen Performance-Kriteriums

FA 7.299

Forschungsstellen: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Basalt-Actien-Gesellschaft, Köln

Bearbeiter: Schmidt, H. / Radenberg, M. / Holzwarth, S. / Breddemann, D. / Rudi, E. / Stephan, F.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: März 2021

### 1 Einleitung und Problemstellung

Asphaltstraßen erfüllen neben ihrem maßgebenden Beitrag zur Infrastruktur eine weitere wichtige Rolle. Sie stellen durch ihre Zusammensetzung aus Gesteinskörnung und auf Erdöl basierenden Bindemitteln ein "Lager" für zukünftige Ressourcen dar (urban mining). Durch die temperaturabhängigen viskoelastischen Eigenschaften des Asphalts ist dieser ein Baustoff, welcher mit einer hohen Wiederverwendungsrate auch mehrfach eingesetzt werden kann.

Im Zuge der Kreislaufwirtschaft, der Schonung von natürlichen Ressourcen und im Bestreben zur Minderung der Folgen des Klimawandels ist es notwendig, ressourceneffizient zu handeln und Baustoffe zu verwenden, welche eine hohe Wertigkeit hinsichtlich der Langlebigkeit, Reparaturfreundlichkeit und Wiederverwendbarkeit oder Verwertbarkeit aufweisen. Asphalt kann sowohl der Verwertung aber auch der Wiederverwendung zugeführt werden. Die Wiederverwendung ist die optimale Verwendung und bedeutet per Definition die erneute Benutzung eines Stoffs/Produkts für den gleichen Verwendungszweck – bezogen auf den Asphalt bedeutet dies den Einsatz von Asphaltgranulat bei der Produktion von Asphaltmischgut.

In Deutschland wurde durch die steigenden Investitionen in die Straßeninfrastruktur, insbesondere in die Straßenerhaltung, und dem damit verbundenen Anstieg an Bautätigkeiten mehr Ausbauasphalt erzeugt, als der Wiederverwendung zugeführt werden konnte. Dementsprechend ergeben sich regional Überangebote, für die geeignete Strategien zur Steigerung der Wiederverwendungsmengen und zur Erhöhung des Wertschöpfungsniveaus gesucht werden. [Deutscher Asphaltverband, 2020]

Um die Verwendung größerer Mengen an Ausbauasphalten möglich zu machen, ist es von elementarer Bedeutung, das Materialverhalten zielsicher ansprechen und beurteilen zu können. In vielen Forschungsprojekten wurden zahlreiche bau- und materialtechnische Erkenntnisse mit dem Einsatz von Asphaltgranulat gewonnen. Es müssen Mittel und Wege aufgezeigt werden, wie Asphaltgranulate, welche durch eine Beurteilung des

Erweichungspunkts Ring und Kugel nach [DIN EN 1427] als kritisch eingestuft werden, zielsicher über Performance-Kriterien als einsatzfähig oder nicht mehr verwendbar definiert werden können. Dies ist insbesondere unter Berücksichtigung der zukünftigen Entwicklung bei der mehrfachen Wiederverwendung von Asphalt eine wesentliche Aufgabe. Ein besonderes Augenmerk sollte in diesem Zusammenhang auch auf den Eigenschaften des Bitumens im Asphaltgranulat liegen.

### 2 Zielsetzung

Mit dem Forschungsprojekt sollte ein einfaches Performance-Kriterium zur Beurteilung des Gebrauchsverhaltens von Heißasphalt mit Asphaltgranulat geschaffen werden. In diesem Zusammenhang sollte auch die Möglichkeit des indirekten Nachweises einer Doppelumhüllung betrachtet werden. Unter Verwendung von zwei unterschiedlichen Asphaltgranulaten, welche sich hinsichtlich der Härte des rückgewonnenen Bindemittels unterscheiden, wurde der Einfluss der Art, Menge und Mischdauer auf die Asphaltperformance einer Asphaltbinderschicht AC 16 B und einer Asphalttragschicht AC 22 T untersucht.

Angestrebt wurde ein möglichst einfacher Performance-Ansatz, mit dem das Gebrauchsverhalten mit hinreichender Tiefe bewertet und zudem die Homogenisierung des Bindemittelgemisches abgeschätzt werden kann.

### 3 Untersuchungsprogramm

Das Forschungsprojekt wurde in vier Projektphasen unterteilt.

In der ersten Projektphase wurde als Basis für die tiefergehende Untersuchung eine Materialauswahl getroffen. Außerdem erfolgte eine nationale und internationale Literaturrecherche zu Einflussfaktoren auf die Asphalt-Performance mit Asphaltgranulat. Eine Voruntersuchung wurde unter Verwendung eines Asphaltgranulats in einem Asphalttragschichtmischgut AC T mit fünf verschiedenen Nachmischzeiten durchgeführt. Dabei wurde ein Ansatz zur Beurteilung der Homogenisierung von Rejuvenatoren aus dem Forschungsprojekt FE 07.0250/2011/LRB von [RADENBERG et al., 2016] analysiert. Durch den Vergleich der Asphaltsteifigkeit nach [TP Asphalt-StB, Teil 26] mit der Bindemittelsteifigkeit bei identischen Frequenzen und Temperaturen sollte ein Einfluss der Homogenisierung mit zunehmender Nachmischzeit untersucht werden. Im Projekt FE 07.0250/2011/LRB konnten eindeutige Abhängigkeiten zwischen den Materialkenngrößen analysiert werden. Ein bewusst im Labor nicht hinreichend homogenisiertes Mischgut sollte dann erwartungsgemäß zu abweichenden Ergebnissen führen.

In der zweiten Projektphase wurden die in Rücksprache mit dem Auftraggeber gewählten Asphaltgranulate hinsichtlich derer charakteristischen Asphaltgranulateigenschaften sowie den

Bindemittleigenschaften des rückgewonnenen Bindemittels analysiert.

Unter Verwendung der zwei Asphaltgranulate wurden Erstprüfungen für ein Asphalttragschichtmischgut AC 22 T und ein Asphaltbindermischgut AC 16 B erstellt. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die 38 Asphaltvarianten, welche in diesem Forschungsprojekt untersucht wurden. Neben den zwei Asphaltgranulaten, zwei Mischgutarten und den drei Zugabemengen

wurden drei unterschiedliche Nachmischzeiten (NMZ) am Mischwerk umgesetzt. Die Nachmischzeit hat sich in mehreren Forschungsprojekten als maßgebliche Einflussgröße auf die mechanischen Eigenschaften des Asphalts herausgestellt. Über den großen Variantenumfang sollte eine eindeutige Analyse der einzelnen Einflussfaktoren insbesondere hinsichtlich des Aufschlusses des Asphaltgranulats ermöglicht werden.

**Tabelle 1: Mischgutvarianten für die labortechnische Untersuchung**

AC T	Referenzvariante ohne AG		
	AG 1	20 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
		40 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
		60 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
	AG 2	20 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
		40 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
60 M.-%		NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>	
AC B	Referenzvariante ohne AG		
	AG 1	20 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
		40 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
		60 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
	AG 2	20 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
		40 M.-%	NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>
60 M.-%		NMZ <sub>1</sub> , NMZ <sub>2</sub> , NMZ <sub>3</sub>	

Das Mischgut wurde anschließend gemäß den Erstprüfungen großtechnisch an einer für das Untersuchungskonzept geeigneten Asphaltmischanlage in Groß Bülten durch die DEUTAG Nord, Zweigniederlassung der BAG, hergestellt. Ausschlaggebend für die Wahl dieses Standorts waren der Lagerort des Asphaltgranulats, die vorhandene Paralleltrommel sowie das Personal an dieser Mischanlage, das über große Erfahrungen mit der Zugabe von hohen Granulatanteilen verfügt.

Das großtechnisch hergestellte Asphaltmischgut sollte in der dritten Projektphase hinsichtlich der Asphaltperformance untersucht werden. Dafür wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Spaltzug-Schwellversuch zur Bestimmung der Ermüdungsfunktion gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 24]
- Spaltzug-Schwellversuch zur Bestimmung der Steifigkeits-Temperaturfunktion im Multistage-Verfahren gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26]
- Prüfung des Tieftemperaturverhaltens (Abkühlversuch und einaxialer Zugversuch bei vier Temperaturen) gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 46 A]
- Untersuchungen zur Verformungsbeständigkeit mit dem einaxialen Druck-Schwellversuch gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1]
- Verdichtbarkeit von Asphalt mithilfe des Marshall-Verfahrens gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 10 B]

Das Asphaltmischgut wurde darüber hinaus hinsichtlich der Zusammensetzung und der Bindemittleigenschaften, beurteilt anhand des Erweichungspunkts Ring und Kugel gemäß [DIN EN 1427] sowie der komplexen Schermoduln und Phasenwinkel in Anlehnung an [DIN EN 14779], untersucht.

In der letzten Projektphase wurden für die Varianten ohne und mit maximaler Asphaltgranulatzugabemenge (60 M.-%) Probefelder hergestellt. Aus den Probefeldern wurden anschließend Bohrkern entnommen, mit welchen die Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Asphalt-Performance (Bestimmung der Ermüdungsfunktion, der Steifigkeits-Temperaturfunktion sowie des Tieftemperaturverhaltens) analog zu den Untersuchungen in Projektphase 3 durchgeführt wurden.

## 4 Ergebnisse, Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Performance-Prüfungen am Asphalt wurden in einem ersten Schritt isoliert hinsichtlich der Prüfgenaugigkeit und Plausibilität bewertet. Dabei wurde festgestellt, dass die Prüfverfahren zur Bestimmung der Verdichtbarkeit und des Verformungswiderstands keine belastbaren Prüfergebnisse lieferten. Die Ergebnisse der Verdichtbarkeit differenzieren unter Berücksichtigung der Verfahrenspräzision nicht hinreichend. Bei der Bestimmung des Verformungswiderstands wurde festgestellt, dass das Vorliegen unterschiedlicher Abbruchkriterien (10 000 Lastwechsel oder 40 ‰ Dehnung) in Kombination mit unterschiedlichen Verläufen (mit oder ohne Wendepunkt) eine generelle Beurteilung basierend auf diesem Prüfverfahren

unmöglich macht. Eine gesamtheitliche Betrachtung der Prüfergebnisse (Tabelle 2) soll ermöglichen, systematische Abhängigkeiten von der Nachmischzeit oder der Zugabemenge ableiten zu können. Für diesen Schritt wurde eine Normierung der Messergebnisse je Prüfverfahren, isoliert nach Asphalttrag- und Asphaltbinderschicht durchgeführt. Die Normierung sieht dabei eine Werteskala von 0 ("schlechteste" Variante) bis 10 ("beste"

Variante) vor. So wird je Prüfverfahren die Variante mit dem geringsten Verdichtungs-, höchsten Verformungswiderstand, besser Kälteflexibilität, geringster elastischen Dehnung bei 10 000 Lastwechseln und der geringsten Streuung des Elastizitätsmoduls, bei Betrachtung der temperaturinvarianten Masterkurven, mit dem Wert 10 belegt.

**Tabelle 2: Normierung zur gesamtheitlichen Beurteilung der Prüfergebnisse**

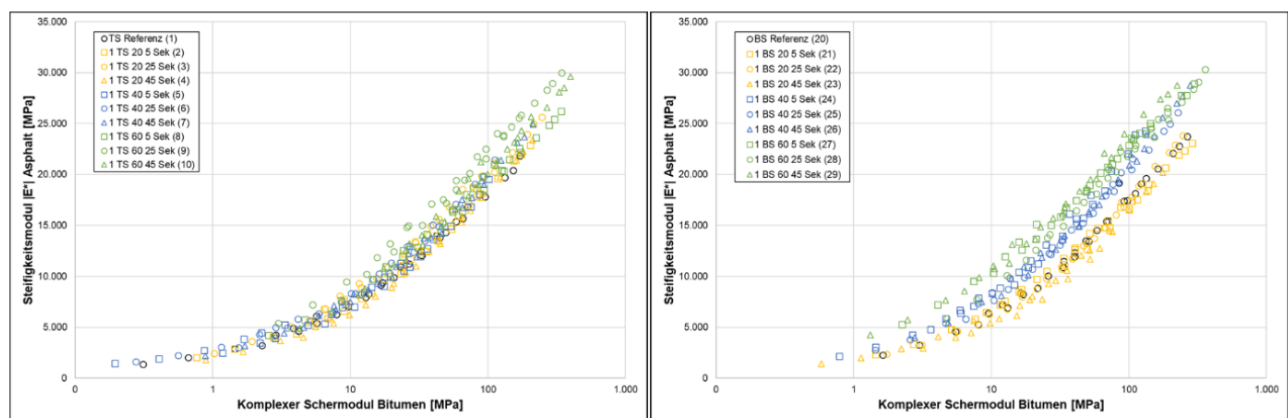
	Nachmischzeit [s]	Verdichtbarkeit	Verformungswiderstand	Kälte (ZFR)	Ermüdung $\epsilon_4$	Steifigkeitsmodul
TS Ref	25	4,4	5,4	10,0	10,0	0,0
1 TS 20	5	2,8	6,0	5,9	7,4	8,6
	25	8,4	10,0	4,1	6,3	9,4
	45	9,1	7,6	6,2	6,6	8,7
1 TS 40	5	8,5	8,9	7,4	6,8	7,9
	25	4,8	7,1	6,5	4,6	7,5
	45	0,5	7,3	6,3	5,2	7,9
1 TS 60	5	7,7	0,7	2,9	1,0	8,4
	25	7,7	3,1	2,1	0,2	7,0
	45	6,6	3,9	2,1	2,3	9,3
2 TS 20	5	0,0	7,8	5,4	8,3	6,6
	25	4,1	7,7	5,1	5,6	10,0
	45	5,4	9,5	5,7	7,8	8,0
2 TS 40	5	4,7	8,2	5,5	1,3	9,4
	25	10,0	2,6	6,1	2,1	6,6
	45	8,3	0,0	5,4	3,1	8,6
2 TS 60	5	7,1	7,8	0,0	0,0	7,0
	25	8,9	4,4	2,6	0,8	7,8
	45	7,7	1,2	4,7	3,8	9,2
BS Ref	25	2,0	1,8	5,2	9,7	4,3
1 BS 20	5	0,0	2,8	4,8	7,2	7,2
	25	1,5	4,4	7,4	8,4	8,6
	45	3,6	5,7	10,0	10,0	5,2
1 BS 40	5	4,5	5,9	9,4	6,2	6,3
	25	5,4	5,0	4,3	7,5	10,0
	45	6,7	9,4	3,5	4,6	8,5
1 BS 60	5	3,1	4,7	1,4	4,9	8,5
	25	6,2	10,0	2,3	3,0	7,0
	45	7,7	4,3	2,6	3,2	7,9
2 BS 20	5	1,7	4,4	3,5	4,8	5,5
	25	4,3	5,8	3,9	1,7	4,0
	45	3,1	5,0	7,5	7,4	6,7
2 BS 40	5	5,4	0,0	7,6	1,4	0,0
	25	6,4	1,1	7,9	1,7	4,6
	45	9,6	2,6	5,7	2,0	8,7
2 BS 60	5	10,0	4,7	1,2	0,9	6,0
	25	9,3	5,9	0,0	0,0	0,6
	45	8,7	5,6	1,4	0,4	6,3

Die Betrachtung des Einflusses der Nachmischzeit auf die Ergebnisse im Tieftemperaturverhalten, der Asphaltsteifigkeit und der Ermüdung erlaubt keine gesicherte Schlussfolgerung. Es muss festgestellt werden, dass die Prüfergebnisse innerhalb jeder Variante unterschiedliche Verläufe aufweisen. Die Streuungen von Untersuchungsergebnissen hängen allgemein von der Präzision des jeweiligen Prüfverfahrens, der sorgfältigen Gewinnung der Messprobe aus der Laboratoriumsprobe und der Entnahme von Proben auf der Baustelle oder im Asphaltmischwerk ab. Eine mögliche Erklärung für die Abweichungen der Prüfungen dieses Forschungsprojekts sind in der Abweichung der Mischgutzusammensetzung zwischen Erstprüfung und großtechnisch hergestelltem Asphaltmischgut zu finden.

Bei der Auswertung der Asphaltgranulatzugabemenge (Vergleich bei 25 s Nachmischzeit) kann festgestellt werden, dass lediglich für die Varianten der Asphaltbinderschicht mit

Asphaltgranulat 1 eine einheitliche, dem erwarteten Zusammenhang entsprechende Systematik zu erkennen ist. Diese Varianten zeigten auch die höchste Gleichmäßigkeit in der Mischgutzusammensetzung. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass die Prüfung der Ermüdung nach [TP Asphalt, Teil 24] über alle Varianten eine gleichbleibende Systematik aufweist und hervorgehoben werden muss. In diesem Zusammenhang ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Prüfung der Asphalttermüdung keine Regelprüfung für Asphaltbinderschichten darstellt.

Ein möglicher Performance-Ansatz dieses Forschungsprojekts war die Analyse und der Vergleich der Steifigkeiten des Asphalts mit denen des verwendeten Bitumens (Gemisch aus Frischbitumen und Bitumen im Asphaltgranulat). Dieser Ansatz wurde für die vorliegenden 38 Datensätze untersucht und ist in Bild 1 für die Varianten mit Asphaltgranulat 1 dargestellt.



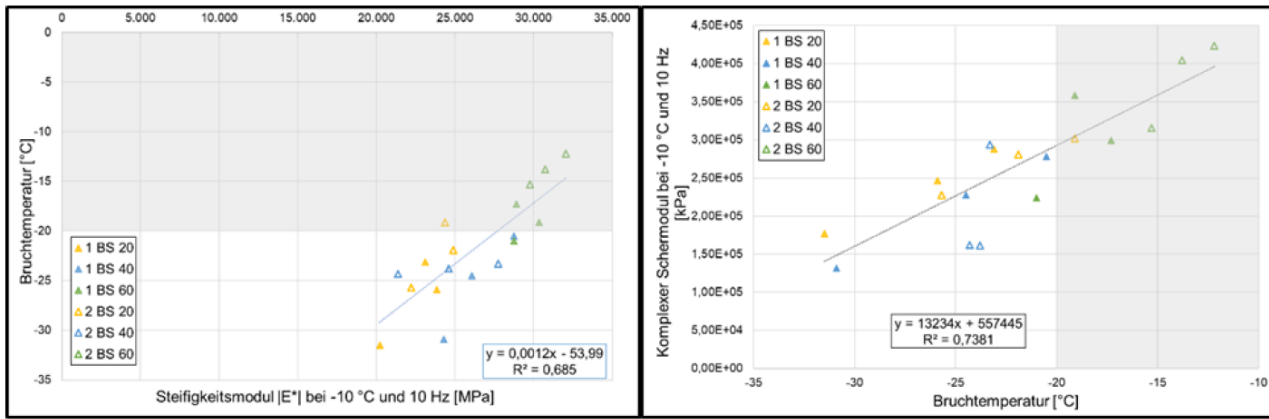
**Bild 1: Zusammenhang zwischen Bindemittel- und Asphaltsteifigkeit der Asphaltbinderschichten und Asphalttragschichten unter Verwendung von Asphaltgranulat 1**

Mit den Ergebnissen dieses Forschungsprojekts konnte der Zusammenhang zwischen Bindemittel und Asphaltsteifigkeit bestätigt werden. Die Ergebnisse differenzieren jedoch nicht ausreichend, weswegen ein Rückschluss auf den Homogenisierungsprozess und die Doppelumhüllung nicht zweifelsfrei getroffen werden kann.

Zur Ableitung eines Performance-Kriteriums für das Gebrauchsverhalten von Heißasphalt mit Asphaltgranulat wurde der Zusammenhang zwischen Bindemittel- und Asphaltsteifigkeit herangezogen. Ein möglicher Ansatz sah die Definition von "kritischen" Bereichen in den dargestellten Zusammenhängen, basierend auf den Ergebnissen des Tieftemperaturverhaltens nach [TP Asphalt, Teil 46 A] vor. Dafür wurde der Zusammenhang zwischen der Bruchtemperatur und der Steifigkeit des Asphalts am kältesten Messpunkt der Steifigkeits-Temperaturfunktion (für 10 Hz unter Verweis auf die in der Regel für die RDO Asphalt verwendete Frequenz sowie für 1 Hz zur Berücksichtigung prüftechnischer Elemente) geprüft. Unter Berücksichtigung des Arbeitspapiers Tieftemperaturverhalten von Asphalt,

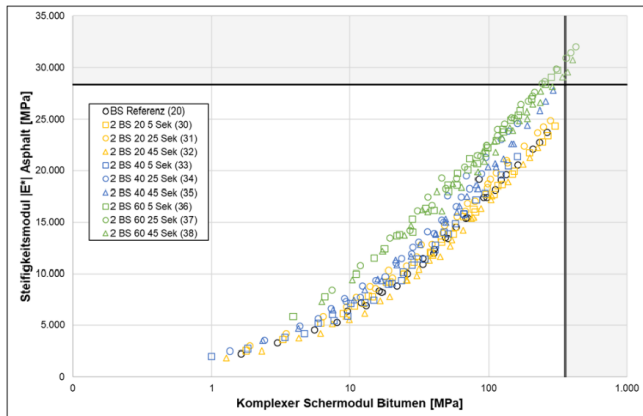
Teil 1 [AP TTV, Teil 1], lässt sich in Abhängigkeit von der Frosteinwirkungszone (hier beispielhaft für Zone II) ein kritischer Bereich für die Ausfalltemperatur definieren. Dieser ist nachfolgend am Beispiel der Asphaltbinderschicht in Bild 2 (links) farblich hinterlegt. Bei dem Vergleich zwischen der Bruchtemperatur im Abkühlversuch und der Bindemittelsteifigkeit des rückgewonnenen Bindemittels bei -10 °C und 10 Hz ergibt sich für die Asphaltbinderschicht der in Bild 2 (rechts) nach [AP TTV, Teil 1] definierte, kritische Bereich. Die Zusammenhänge bei einer Prüffrequenz von 1 Hz bestätigten die festgestellten Korrelationen mit ähnlichen Bestimmtheitsmaßen.

Anhand von Bild 2 lässt sich als kritische Steifigkeit für die Asphaltbinderschicht ein E-Modul von 28 325 MPa und eine kritische Bindemittelsteifigkeit von 292 765 kPa ableiten. Bei der Betrachtung des rückgewonnenen Bindemittels wurde zur Berücksichtigung des Phasenwinkels darüber hinaus die Korrelation mit dem Verlustmodul betrachtet, diese ergab jedoch keine höhere Präzision und wurde daher nicht weiter berücksichtigt.



**Bild 2:** Vergleich der Bruchtemperatur aus dem Abkühlversuch mit der Steifigkeit bei -10 °C und 10 Hz (links) und mit der Bindemittelsteifigkeit des rückgewonnenen Bindemittels bei -10 °C und 10 Hz (rechts) – Asphaltbinderschichten

Die ermittelten kritischen Bereiche lassen sich auf die in Bild 1 dargestellten Zusammenhänge übertragen und würden einen kritischen Bereich der Steifigkeit unter Berücksichtigung der Tieftemperatureigenschaften definieren. Dieser ist nachfolgend beispielhaft für die Varianten der Asphaltbinderschicht mit Asphaltgranulat 2 in Bild 3 dargestellt. Der kritische Bereich ist farbig hinterlegt und kann für Messwerte bei 10 Hz und -10 °C definiert werden.



**Bild 3:** Definition kritischer Bereiche für die Asphalt- und Bindemittelsteifigkeit der Asphaltbinderschichten mit Asphaltgranulat 2 unter Berücksichtigung der Tieftemperaturperformance

Basierend auf den beschriebenen Zusammenhängen lässt sich eine Empfehlung für den weiteren Umgang mit Asphaltgranulat definieren. So können Mischguthersteller anhand einer Probe-mischung mit Asphaltgranulat sowie einer anschließenden Ex-traktion und DSR-Prüfung des Bindemittels die Performance-Wirkung im Asphaltmischgut prognostizieren. Zur Kontrolle der Asphaltperformance sind für den Auftraggeber Prüfungen von Steifigkeits- und/oder Abkühlversuchen zu empfehlen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die Datengrundlage dieses For-schungsprojekts, unter anderem aufgrund bewusst gewählter Inhomogenität bei 5 s Nachmischzeit, zu schwach für eine

fundierte Aussage ist und durch weitere Forschung validiert werden sollte.

Zusammenfassend ist jedoch festzustellen, dass basierend auf den Ergebnissen dieses Forschungsprojekts keine finale Bewer-tung des Gebrauchsverhaltens von Heißasphalt mit Asphaltgranu-lat möglich ist. Die vielen Einflussparameter, wie die groß-technische Herstellung, Variation der Nachmischzeit, Auswahl von Asphaltgranulat mit einer sehr hohen Bindemittelhärte so-wie die Variation der Asphaltgranulatzugabemenge resultierten in teils stark inhomogenen Proben, welche eine systematische Analyse schwierig machten. Es wird empfohlen, in weiterer For-schung die einzelnen Einflussfaktoren systematisch in einem Labormaßstab zu analysieren, um unerwünschte Effekte auf die Asphalt-Performance identifizieren und für die weitere Prüfung ausschließen zu können. Basierend auf den Erkenntnissen die-ses Forschungsprojekts wurden Empfehlungen für zukünftige Projekte abgeleitet, um Streuungen durch die Probenahme an Asphaltmischwerken zu minimieren.