

# Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgemischten, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht

FA 7.258

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Lehrstuhl Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Bearbeiter: Radenberg, M. / Miljković, M. / Schäfer, V.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Februar 2014

## 1 Aufgabenstellung

Ausbauasphalt wird vor dem Hintergrund der steigenden Bitumenpreise zu einem Baustoff mit zunehmender wirtschaftlicher Bedeutung. Bei der Wiederverwendung im Heißmischverfahren kann das Bindemittel im Asphaltgranulat technisch und wirtschaftlich berücksichtigt werden. Bei einem mit Bitumenemulsion gebundenen Gemisch mit Asphaltgranulat ist die Möglichkeit einer solchen hochwertigen Wiederverwendung bisher noch nicht nachgewiesen worden. Das Ziel des Forschungsprojekts war daher die Bestimmung und Optimierung eines zwangsgemischten Kaltmischguts mit einem Schwerpunkt auf der Aktivierbarkeit des im Ausbauasphalt befindlichen Altbindemittels. Der Nachweis der Aktivierung sollte über die Ermittlung der ermüdungsrelevanten Materialkenndaten erfolgen. Mit der Quantifizierung des Einflusses des Asphaltgranulats auf die für die Dimensionierung eines Straßenoberbaus erforderlichen Materialkenndaten sollten dann Hinweise und Empfehlungen zur Erstellung einer Erstprüfung sowie gesicherte Angaben zu den verkehrbelastungsabhängigen Schichtdicken erkennbar sein.

Durch einen Vergleich der statistisch auszuwertenden baubegleitenden Untersuchungsergebnisse an einer Baumaßnahme mit Kaltfundationsschicht (BAB A 30), die in den Jahren 2003 bis 2005 gebaut wurde, sollten die Unterschiede und Optimierungspotenziale dargestellt werden.

Anhand von Dimensionierungsberechnungen mit dem Programm PaDesTo sollten abschließend wirtschaftlich und technisch sinnvolle Oberbaukonzepte unter Einbindung einer Kaltasphalttragschicht erarbeitet werden, um hieraus Hinweise und gegebenenfalls sinnvollen Forschungsbedarf abzuleiten.

## 2 Untersuchungsmethodik

Mit dem Ziel der Bestimmung und Optimierung der Einflussgröße auf die dimensionierungsrelevanten Kennwerte wurden folgende Parameter im Rahmen der Laboruntersuchungen variiert:

- Art des Asphaltgranulats,
- Anteil an Asphaltgranulat,
- Art der Bitumenemulsion und
- Anteil an Bitumenemulsion.

Zur Festlegung eines optimalen Bindemittelgehalts wurden zunächst Probekörper nach dem Doppelkolbenprinzip hergestellt und nach 7 beziehungsweise 28 Tagen im statischen Spaltzugversuch geprüft. Dies wurde an 12 unterschiedlichen Kaltasphaltgemischen durchgeführt.

Nach Auswertung dieser Ergebnisse wurden aus 14 Gemischvarianten und zwei Referenzgemischen (ein Heiß- und ein Kaltasphalt) Asphalt-Probepplatten im Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV) hergestellt. Als Verdichtungsverfahren wurde die weggeregelte Verdichtung mit Verdichtungsschritten von ca. 0,35 mm pro Übergang gewählt. Zum Schutz des Verdichtungsgeräts vor Wassereintritt in elektrische Anlagenteile wurde das gegebenenfalls austretende Emulsionswasser durch eine Bronze-Filterplatte und Filterpapier schadlos abgeleitet.

Aus den Probepplatten wurden Bohrkerne für die Bestimmung der Steifigkeiten nach 7 und 28 Tagen sowie des Ermüdungsverhaltens nach 28 Tagen entnommen. Die Bestimmung der Steifigkeiten erfolgte bei den Prüftemperaturen -10, 0, 10 und 20 °C sowie bei den Prüffrequenzen 0,1, 1, 5 und 10 Hz (nach AL Sp-Asphalt 09). Zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion wurden dynamische Spaltzug-Schwellversuche nach der AL Sp-Asphalt 09 mit drei unterschiedlichen Spannungsamplituden und 10 Hz Lastfrequenz bei 20 °C durchgeführt.

Mit vier repräsentativen Belastungsklassen (von Bk100 bis Bk3,2) nach den RStO 12 und den dimensionierungsrelevanten Kenndaten ausgewählter Kaltasphaltgemische wurden mit dem Programm PaDesTo abschließend vergleichende Berechnungen durchgeführt.

Aufgrund der mit den Untersuchungen belegten Bedeutung der Mörtelzusammensetzung und insbesondere auch des vermutet hohen Einflusses von Restwasseranteilen im Emulsionsgemisch, wurde ein ergänzendes Untersuchungsprogramm mit Bitumenemulsions-Mörtel-Gemischen durchgeführt. Hiermit wurde insbesondere die zeitliche Entwicklung der Materialeigenschaften über 28 Tage hinaus dokumentiert.

## 3 Untersuchungsergebnisse

Die ausgewählten Asphaltgranulate zeigten hinsichtlich der Bindemittelverhärtung und der Korngrößenverteilung einen deutlichen Unterschied (siehe Tabelle 1), womit eine hinreichende Variation dieser Einflussgröße gewährleistet wurde. Die Bindemittelgehalte sind dabei sehr ähnlich. Der Anteil an Altbindemittel im resultierenden Kaltasphaltgemisch wurde über die Zugabemenge an Asphaltgranulat variiert. Als Bindemittel wurden zwei Bitumenemulsionen mit den in Tabelle 2 aufgeführten Eigenschaften verwendet. Darüber hinaus wurde in allen Gemischen ein einheitlicher Zementgehalt (CEM I 42,5 N gemäß DIN EN 197-1) von 1,5 M.-% verwendet.

Als Ergänzungsgestein und zur Umsetzung variierender Asphaltgranulatanteile wurden Natur-Quarzsand der Korngruppe 0/2 mm, Diabas der Korngruppen 2/5, 5/8, 8/11, 11/16 und 16/22 mm sowie Kalkstein der Korngruppe 22/32 mm verwendet.

Die Variation der Zusammensetzung der groben und feinen Gesteinskörnungen für die Kaltasphaltgemische ist der Tabelle 3 zu entnehmen.

Durch Variation des Bitumenemulsionsgehalts zwischen 5,0 und 8,0 M.-% (entspricht Bindemittelgehalten zwischen 3,0 und 4,8 M.-%) und Bestimmung der Asphalteeigenschaften (Spaltzugversuch mit Erfassung der Querdehnung bei 5 °C) wurden die optimalen Gemischzusammensetzungen ermittelt. Die Spaltzugprüfungen wurden nach 7 und 28 Tagen Probenlage-

rung bestimmt. Die Festlegung der Gemischzusammensetzungen erfolgte exemplarisch an den Varianten AM5 bis AM8. Da für die Gemische der Varianten AM1 bis AM3 vergleichbare Asphaltgranulatanteile festgelegt wurden und zudem die granulometrischen Eigenschaften sehr ähnlich sind, konnten die Bitumenemulsionsgehalte für die Varianten AM1 bis AM3 aus den Ergebnissen abgeleitet werden. Damit ist zudem die Vergleichbarkeit der Gemischgruppen mit AG1 und AG3 gewährleistet. Die Ergebnisse der Spaltzugprüfungen sind dem Bild 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1: Eigenschaften der ausgewählten Asphaltgranulate**

Eigenschaft	Einheit	AG0	AG1	AG3
Füllergehalt	[M.-%]	8,7	22,4	9,5
Feine Gesteinskörnung, Anteil > 0,063 – 2 mm	[M.-%]	54,4	25,2	30,6
Grobe Gesteinskörnung, Anteil > 2 mm	[M.-%]	36,9	52,4	59,9
Bindemittelgehalt, B (DIN EN 12697-1)	[M.-%]	4,0	4,7	4,0
Nadelpenetration, P (DIN EN 1426)	10 <sup>-1</sup> mm	21,0	6,6	18,6
Erweichungspunkt RuK, T (DIN EN 1427)	°C	59,3	104,8	64,5

**Tabelle 2: Eigenschaften der verwendeten Bitumenemulsionen**

		BE 1	BE 3
Bitumenart	-	70/100	160/220
Bestimmung an der Bitumenemulsion			
Äußere Beschaffenheit (DIN EN 1425)	-	braun, flüssig, homogen	
Brechverhalten $B_{V\text{Sikaisol}}$ (DIN EN 13075-1)	-	127	129
Mischstabilität mit Zement, $S_c$ (DIN EN 12848)	g	0,9	0,9
Bindemittelgehalt (DIN EN 1428)	%	59,0	59,0
Siebrückstand 0,5 mm Sieb, $R_{0,500}$ (DIN EN 1429)	%	0,2	0,1
Bestimmungen am rückgewonnenen Bindemittel (DIN EN 13074-1 und -2)			
Nadelpenetration, $P_1$ (DIN EN 1426)	10 <sup>-1</sup> mm	74,8	130,7
Erweichungspunkt RuK, $T_1$ (DIN EN 1427)	°C	47,9	41,5
nach RTFOT-Alterung (DIN EN 12607-1)			
Masseänderung (DIN EN 12607-1)	%	-0,01	-0,21
Nadelpenetration, $P_2$ (DIN EN 1426)	10 <sup>-1</sup> mm	46,1	89,4
Erweichungspunkt RuK, $T_2$ (DIN EN 1427)	°C	52,9	45,0
Prozentualer Anteil der verbliebenen Penetration (DIN EN 12607-1)	%	61,6	68,4
Änderung des Erweichungspunkts RuK (DIN EN 12607-1)	°C	5,0	3,5

Die Spaltzugfestigkeiten liegen, verglichen mit den Anforderungswerten des M KRC oder des MVB-K auf einem sehr hohen Niveau. Bereits die 7-Tage-Festigkeitswerte erreichen das Anforderungsniveau der für die Spaltzugfestigkeiten nach 28 Tagen (0,75 N/mm<sup>2</sup>). Vergleichbare Spaltzugfestigkeiten werden erfahrungsgemäß nur mit hydraulisch-dominanten Gemischen erreicht. Dies liegt hier eindeutig nicht vor, da die Bruch-

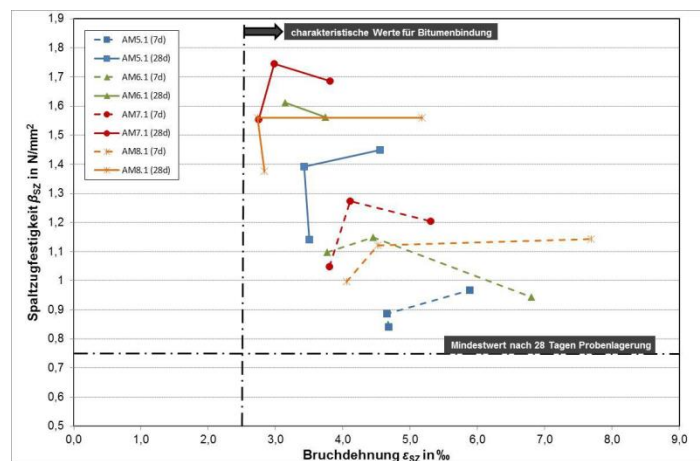
dehnung über 2,5 ‰ liegt und damit zweifelsfrei einen Bitumenbindungscharakter dokumentiert.

Für die Bestimmung der dimensionierungsrelevanten Kenndaten wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Spaltzugprüfungen die in Tabelle 4 aufgeführten Zusammensetzungen ausgewählt.

**Tabelle 3: Zusammensetzung der groben und feinen Gesteinskörnungen**

Gemisch-Nr.	Asphaltvariante	Bitumenemulsion	Asphaltgranulat	Ergänzende Gesteinskörnung
			Zielanteil des Gesteinskörnungsgemischs (ohne Füller)	
AM0	AM0.1	BE1	- <sup>1</sup>	
AM1	AM1.1	BE1	20 % (AG 1)	80 %
	AM1.3	BE3		
AM2	AM2.1	BE1	50 % (AG 1)	50 %
	AM2.3	BE3		
AM3	AM3.1	BE1	80 % (AG 1)	20 %
	AM3.3	BE3		
AM5	AM5.1	BE1	20 % (AG 3)	20 %
	AM5.3	BE3		
AM6	AM6.1	BE1	50 % (AG 3)	50 %
	AM6.3	BE3		
AM7	AM7.1	BE1	80 % (AG 3)	20 %
	AM7.3	BE3		
AM8	AM8.1	BE1	80 % (AG 4)	20 %
	AM8.3	BE3		

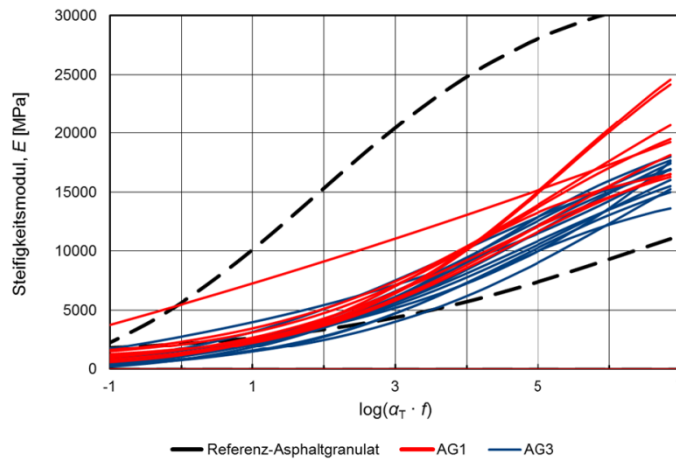
AG 4 = 0/16 mm-Anteil aus AG 3; <sup>1</sup> Asphaltgranulat der BAB A 30 (AG 0)



**Bild 1: Ergebnisse der Spaltzugversuche bei 5 °C**

**Tabelle 4: Zusammensetzungen der Gemische zur Bestimmung der dimensionierungsrelevanten Kenndaten**

Eigenschaft	Einheit	AM0	AM1	AM2	AM3	AM5	AM6	AM7	AM8
Bitumenemulsionsgehalt	[M.-%]	7,0	7,5	7,0	6,0	7,5	7,0	6,0	6,0
Bitumengehalt aus Emulsion	[M.-%]	4,2	4,5	4,2	3,6	4,5	4,2	3,6	3,6
Asphaltgranulatgehalt	[M.-%]	50	20	50	80	20	50	80	80
Asphaltgranulatvariante	[M.-%]	AG0	AG1	AG1	AG1	AG3	AG3	AG3	AG4
Bindemittel aus Asphaltgranulat	[M.-%]	1,9	0,9	2,2	3,4	1,1	2,8	4,6	4,6
Gesamtbindemittelgehalt	[M.-%]	6,1	5,4	6,4	7,0	5,6	7,0	8,2	8,2



**Bild 2:** Zusammenfassende Darstellung aller Masterkurven (Schwarz: Referenz, blau: mit AG3, rot: mit AG1)

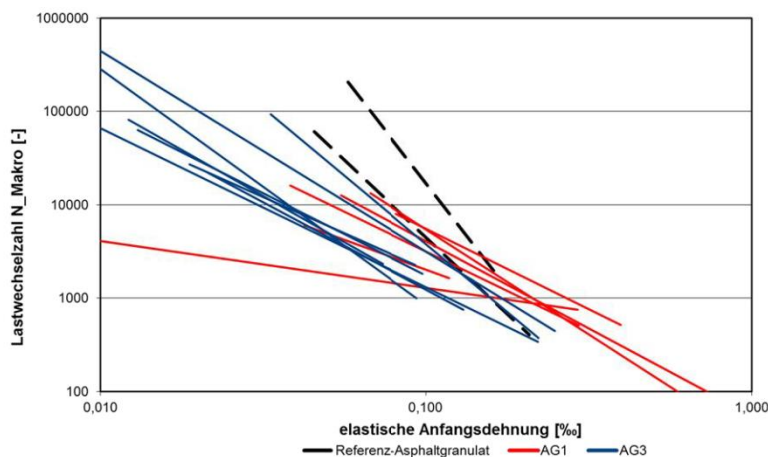
Die Bestimmung der Steifigkeiten erfolgte im Spaltzug-Schwellversuch bei den Prüftemperaturen -10, 0, 10 und 20 °C sowie bei den Prüffrequenzen 0,1, 1, 5 und 10 Hz (nach AL Sp-Asphalt 09). Hieraus wurden die Hauptkurven der Steifigkeiten berechnet. Das Bild 2 zeigt alle ermittelten Hauptkurven nach 7 und 28 Tagen sowie die Referenzasphalte (oben Heißasphalt, unter Kaltasphalt nach Konzept BAB A 30).

Zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion wurden dynamische Spaltzug-Schwellversuche mit drei unterschiedlichen Spannungsamplituden (Variation der Oberspannung) durchgeführt. Die anfänglichen elastischen horizontalen Dehnungen im Probekörpermittelpunkt lagen dabei zwischen 0,05 bis 0,30 ‰ und wurden mit einer Belastungsfrequenz von 10 Hz bei einer Prüftemperatur von 20 °C durchgeführt. Als Ermüdungslastwechselzahl wird die Lastwechselzahl  $N_{\text{Makro}}$  definiert (nach der Methode der dissipierten Energie), bei welcher während des Er-

müdungsversuchs der Beginn des Auftretens von Makrorissen im Probekörper zu beobachten ist.

Die aus den Laborversuchen abgeleiteten Ermüdungskurven sind zusammen mit den beiden Referenzasphalten in Bild 3 aufgeführt.

Die Ergebnisse der dynamischen Spaltzug-Schwellversuche zeigen, dass die Steifigkeiten der mit Bitumenemulsion gebundenen Asphalttragschichten nicht das Niveau einer Heißasphalttragschicht erreichen. Fast über den gesamten Temperatur- und Frequenzbereich sind deutlich niedrigere Steifigkeiten ermittelt worden. Tendenziell erreichen die Gemischvarianten mit dem weicheren Asphaltgranulat zumindest bei niedrigeren Prüftemperaturen und/oder niedrigeren Prüffrequenzen höhere Steifigkeiten im Vergleich zu den Gemischen mit dem härteren Bindemittel im Asphaltgranulat.



**Bild 3:** Zusammenfassende Darstellung aller Ermüdungskurven (Farben wie oben)

## 4 Folgerungen für die Praxis

Die Dimensionierungsberechnungen haben ergeben, dass die Einbindung einer Kaltasphalttragschicht in den hohen Belastungsklassen nur sehr bedingt möglich ist. Hier lassen sich lediglich unter Berücksichtigung einer konventionellen Asphalttragschicht als unterste Asphalttragschicht brauchbare Lösungen errechnen. Bei Belastungsklassen Bk3,2 und niedriger konnten

wirtschaftlich und bautechnisch sehr sinnvolle Lösungen dargestellt werden. Hier bietet sich offensichtlich ein sehr interessantes Anwendungsgebiet für Kaltasphalttragschichten an. Allerdings haben nur wenige der untersuchten Gemischvarianten zu einer wirtschaftlichen Oberbaudicke geführt. Die Varianten mit dem weicheren Asphaltgranulat (AG1), und hier besonders die Varianten mit hohem Asphaltgranulatanteil, lieferten die wirtschaftlichsten Oberbaukonzepte.

Zukünftige Forschungsprojekte mit Kaltasphaltbauweisen sollten die mechanische Wirksamkeit des Emulsionswassers in zeitlicher Betrachtung berücksichtigen. Hierzu konnte gezeigt werden, dass auch weit über 28 Tage hinaus noch eine deutliche positive Veränderung der mechanischen Eigenschaften an mit Bitumenemulsion gebundener Asphalttragschichten zu erwarten ist.