

Untersuchung eines praxisbezogenen Instrumentariums zur Bewertung der Rissicherheit von Gussasphalten

FA 7.281

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)
Bearbeiter: Radenberg, M. / Holzwarth, S.
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn
Abschluss: März 2018

1 Einleitung und Problemstellung

Die Gussasphaltbauweise stellt in Deutschland die Regelbauweise für hoch belastete Autobahnen in der Belastungsklasse Bk100 dar. Sie ist die Asphaltdeckschicht mit der höchsten zu erwartenden Nutzungsdauer.

Die Lastabtragung erfolgt beim Gussasphalt nicht primär über das Gesteinsgerüst, sondern auch über die Mörtelphase. Die hinreichende Steifigkeit des Mörtels ist somit Grundvoraussetzung für eine dauerhafte Nutzung.

Die Änderung des Arbeitsschutzes, in Form der Expositionsbeschreibung, (2008), schreibt die Absenkung der Einbautemperatur von Gussasphalt auf unter 230 °C vor. Eine Möglichkeit zur Verringerung der Einbautemperatur liegt in der Verwendung von viskositätsverändernden Zusätzen. Die Ein- oder Mehrfachmodifizierung der Bindemittel bewirkt eine Veränderung der Viskosität.

In den "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsbefestigungen aus Asphalt" wird auf die Notwendigkeit zur Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel hingewiesen, ohne dass es hierzu bisher eindeutige Bindemittelspezifikationen gibt. Der Verformungswiderstand erhöht sich durch die Verwendung viskositätsverändernder Zusätze meist erheblich, sodass heute zunehmend über eine hinreichende Kälteflexibilität diskutiert wird. In der Tabelle 2 der [ZTV Asphalt-StB 07/13] fehlt noch eine eindeutige Angabe zur Auswahl einer zweckmäßigen Bindemittelsorte für Gussasphalte. "Die Empfehlungen zur Klassifikation von viskositätsveränderten Bindemitteln" (E Kvb, 2016) liegen vor, ohne dass diese Bindemittel bisher einer zweckmäßigen Anwendung für Gussasphalte zugeordnet sind. Hierzu fehlen belastbare Informationen zu den Kälteeigenschaften der mit diesen Bindemitteln hergestellten Gussasphalte.

Die kritisch zu hinterfragende hinreichende Kälteflexibilität von modifizierten Asphalten wird durch eine komplexe Prüfung der kryogenen Zugspannungen und der einaxialen Zugfestigkeiten untersucht, welche ausschließlich von wissenschaftlich ausgestatteten Straßenbaulaboren untersucht werden können.

2 Zielsetzung

Mit diesem Forschungsvorhaben sollen Gussasphalte mit möglichst vielen am Markt vorgesehenen viskositätsveränderten Bindemitteln bezüglich ihrer Kälteeigenschaften untersucht werden. Im Sinne einer praktikablen Umsetzung der Labor-

untersuchungen sollte dies primär mit einem einfachen Prüfverfahren (Dreipunkt-Biegezugversuch) gemäß dem "Vorläufigen Merkblatt für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit bituminöser Massen" (August 1959) bei drei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen. Die an 40 Varianten unterschiedlich zusammengesetzter Gussasphalte erzielten Ergebnisse mit diesem Verfahren wurden hinsichtlich Plausibilität und Wiederholbarkeit ausgewertet. Anschließend wurden ausgewählte Varianten, die den gesamten Ergebnisbereich der Dreipunkt-Biegezugversuche hinreichend gut abdecken, für validierende Untersuchungen nach den [TP Asphalt-StB, Teil 46A] ausgewählt.

Vor dem Hintergrund der Erarbeitung eines praxisbezogenen Instrumentariums wurden sowohl im Labor hergestellte Gussasphalte, als auch Gussasphaltproben von der Baustelle untersucht. Bei Letzteren wurde zusätzlich die Mischgutzusammensetzung überprüft. Zudem wurden Gussasphaltflächen mit einbezogen, die Risse aufweisen und damit auf eine nicht ausreichende Kälteflexibilität hinweisen. Hierbei wurden die Risse dokumentiert und bewertet. Aus diesen Ergebnissen sollte eine Aussage über mögliche Anforderungswerte für das Prüfergebnis abgeleitet werden.

3 Untersuchungsprogramm

Das Forschungsprojekt ist in vier Projektphasen unterteilt.

In der ersten Projektphase wurde als Basis für die tiefergehende Untersuchung eine Materialauswahl getroffen. Außerdem erfolgte ein nationaler und internationaler Vergleich zur Erfassung der Erfahrungen zur Prüfung von Gussasphalten mit dem Dreipunkt-Biegezugversuch oder ähnlichen Versuchen.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Bindemitteluntersuchungen wurde eine Auswahl von zehn Bindemitteln getroffen, welche das Ergebnisspektrum der rheologisch-physikalischen Eigenschaften der Bindemittel repräsentativ abbildet. Für die Untersuchungen der zweiten Projektphase wurde in der ersten Projektphase ein praxisgerechtes Referenz-Gesteinskörnungsgemisch definiert.

In der zweiten Projektphase wurden mit den zehn ausgewählten Bindemitteln und dem Referenz-Gesteinskörnungsgemisch Gussasphalt hergestellt und anschließend Prüfungen des Verformungswiderstands und des Tieftemperaturverhaltens mittels Dreipunkt-Biegezugversuch in Anlehnung an das "Vorläufige Merkblatt für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit bituminöser Massen" (August 1959) durchgeführt. Ein Teilziel des zweiten Arbeitspakets war die Untersuchung des Gesteinskörnungseinflusses. Eine systematische Variation der Parameter Größtkorn, Füller sowie feine und grobe Gesteinskörnung sollte Aufschluss über die Einflussfaktoren liefern.

Die aus dem zweiten Arbeitspaket gewonnenen Untersuchungsergebnisse für das Tieftemperaturverhalten wurden im dritten Arbeitspaket durch validierende Untersuchungen mittels der komplexen Tieftemperaturprüfverfahren Abkühlversuch und einaxialer Zugversuch bei vier Temperaturen auf Abhängigkeiten und Potenziale des einfachen Prüfverfahrens analysiert.

In einem letzten Arbeitspaket wurden Praxisproben hinsichtlich des Verformungswiderstands und des Tieftemperaturverhaltens durch das vereinfachte Verfahren des Dreipunkt-Biegezugversuchs untersucht.

Die Analyse der 40 ausgewählten Bindemittel mit drei Prüfverfahren zur Beurteilung der Kälteempfindlichkeit ergab eine eindeutige Abhängigkeit zur Bindemittelhärte. Mit zunehmender Härte ergab sich folglich ein verminderter Kältewiderstand. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

4 Ergebnisse, Zusammenfassung und Ausblick

Durch gezielte Untersuchung der Mischgutkomponenten und derer Interaktion im Asphaltmischgut konnte eine umfangreiche Kenntnis über die Performance-Eigenschaften von Gussasphalten gewonnen werden.

Tabelle 1: Auswahl der Bindemittel für weitere Asphaltuntersuchungen anhand von drei Bewertungskriterien

Bindemittel	Auswahl und fortwährende Bezeichnung	Bindemittelkennwerte bei -10 °C						Wertung Gesamtsumme
		BBR		DSR – T-Sweep		DSR - Relaxation		
		T _{maßgebend} [°C]	Reihung [-]	Phasenwinkel [°]	Reihung [-]	Restspannung [kPa]	Reihung [-]	
[n]	[n]							
15/25 VL	B1	-10,4	4	12,5	3	77,4	3	10
25/35 VL		-16,7	35	17,1	26	37,0	32	93
35/50 VL	B2	-16,9	36	20,2	40	28,8	39	115
15/25 VH		-12,1	10	14,8	11	69,1	10	31
25/35 VH	B3	-16,1	31	18,6	36	52,2	18	85
35/50 VH		-17,5	37	18,1	34	40,6	31	102
PmB 10/25 VL	B4	-11,3	7	13,6	8	75,0	4	19
PmB 25/45 VL		-14,8	23	17,4	28	60,4	12	63
PmB 10/25 VH		-13,7	20	15,9	14	51,0	21	55
PmB 25/45 VH		-15,6	28	16,1	16	52,2	19	63
15/25 A		-13,3	15	13,9	9	52,1	20	44
25/35 A		-15,1	24	16,3	18	50,4	22	64
35/50 A		-16,5	33	15,6	13	30,7	37	83
15/25 B	B5	-11,0	6	14,2	10	69,5	9	25
25/35 B		-14,5	22	16,8	22	50,0	24	68
35/50 B		-13,3	14	16,1	15	46,7	30	59
PmB 10/25 A		-12,7	12	17,1	27	52,7	17	56
PmB 25/45 A		-17,5	38	16,6	21	32,1	36	95
PmB 10/25 B		-9,6	2	17,9	32	72,7	7	41
PmB 25/45 B		-15,7	29	19,3	39	48,1	28	96
15/25 VL _{1,5}		-12,5	11	13,0	5	56,5	13	29
15/25 VL _{3,0}		-11,3	8	13,1	6	71,6	8	22
35/50 VL _{1,5}		-15,5	26	17,0	25	48,2	27	78
35/50 VL _{3,0}	B6	-14,0	21	16,4	19	50,2	23	63
PmB 10/25 VL _{1,5}		-13,5	16	17,7	30	62,1	11	57
PmB 10/25 VL _{3,0}		-13,0	13	17,4	29	78,8	2	44
PmB 25/45 VL _{1,5}		-16,6	34	18,9	37	35,1	34	105
PmB 25/45 VL _{3,0}		-15,2	25	18,0	33	47,4	29	87
15/25 VH _{1,5}		-11,8	9	13,4	7	55,1	15	31
15/25 VH _{3,0}	B7	-10,8	5	12,7	4	73,6	5	14
35/50 VH _{1,5}		-16,5	32	16,8	23	36,7	33	88
35/50 VH _{3,0}		-16,1	30	16,2	17	48,5	26	73
PmB 10/25 VH _{1,5}		-15,6	27	17,9	31	53,6	16	74
PmB 10/25 VH _{3,0}	B8	-13,7	19	16,9	24	56,2	14	57
PmB 25/45 VH _{1,5}		-18,8	40	19,3	38	28,9	38	116
PmB 25/45 VH _{3,0}	B9	-18,0	39	18,2	35	26,6	40	114
20/30+NA NV	B10	-9,8	3	11,7	1	80,5	1	5
30/45+NA NV		-13,7	18	15,4	12	32,7	35	65
25/55-55A+NA NV		-13,6	17	11,7	20	48,5	25	62
10/40-65+NA NV		-9,0	1	11,7	2	73,1	6	9

Für die 40 Bindemittel wurde dabei in allen drei Versuchen eine numerische Wertung von 1 (höchste Kälteempfindlichkeit) bis 40 (geringste Kälteempfindlichkeit) vorgenommen. Die Gesamtsumme ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung über die Prüfverfahren.

Farblich hinterlegt sind die zehn Bindemittel, welche für Asphaltuntersuchungen ausgewählt wurden. Die Untersuchungen des Tieftemperaturverhaltens der zehn Bindemittel, in einem Guss-

asphalt MA 8 mittels Dreipunkt-Biegezugversuch ergaben die in Bild 1 exemplarisch dargestellten Ergebnisse.

Für die Bewertung der Ergebnisse des Dreipunkt-Biegezugversuchs wurden auf Erfahrungswerte aus dem Raum Berlin und auf das "Vorläufige Merkblatt für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit bituminöser Massen" (August 1959) Bezug genommen. Die Auswertung der Versuche wurde anhand des Verhältnisses QII aus der Biegezugfestigkeit bei 22 °C zu der bei 0 °C vorgenommen. Als weiteres Kriterium wurde die Durchbiegung

der Probekörper bei 0 °C betrachtet. In Tabelle 2 sind die Messergebnisse zusammengefasst. Blau markiert sind dabei kälteanfällige Mischgutvarianten.

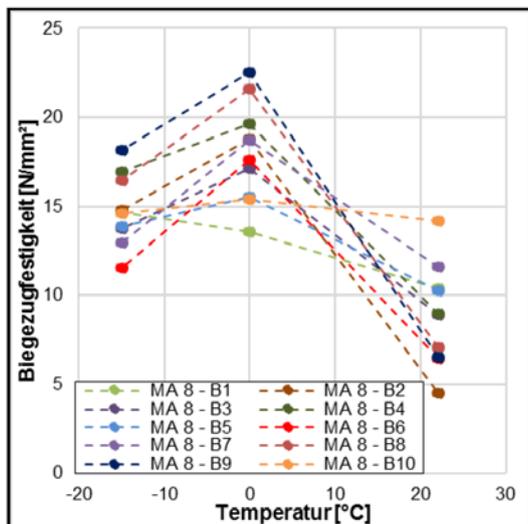


Bild 1: Biegezugfestigkeiten für MA 8 unter Variation des eingesetzten Bindemittels

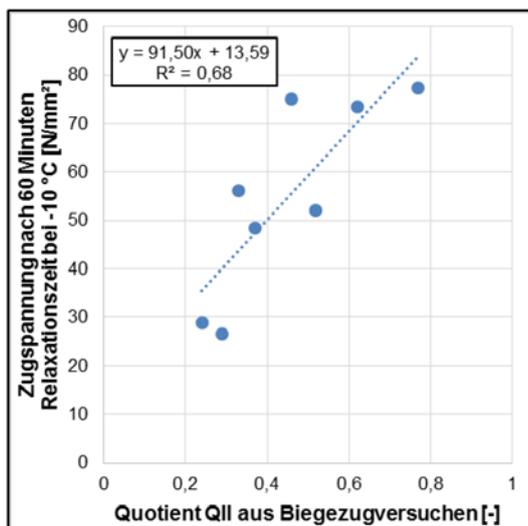


Bild 2: Mathematischer Zusammenhang der Kälteflexibilität von Bindemittel- zu Asphaltuntersuchungen

Tabelle 2: Kenngrößen aus dem Dreipunkt-Biegezugversuch zur für MA 8 unter Variation des eingesetzten Bindemittels

Variante	Q II	Q III	Durchbiegung bei 0 °C
[n]	[-]	[-]	[mm]
MA 8 – B1	0,77	0,71	0,84
MA 8 – B2	0,24	0,30	0,97
MA 8 – B3	0,52	0,65	0,76
MA 8 – B4	0,46	0,53	0,91
MA 8 – B5	0,66	0,74	0,74
MA 8 – B6	0,37	0,56	0,84
MA 8 – B7	0,62	0,90	0,75
MA 8 – B8	0,33	0,43	1,09
MA 8 – B9	0,29	0,36	1,35
MA 8 – B10	0,92	0,97	0,42

Es konnte festgestellt werden, dass Bindemittel, welche auch zuvor als kälteempfindlich eingestuft wurden, im Asphalt zu einer erhöhten Rissneigung führten. Es wurde eine brauchbare Korrelation ($R^2 = 0,68$) zwischen dem Quotienten Q II aus dem Dreipunkt-Biegezugversuch und der Zugspannung σ_{60} nach 60 Minuten Relaxationszeit im DSR nachgewiesen (Bild 2). Eine weitere Präzisierung des mathematischen Zusammenhangs sollte durch weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

Für die Untersuchungen des Gesteinskörnungseinflusses wurde in einem ersten Schritt eine Variation des Größtkorns unter Verwendung von drei Bindemitteln durchgeführt. Die Ergebnisse der Kälteempfindlichkeit sind für die Gussasphalte MA 5 und MA 11 in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Kenngrößen aus dem Dreipunkt-Biegezugversuch für MA 5 und MA 11 unter Variation des Bindemittels

Variante	Q II	Q III	Durchbiegung bei 0 °C
[n]	[-]	[-]	[mm]
MA 5 – B1	0,76	0,75	0,78
MA 5 – B4	0,47	0,56	0,80
MA 5 – B7	0,57	0,72	0,91
MA 11 – B1	0,88	0,89	0,65
MA 11 – B4	0,54	0,55	0,67
MA 11 – B7	0,64	0,66	1,04

Die systematische Untersuchung des Brechsand/Natursand-Verhältnisses, des Einflusses der Füller sowie der feinen und groben Gesteinskörnung wurde anhand von 14 Varianten durchgeführt. Die Zusammensetzung der Prüfvarianten ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Variation der Gesteinskomponenten bei einem Gussasphalt MA 8

Variante	Verwendeter Füller	BS / NS Verhältnis	Verwendete fGk und gGk
[n]	[-]	[M.-%]	[-]
Variante 1	KSFF	100/0	Diabas
Variante 2	KSFF	80/20	Diabas
Variante 3	KSFF	65/35	Diabas
Variante 4	KSFF	50/50	Diabas
Variante 5	KSFF	35/65	Diabas
Variante 6	KSFR	65/35	Diabas
Variante 7	DH	65/35	Diabas
Variante 8	QH	65/35	Diabas
Variante 9	KSFF	65/35	Grauwacke
Variante 10	KSFF	65/35	Andesit
Variante 11	KSFF	65/35	Basalt
Variante 12	KSFR	65/35	Basalt
Variante 13	DH	65/35	Basalt
Variante 14	QH	65/35	Basalt

Die Untersuchung des Einflusses der granulometrischen Eigenschaften der Gesteinskörnungen ergab, dass das Brechsand/Natursand-Verhältnis nur einen geringfügigen Einfluss auf die Kälteempfindlichkeit hat. Bei der Variation der Füller sowie feiner und grober Gesteinskörnung konnten Einflüsse auf das Kälteverhalten festgestellt werden.

Tabelle 5: Kenngrößen des Dreipunkt-Biegezugversuchs für MA 8 unter Variation der Gesteinskomponenten

Variante.	Q II	Q III	Durchbiegung bei 0 °C
[n]	[-]	[-]	[mm]
MA 8 – GV1	0,63	1,01	0,49
MA 8 – GV2	0,55	0,58	0,72
MA 8 – GV3	0,66	0,74	0,51
MA 8 – GV4	0,69	0,66	0,50
MA 8 – GV5	0,65	0,66	0,52
MA 8 – GV6	0,85	0,91	0,65
MA 8 – GV7	0,80	0,82	0,61
MA 8 – GV8	0,93	0,99	0,63
MA 8 – GV9	0,70	0,69	0,67
MA 8 – GV10	0,87	0,84	0,65
MA 8 – GV11	0,98	0,96	0,65
MA 8 – GV12	0,83	0,83	0,56
MA 8 – GV13	0,85	0,84	0,63
MA 8 – GV14	0,98	0,94	0,63

Die Auswertung wurde basierend auf den in Tabelle 5 dargestellten Messwerten analysiert.

Eine Überlagerung der Einflüsse aus den Gemischkomponenten führte erwartungsgemäß zu Gussasphalten mit hoher Kälteempfindlichkeit.

Anhand der Ergebnisse des Dreipunkt-Biegezugversuchs konnte bestätigt werden, dass das Bindemittel als primär kausal für die Rissbildung im Asphalt erwartet werden kann.

Die Analyse der Messpräzision des Dreipunkt-Biegezugversuchs ergab eine hohe Präzision für die Dreifachbestimmung bei den drei Prüftemperaturen. Es ergab sich eine mittlere Standardabweichung der Biegezugfestigkeiten von < 3 % für alle drei Temperaturen bei einer maximalen absoluten Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert von unter 10 %.

Die externe Prüfung anhand von einaxialen Zugversuchen und Abkühlversuchen ergab, dass die ausgewählten Asphalte als kälteempfindlich bestätigt wurden. Diese Beurteilung beruht auf den Orientierungswerten zur Beurteilung der Bruchspannung von Gussasphalt bei -10 °C und der Bruchtemperatur im Abkühlversuch, welche in der [AP TTV, Teil 1, 2012] definiert sind.

Die Orientierungswerte für Gussasphalt des [AP TTV, Teil 1, 2012] beziehen sich auf Forschungstätigkeiten aus den Jahren 1990 und 2002 und lassen sich dementsprechend nur bedingt auf Gussasphalte, welche gemäß den [ZTV Asphalt-StB 07/13] hergestellt wurden, übertragen.

Für eine abschließende Betrachtung wurden Korrelationen zwischen den Kälteprüfungen verschiedener Belastungszustände untersucht.

Die vergleichende Betrachtung zeigte einen mathematischen Zusammenhang zwischen dem Verhältniswert Q II aus dem Dreipunkt-Biegezugversuch zu der gemessenen Bruchtemperatur im Abkühlversuch mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,8083 (Bild 3). Diese brauchbare bis gute Korrelation muss im Zuge weiterer Forschung noch durch ergänzende Untersuchungen gestützt werden. Falls sich der festgestellte Zusammenhang bestätigt, könnte in einem nächsten Schritt der Grenzwert für Q II zur Beurteilung der Kälteflexibilität auf die verschiedenen Mischgutzusammensetzungen angepasst werden.

Sowohl bei der Auswertung der Abkühlversuche als auch bei der Zugfestigkeitsreserve fällt die in Bild 3 rot markierte Variante auf. Dieses Gussasphaltgemisch beinhaltet ein wachsmodifiziertes Bindemittel 50/70 und weist untypisch hohe Bruchtemperaturen auf. Das Ergebnis ist kritisch zu hinterfragen.

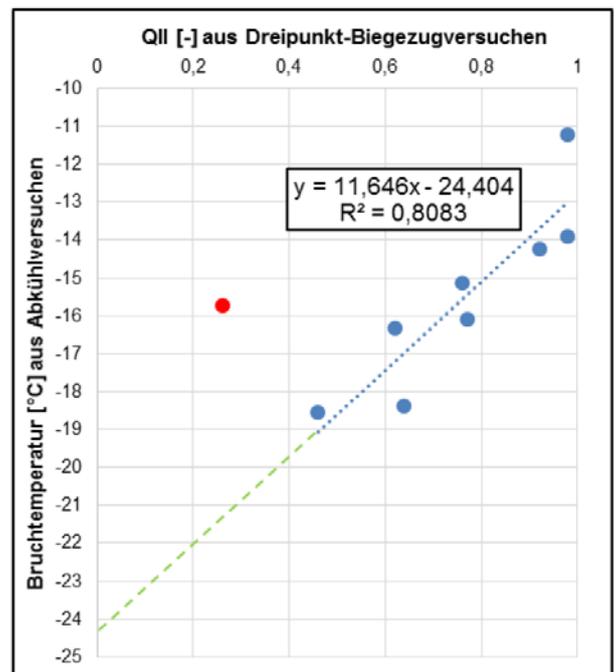


Bild 3: Zusammenhang Dreipunkt-Biegezug- zu Abkühlversuch

Bei der Analyse von fünf risshaften Praxisstrecken wurde festgestellt, dass diese bei der Untersuchung des rückgewonnenen Bindemittels sowie auch am Asphalt als kälteanfällig eingestuft werden konnten. Für die Bewertung wurden alle drei Bindemitteluntersuchungen sowie der Dreipunkt-Biegezugversuch herangezogen.

Als Schlussfolgerung kann festgestellt werden, dass die Gussasphaltdeckschicht durch die veränderten Bedingungen an den Arbeitsschutz im Jahr 2008 und die damit verbundene vorgeschriebene Verwendung von viskositätsverändernden Zusätzen einen Wandel erlebt hat, der zu höheren Verformungswiderständen, aber auch zu höherer Rissbildungsgefahr geführt hat.

Aufbauend auf den gewonnenen Prüfergebnissen ist zu untersuchen, ob eine Anpassung der [TL Asphalt-StB, 07/13] hinsichtlich der im Gussasphalt verwendenden Bindemittel vorgenommen werden sollte, da eine eindeutige Abhängigkeit zwischen der Rissbildung und der Bindemittelhärte festgestellt wurde.

5 Literatur

- AP TTV, Teil 1, 2012: Arbeitspapier Tieftemperaturverhalten von Asphalt, Teil 1: Zug- und Abkühlversuche; Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2012
- E KvB, 2016: Empfehlungen zur Klassifikation von viskositätsveränderten Bindemitteln; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2016
- Expositionsbeschreibung, 2008: "Maschinelles Verarbeiten von Gussasphalt", 2008
- TP Asphalt-StB, Teil 46 A: Technische Prüfvorschriften für Asphalt – TP Asphalt-StB, Teil 46 A: Kälteeigenschaften: Einaxialer Zugversuch und Abkühlversuch, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007
- Vorläufiges Merkblatt für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit, August 1959: Vorläufiges Merkblatt für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit bituminöser Massen, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V., Köln, Fassung vom August 1959
- ZTV Asphalt-StB 07/13: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln, Ausgabe 2007, Fassung 2013