

Bewertungshintergrund für die Rissresistenz von Asphalten bei tiefen Temperaturen

FA 7.260

Forschungsstelle: Universität Kassel, Sachgebiet Bau und Erhaltung von Verkehrswegen (Dr.-Ing. K. Mollenhauer)

Bearbeiter: Mollenhauer, K. / Dimnofske, D.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: November 2016

1 Einleitung

Temperaturveränderungen führen im Asphalt zu Temperaturdehnungen und somit zu thermischen Beanspruchungen. Bei hohen Temperaturen können diese Spannungen durch das viskoelastische Materialverhalten abgebaut werden. Tiefe Temperaturen bewirken im Asphalt durch Verringerung der Bindemittelviskosität eine eingeschränkte Relaxationsfähigkeit. Die folglich aufgrund des Abkühlvorgangs thermisch induzierten kryogenen Spannungen können durch die hohe Bindemittelviskosität nicht zügig abgebaut werden und die Zugfestigkeit des Asphalts kann erreicht werden. Durch zusätzliche Überlagerung mit Spannungen aus hoher Verkehrsbeanspruchung kann es zu Rissbildung (meist quer zur Fahrbahn) kommen.

In den TP Asphalt-StB, Teil 46 A, ist eine Prüfsystematik für die Beurteilung des Kälterisswiderstands mittels Abkühl- und Zugversuchen beschrieben. Die Europäisch harmonisierte Asphaltnorm DIN EN 13108 erlaubt es zukünftig, Anforderungswerte an die mittels Abkühlversuch ermittelte Bruchtemperatur zu stellen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Bewertungshintergrund für die Beurteilung und Einstufung verschiedener Asphaltmischgutarten und -sorten hinsichtlich der Kälterissresistenz erarbeitet.

2 Untersuchungsmethodik

Anhand einer Literaturstudie wurden die für die Kälterissbildung von Asphaltmischgutarten relevanten Kriterien der kompositionellen Asphalteeigenschaften, Wetter- und Verkehrsbeanspruchungen identifiziert. Daraufhin wurde eine Datensammlung durchgeführt, um in der Praxis relevante Einflussgrößen dieser Kriterien auf das Asphalt-Kälteverhalten zu identifizieren und somit Ergebnisse aus zahlreichen Laborstudien zu validieren. Dazu wurden 88 Untersuchungsstrecken identifiziert, an denen Asphalte eingesetzt wurden, für die Ergebnisse aus Abkühl- und Zugversuchen vorliegen. Somit konnten die Eigenschaften von insgesamt 194 verschiedenen Asphaltmischgutvarianten in einer Datenbank erfasst werden. Neben den Ergebnissen der Abkühlversuche wurden zusätzlich die kompositionellen Eigenschaften der Asphalte, die Streckeneigenschaften (unter anderem Verkehrsbeanspruchung und Lage) sowie deren Zustand anhand durchgeführter ZEB-Maßnahmen und Wetterkenndaten zusammengestellt.

3 Ergebnisse

Bild 1 zeigt die Wertebereiche der im Abkühlversuch ermittelten Bruchtemperatur für die verschiedenen Asphalte. Dabei wird unterschieden in Eigenschaften, welche im Rahmen einer

erweiterten Erstprüfung ermittelt wurden sowie aus der Literatur identifizierte Ergebnisse.

Für die Bruchtemperatur wurden folgende Wertebereiche erfasst:

- AC D: -19,6 bis -26,4 °C
- SMA: -16,7 bis -32,5 °C
- MA: -16,1 bis -26,0 °C
- PA: -20,8 bis -31,3 °C
- AC B: -15,5 bis -31,3 °C
- AC T: -12,8 bis -28,7 °C

Die insbesondere für die Splittmastixasphalte und Asphaltbinder festgestellten Wertespans von bis zu 15 K zeigen, dass erhebliche Unterschiede des Kälteverhaltens innerhalb der eingesetzten Asphalte vorliegen. Dies zeigt das große Optimierungspotenzial von Asphalt hinsichtlich der Kälteeigenschaften auf.

Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die in der Literatur dokumentierten Erfahrungswerte für die Bruchtemperaturen zum Teil nicht durch die tatsächlich eingesetzten Asphalte wiedergegeben werden. So erreichen die in dieser Datenanalyse an aus Erstprüfungen von Asphaltbetonen für Asphaltdeckschichten und Gussasphalten erfassten Bruchtemperaturen nicht die in Forschungsprojekten erreichten Bruchtemperaturen von unter -30 °C. Dies liegt zum Teil daran, dass zu Forschungszwecken auch Bindemittel eingesetzt wurden, welche eine geringere Viskosität als in der Praxis eingesetzte Bitumen aufwiesen.

Die Datenanalyse erbrachte hingegen für Splittmastixasphalte und Asphaltbinder höhere Bruchtemperaturen, als sie bisher aus Laborstudien dokumentiert wurden. Dies kann möglicherweise auf die Zugabe von Asphaltgranulat und/oder häufige Verwendung von modifizierten Bindemitteln zurückgeführt werden, welche in den dokumentierten Laborstudien im geringeren Umfang zur Anwendung kamen.

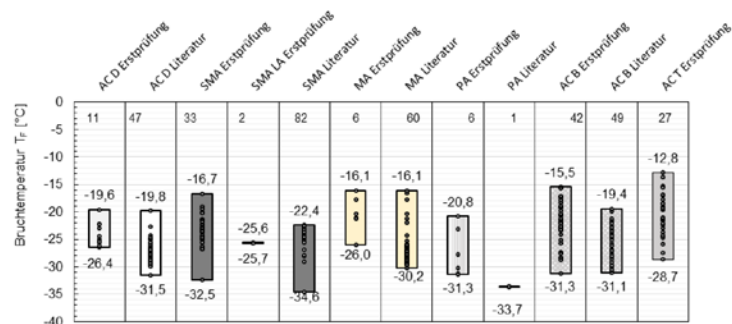


Bild 1: Vergleich der Bereiche der Bruchtemperaturen aller Asphaltmischgutsorten – Erstprüfungen der Untersuchungsstrecken, Laborproben aus Literatur

Zusammenfassend sind die anhand der Datenanalyse durchgeführten Zusammenhänge zwischen kompositionellen Asphalteeigenschaften und den Ergebnissen der Kälteversuche in Tabelle 1 zusammengestellt. Ein Beispiel für eine identifizierte Korrelation ist in Bild 2 gezeigt. Im Vergleich zu Laborstudien an Asphaltvarianten, an denen systematisch kompositionelle

Eigenschaften variiert wurden, sind die Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und Kälteeigenschaften mit höheren Streuungen versehen. Daher sind in Tabelle 1 Zusammenhänge markiert, wenn das berechnete Bestimmtheitsmaß einen Wert von 0,25 überschreitet. Unter Berücksichtigung einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % sind signifikante Zusammenhänge fett hervorgehoben.

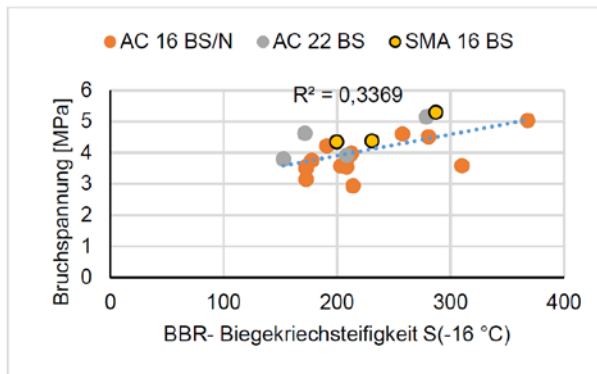


Bild 2: Beispiel für den identifizierten Zusammenhang zwischen Ergebnissen des Abkühlversuchs und Eigenschaften des Asphalts gemäß Erstprüfung; hier Bindemittleigenschaft S(-16 °C) für erfasste Asphaltbinder-Proben

Die in zahlreichen Forschungsprojekten systematisch im Labor nachgewiesenen Zusammenhänge zwischen kompositionellen Asphalteeigenschaften und den Ergebnissen von Abkühl- und Zugversuchen können weitgehend auch anhand der in der Praxis eingesetzten Asphalte bestätigt werden:

- Als relevante Einflussgröße konnten die Eigenschaften des eingesetzten Bindemittels identifiziert werden. Dabei sind insbesondere die Kennwerte aus dem BBR-Versuch, zum Beispiel die Biegesteifigkeit S bei -16 °C geeignet, um den Bindemittleinfluss auf den Kälterisswiderstand des Asphalts zu bewerten.
- Der bisher häufig verwendete Erweichungspunkt Ring und Kugel erweist sich dafür nur bei unmodifizierten Straßenbaubitumen für Asphalte ohne Asphaltgranulatzugabe als geeignet. Sobald modifizierte Bitumen zum Einsatz kommen, verliert er seine Aussagekraft bezüglich des Kälterisswiderstands des Asphalts.
- Die Datenanalyse weist der Erhöhung des Füllergehalts beziehungsweise der Erhöhung des Füller-/Bitumen-Verhältnisses für AC D tiefere Bruchtemperaturen aus. Bei SMA, MA und AC B nimmt die Bruchspannung zu. Die mit der Erhöhung des Füllergehalts einhergehende versteifende Wirkung kann jedoch den Kälterisswiderstand reduzieren, wie Untersuchungen mit systematischer Variation der Asphalteeigenschaften zeigen.
- Für die in Abkühl- und Zugversuchen gemessenen Festigkeitskennwerte (Bruchspannung σ_F und Zugfestigkeit β_Z) können bei den Splittmastixasphalten sowie den in Binder- und Deckschichten eingesetzten Asphaltbetonen der Hohlraumgehalt sowie die damit verbundenen volumetrischen Kennwerte (fiktiver Hohlraumgehalt, Hohlraumausfüllungsgrad) als die wichtigsten Einflussfaktoren erfasst werden. Diese

Zusammenhänge lassen sich zwischen den Eigenschaften der eingebauten Schicht und den an Bohrkerne gemessenen Kälteeigenschaften nachweisen. Für die am Marshall-Probekörper ermittelten volumetrischen Kennwerte können nur Korrelationen für die am eingebauten Mischgut ermittelten Werte erfasst werden – nicht jedoch für die im Rahmen der Erstprüfung bestimmten. Bei den Asphaltdeckschichten weisen letztere nur sehr geringe Unterschiede auf, wodurch mögliche Korrelationen zu Kälteeigenschaften nicht erkannt werden können.

- Für die erfassten Tragschichtasphalte ergeben sich keine nachweisbaren Korrelationen zwischen Kälteeigenschaften und konventionellen Asphalteeigenschaften. Dies kann ursächlich in der Verwendung von Asphaltgranulat liegen, sodass der Einfluss von Kennwerten der eingesetzten Frischbindemittel im Datenbestand vernachlässigbar ist. Jedoch kann auch die problematische Prüfdurchführung der Abkühl- und Zugversuche bei großvolumigen Probekörpern eine mögliche Ursache sein.

Die für die Analyse des Kälterisswiderstands eingesetzten Abkühl- und Zugversuche weisen eine Vielzahl an Ergebnisparametern auf. Diese können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Festigkeitskennwerte, welche die bis zum Versagen ertragbare Spannung beschreiben:
 - o Zugfestigkeit $\beta_t(T)$
 - o Bruchspannung σ_F
 - o Zugfestigkeitsreserve $\Delta\beta_{t,max}$
- Steifigkeitsparameter, welche die durch die temperaturabhängige komplexe Steifigkeit des Asphalts beeinflusst werden:
 - o kryogene Spannung $\sigma_{kry}(T)$
 - o Bruchdehnung ϵ_F
- Temperaturparameter
 - o Bruchtemperatur T_F
 - o Temperatur der maximalen Zugfestigkeitsreserve $T(\Delta\beta_{t,max})$

Im Rahmen von systematischen Untersuchungen zur Optimierung des Kälterisswiderstands von Asphalt erlauben alle Kenngrößen eine umfassende Bewertung. Für die Nutzung der Prüfsystematik zur Prüfung von Anforderungswerten sind jedoch die meisten der Parameter ungeeignet, da eine Vielzahl von relevanten die kompositionellen Asphalteeigenschaften ergeben, welche unterschiedliche Ausprägung auf die meisten Kälteparameter ausüben. So weisen alle Festigkeitsparameter eine hohe Abhängigkeit von dem Hohlraumgehalt des Asphalts auf, wodurch ein Vergleich zwischen Asphalten mit unterschiedlichen Hohlraumgehalten nicht möglich ist und keine Aussage auf den Risswiderstand bei tiefen Temperaturen zulassen. Vergleichbar weisen die als Steifigkeitsparameter bezeichneten Parameter einen hohen Einfluss der temperaturabhängigen Asphaltsteifigkeit auf. Diese kann gezielter durch die Ansprache des Steifigkeitsmoduls direkt bewertet werden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Korrelationsuntersuchungen: Zusammenhang zwischen kompositionellen Asphalteeigenschaften und Ergebnissen der Abkühl- und Zugversuche

Eigenschaft des Asphaltmischguts		Mischguttart	Abkühlversuch			Zugversuch		Zugfestigkeitsreserve	
			Bruchtemperatur T_F [°C]	Bruchspannung σ_F [MPa]	kry. Spannung σ_{cry} (-10 °C) [MPa]	Zugfestigkeit β_t (-10 °C) [MPa]	Bruchdehnung ϵ_F (-10 °C) [‰]	$\Delta\beta_{t,max}$ [MPa]	$T(\beta_{t,max})$ [°C]
Asphalteeigenschaften (Erstprüfung)	Bindemittleigenschaften: höherer Erweichungspunkt $T_{R\&K}$	AC D	↑	○	○	↓	↓	↓	○
		SMA	○	○	○	○	○	○	○
		MA	↑	○	↑	-	-	-	-
		PA	-						
		AC B	↑	↑	↑*	-	-	-	-
		AC T	○	○	○	-	-	-	-
	Bindemittleigenschaften: BBR: höhere Biegesteifigkeit $S(-16\text{ °C})$	AC D	↑	↑	↑*	○	○	○	↓
		SMA	↑	○	↑	○	○	○	○
		MA	-						
		PA	-						
		AC B	○	↑	↑*	-	-	-	-
		AC T	-						
	Höherer Bindemittelgehalt	AC D	○	○	○	↑	↑	↑	○
		SMA	○	○	↑	○	○	○	○
		MA	↑	○	↑	-	-	-	-
		PA	-						
		AC B	○	○	○	-	-	-	-
		AC T	-						
	Höherer Füllergehalt	AC D	↓	○	○	↑	↑	↑	○
		SMA	○	○	↑	○	○	○	○
		MA	○	↑	↑	-	-	-	-
		PA	○	○	○	○	-	○	○
		AC B	○	↑	↑*	-	-	-	-
		AC T	-						
Höherer Hohlraumgehalt (MPK)	AC D	○	○	○	○	○	↓	○	
	SMA	○	○	○	○	○	↓	○	
	MA	-							
	PA	○	○	○	○	-	↓	○	
	AC B	○	○	○	-	-	-	-	
	AC T	-							
Höheres Füller/Bitumen-Verhältnis	AC D	↓	○	↓	↑	↑	↑	↓	
	SMA	○	○	○	○	↓	○	○	
	MA	○	↑	○	-	-	-	-	
	PA	○	○	○	○	○	○	○	
	AC B	○	↑	↑*	-	-	-	-	
	AC T	-							
Bohrkerneigenschaften	Bindemittleigenschaften: höherer Erweichungspunkt $T_{R\&K}$	AC D	↑	○	↑	○	○	↓	○
		SMA	○	○	○	○	○	○	○
		MA	↑	↑	↑	-	-	-	-
		PA	-						
		AC B	○	○	○	-	-	-	-
		AC T	-						
	Höherer Hohlraumgehalt (eingebaute Schichte)	AC D	○	↓	○	↓	↓	↓	○
		SMA	○	↓*	○	↓*	↓	↓*	○
		MA	-						
		PA	-						
	AC B	○	↓*	○	-	-	-	-	
	AC T	-							

Legende:
 ↑ / ↓: Änderung der konventionellen Asphalteeigenschaft bewirkt Anstieg/Verringerung der Kälteeigenschaft
fett: mit Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (*: 1 %) signifikant
 ○: kein Einfluss nachweisbar
 -: Kombination nicht im Datenbestand auswertbar

Mittels Zugfestigkeitsreserve wird die infolge kryogener Spannung reduzierte Festigkeitsreserve beschrieben und bewertet. Die alleinige Betrachtung der Zugfestigkeit oder der kryogenen Spannung allein erlaubt keine Einschätzung des Risswiderstand bei gleichzeitiger Temperatur- und Verkehrsbeanspruchung. Hohe Zugfestigkeitswerte, wie sie zum Beispiel bei Asphalten hoher Steifigkeit auftreten, können durch gleichzeitig hohe kryogene Zugspannungen aufgebraucht werden. Ebenso weist zwar eine geringe kryogene Spannung, zum Beispiel bei -10 °C auf eine geringe Spannungszunahme infolge des Abkühlvorgangs hin, diese kann jedoch auch auf eine geringe Steifigkeit – und die damit verbundene geringe Festigkeit, zum Beispiel bei offenporigen Asphalten, begründet liegen. Somit eignet sich die Zugfestigkeitsreserve für eine Bewertung des Risswiderstands bei tiefen Temperaturen und hoher Verkehrsbeanspruchung. Da jedoch keine Einflussgrößen der kompositionellen Asphalteeigenschaften auf die Temperatur bei maximaler Zugspannungsreserve identifiziert werden konnte, sollte zur Optimierung des Kälterisswiderstands lediglich die Höhe der Zugfestigkeitsreserve betrachtet werden. Dadurch wird der Einfluss der volumetrischen Asphalteeigenschaften abgebildet und demzufolge die Bruchtemperatur T_F als Parameter sinnvoll ergänzt, der maßgeblich durch die viskoelastischen Asphalteeigenschaften beeinflusst wird.

Für 28 Strecken konnten vollständige Datensätze der die im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) ermittelten Risszustände der Oberfläche sowie umfassende Temperaturkennwerte für den Zeitraum zwischen Herstellung der Asphaltdeckschicht und Zustandserfassung zusammengestellt werden.

Die Analyse des tatsächlichen Rissverhaltens der Fahrbahnoberflächen bestätigt den im Arbeitspapier zum Tieftemperaturverhalten von Asphalt genannten Orientierungswert für die Bruchtemperatur von $T_F \leq -25\text{ °C}$ zur Vorbeugung von Kälterissbildung. Da die vorliegende Untersuchung dabei keine Differenzierung nach bestehenden Temperaturzonen (Frosteinwirkungszonen gemäß RSTO beziehungsweise KIST-Zonen gemäß RDO/RSO) beziehungsweise im Rahmen des Projekts eingeführten Wetterindizes erlaubt, wird empfohlen diesen Orientierungswert unabhängig von der Lage der Straßenbefestigung für Asphalte für Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten anzuwenden. Weiterhin weist keine der hier untersuchten Asphaltproben für Deck- und Binderschichten eine Bruchtemperatur von $> -15\text{ °C}$ auf, der im genannten Arbeitspapier als Orientierungswert für Frosteinwirkungszone I angegeben ist. Zwar weist keine der dieser Zone zugeordneten Asphalte Rissbildung auf, jedoch erscheint die Angabe dieser vergleichsweise hohen Bruchtemperatur als nicht zielführend.

Für die Festlegung von differenzierten Anforderungswerten ist eine Vergrößerung des Datenbestands erforderlich. Dies kann durch die Einführung der Bestimmung der Bruchtemperatur im Rahmen der Erstprüfung erfolgen. Ergänzend können bestehende Befestigungen mit unterschiedlichem Risszustand einer prüftechnischen Untersuchung mittels Abkühlversuchen unterzogen werden. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass die an gealterten und geschädigten Asphaltsschichten ermittelten Kälteeigenschaften nur bedingt geeignet sind, um auf Anforderungen für den Kälterisswiderstand an frisch hergestellten Asphalten in der Erstprüfung zu schließen.