

Abkühlverhalten von Splittmastix und Gussasphalt

Dr. Manfred N. Partl, EMPA Dübendorf, und Prof. Dr. Ted. S. Vinson, Oregon State University, Corvallis, USA

Strassenbeläge mit bituminösen Deckschichten in Regionen mit häufigen plötzlichen Kälteeinbrüchen sind der Gefahr überraschend auftretender Abkühlrisse ausgesetzt. In einer gemeinsamen Studie von EMPA und Oregon State University (OSU) wurde daher das verformungsbehinderte Abkühlverhalten von Gussasphalt (GA) und verschiedenen Splittmastixvarianten (SMA) mit dem Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST) des amerikanischen SHRP Programmes bezüglich des Einflusses von thermischer Langzeitalterung, SMA-Zellstoffasergehalt, Verdichtungsart und Hohlraumgehalt untersucht. Dabei zeigte es sich, dass sich die TSRST Prüfung - ungeachtet des noch vorhandenen weiteren versuchstechnischen Optimierungspotentials - im allgemeinen gut zur Beurteilung und Charakterisierung der Abkühleigenschaften verschiedener Belagsmischungen eignet.

Einleitung

Extrem rasche Abkühlung von versprödeten, gealterten Strassenbelägen weit unter den Gefrierpunkt kann in Deckschichten Abkühlrisse hervorrufen, die in regelmässigen Abständen meist quer zur Strassenachse verlaufen und von der kalten Belagsoberfläche ausgehen (*Abbildung 1*). Ihre Ursache liegt in der starken thermischen Dilatation bituminöser Materialien, die bei Verformungsbehinderung festigkeitsüberschreitende Zugspannungen induzieren kann, welche durch die stark verminderten viskoelastischen Kriech- und Relaxationseigenschaften bei Kälte nicht mehr rechtzeitig vor dem lokalen Versagen abgebaut werden können. Abkühlrisse werden jedoch nicht nur durch schockartige Temperaturstürze allein sondern insbesondere auch durch ungenügende Belagsdimensionierung und -konzipierung sowie Fehler bei der Mischgutwahl (z.B. zu hartes, sprödes Bindemittel) verursacht. Abkühlrisse gefährden die Lebensdauer der Fahrbahn, da sie Angriffsstellen für das Eindringen von Wasser, Enteisungsmitteln, lösenden Substanzen und Agenzien sowie für Pflanzenwuchs und Verwitterung bilden.

Rasche Abkühlungen ergeben sich in der Praxis vor allem an exponierten Stellen, z.B. in windgefährdeten ländlichen Lagen, engen Gebirgstälern mit ungünstigem Schattenwurf, Kaltluftsee-Regionen oder auf Brücken, Flugplätzen und Wintersport-Parkflächen. Verstärkt wird das Risiko von Abkühlrissen vor allem dort, wo Strassen und Plätze durch Streusalz auch im Winter offengehalten werden müssen; ausserdem an Stellen, wo der Belag so eingebaut wurde, dass dilatationsbedingte Zwängungen entstehen können, die sich insbesondere auch an Schwachstellen, wie Fugen und Einbaunähten, abbauen. Besonderes Merkmal dieser Schäden ist, dass ihr Auftreten weitgehend unabhängig von der Verkehrsbeanspruchung ist. Die Gefahr von Abkühlrissen ist vor allem dort gegeben, wo infolge relativ geringer Verkehrsbelastung geringe Belagsdicken vorliegen. Entsprechend sind Abkühlrisse in der Schweiz weniger ein Problem von unseren Höchst- und Hochleistungsstrassen als vielmehr von unserem kilometermässig weit ausgedehnten Netz aus Hauptverkehr- Sammel- und Erschliessungsstrassen.

Im Gegensatz zu Spurrinnen- oder Ermüdungsschäden treten Abkühlrisse schlagartig auf; sie entstehen somit nicht durch sukzessive Überbeanspruchung. Massgebend ist der während der Gebrauchsdauer einmalig auftretende kälteste Temperaturabfall. Kritisch sind Klimazonen mit grossen Temperaturschwankungen, beispielsweise mit alpinem oder nordkontinentalem Klima, welche hohe Anforderungen an die Wahl des richtigen Mischguts und Bindemittels stellen. Solche Klimate finden sich z.B. in Teilen von Kanada, USA, Russland,

Skandinavien aber auch in bestimmten exponierten Gegenden der Schweiz. Gleichmässig kaltes Klima bietet dagegen bezüglich Abkühlrissen kaum Probleme.

Vor diesem Hintergrund wurden innerhalb des Strategic Highway Research Program (SHRP) in den USA Methoden entwickelt, die der Abschätzung des Abkühlverhaltens von Asphalt und damit der Abschätzung des Kältebruchverhaltens (thermal cracking) dienen. Beispielsweise wurde in Anlehnung an die Entwicklungen von Arand und sein Modell der kryogenen Zugspannungen [1] vorgeschlagen, das verformungsbehinderte Abkühlen eines Zugstabes bis zum Bruch mittels sog. TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test) zu charakterisieren [2]. Obschon der TSRST zu Gunsten des Spaltzugversuchs (IDT: InDirect Tensile test) aus terminlichen und entwicklungs-technischen Gründen nicht in die offizielle von SHRP letztlich vorgeschlagene performanceorientierte¹ Methodologie mit der Bezeichnung SUPERPAVE™ (SUPERior PERforming asphalt PAVements) aufgenommen wurde [3], hat das allgemeine Interesse an dieser Prüfung wegen ihres mechanisch einfachen und gleichzeitig extrem phänomenorientierten Konzeptes nicht abgenommen.

Im Folgenden werden Erfahrungen mit dem TSRST zusammengefasst, die im Rahmen eines gemeinsamen Projektes der EMPA mit der Oregon State University (OSU) unter Nutzung der dort vorhandenen TSRST Gerätschaften durchgeführt wurden [4,5]. Zudem wird auf Aspekte zum Abkühlverhalten hingewiesen, die im Rahmen des RILEM Symposiums MTBM 97 (Mechanical Tests for Bituminous Materials) in Lyon behandelt wurden [6, 7].

Eines der Ziele des EMPA-OSU Projektes bestand darin, im Sinne einer Orientierungsstudie, Möglichkeiten und Eignung der TSRST Abkühlprüfung zur Beurteilung charakteristischer Phänomene und Einflussgrössen, wie thermische Langzeitalterung, SMA-Zellstoffasergehalt, Verdichtungsart, Hohlraumgehalt, zu untersuchen. Aufgrund dieser Zielsetzung wurden zwei extrem unterschiedlich konzipierte Mischguttypen für bituminöse Deckschichten gewählt: Splittmastix (SMA) und Gussasphalt (GA).



Abbildung 1 Abkühlrisse in Regionen mit raschen extremen Temperaturstürzen

¹ Zur Diskussion des Begriffs „Performance“ siehe [3]

Grundlagen

Das Konzept der kryogenen Zugspannungen beruht auf der Annahme, dass die Zugspannungen beim verformungsbehinderten Abkühlen nicht grösser sein können als die bei der jeweiligen Temperatur für das betreffende Material im einfachen Zugversuch ermittelte Zugfestigkeit (*Abbildung 2*). Die Fläche zwischen der Kurve der beim verformungsbehinderten Abkühlen aufgebauten Zugspannungen und jener der temperaturabhängigen einfachen Zugfestigkeit im dehnungsgesteuerten Zugversuch wird als Zugfestigkeitsreserve interpretiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass infolge des viskoelastischen Materialverhaltens sowohl die Kurve der Zugfestigkeiten als auch der Abkühlspannungen insbesondere im relaxationsrelevanten Bereich jeweils von der Belastungs- bzw. Abkühlgeschwindigkeit abhängt. Zu beachten ist aber auch, dass die Abkühlgeschwindigkeit versuchstechnisch zwar beliebig langsam aufgebracht werden kann, rasche Abkühlgeschwindigkeiten aber durch die geometrie- und materialabhängige Forderung begrenzt sind, dass der Prüfkörper eine homogene Temperaturverteilung besitzen soll.

Zur zweckmässigen Festlegung der Dehngeschwindigkeiten sind grundsätzlich verschiedene Modellvorstellungen möglich. Beispielsweise besteht ein denkbarer Ansatz darin, bei der Ermittlung der Zugfestigkeiten die Dehngeschwindigkeiten jeweils so zu wählen, dass die Bruchdauer im statischen Zugversuch der Zeit bis zum Erreichen der Abkühlungsbruchspannung entspricht, d.h.

$$\dot{\epsilon}_{\beta}(T) = f(t_{BR}(\sigma_{BR}(T_{BR}))) = \text{konstant}$$

Der Nachteil dieses Ansatzes besteht allerdings darin, dass im Bereich der hohen Temperaturen zwischen dem Erreichen der Zugfestigkeit und der entsprechenden Abkühlspannung eine erhebliche Zeitdiskrepanz besteht. Ein alternativer Ansatz für die Ermittlung der Zugfestigkeiten besteht somit darin, die Dehngeschwindigkeiten den Zeiten bis zum Erreichen der jeweiligen Abkühlspannung anzupassen, d.h.

$$\dot{\epsilon}_{\beta}(T) = f(t(\sigma(T))) = \text{variabel}$$

Zur mathematischen Modellierung des Abkühlverhaltens wurden von verschiedenen Autoren einfache viskoelastische Modelle erarbeitet. Erwähnt sei hier stellvertretend die Arbeit im Zusammenhang mit dem Computer Modell THERMOSTRESS von Marciano und Bertaux [8]. Das einfache linear viskoelastische Modell basiert auf der Annahme eines konstanten Temperatúrausdehnungskoeffizienten α und einer homogenen Temperaturverteilung im Material. Die Abkühlspannungen infolge einer Temperaturgeschichte $T(s)$ lauten

$$\sigma(t) = \alpha \int_0^t dT(s) S_{\text{mix}}(v_{T_0}(t) - v_{T_0}(s))$$

Die Steifigkeiten S_{mix} werden mit den Nomogrammen von Van der Poel und Bonnaure ermittelt. Durch Anwendung des Zeit-Temperatur Superpositionsprinzips werden die Shiftfaktoren a_{T_0} in bezug auf eine Masterkurve für die Temperatur T_0 ermittelt und eine entsprechende Transformation der Zeit $(t-s)/a_{T_0} \rightarrow v_{T_0}(t), v_{T_0}(s)$ vorgenommen.

Wenngleich solche Modelle in ihrem heutigen Entwicklungsstadium, insbesondere auch mit Blick auf das Bruchverhalten, nur eingeschränkt für die Beschreibung des Abkühlverhaltens in der Praxis herangezogen werden können, eignen sie sich doch recht gut zum Verständnis und zur Interpretation der während des Abkühlvorganges auftretenden Mechanismen. Beispielsweise lässt sich darlegen, dass beim Abkühlen die erste Phase des Spannungszuwachses massgebend von den Relaxationseigenschaften geprägt ist, während in der Schlussphase vor dem Erreichen der Bruchtemperatur die elastische Komponente überwiegt. In *Abbildung 2* ist dieser Sachverhalt durch die beiden Tangenten mit dem Tangentschnittpunkt T_{TS} dargestellt. Die erste Tangentensteigung zu Beginn des Abkühlvorganges ist mit dem Verhalten in der Relaxationsperiode verknüpft, jenem Bereich also, in dem die Spannungen noch durch Relaxation merkbar abgebaut werden. Die zweite Tangentensteigung vor Erreichen der Bruchspannung beschreibt den linearen Ast der Span-

nungs-Temperatur-Kurve im Tieftemperaturbereich und kann als analoge Grösse zum Elastizitätsmodul eines elastischen Materials in einem Spannungs-Dehnungsdiagramm aufgefasst werden. Das Ende der Relaxationsperiode und der Beginn des linearen Spannungs-Temperaturverlaufs wird durch die Tangentenübergang-Temperatur $T_{TÜ}$ bestimmt. Ein tiefer $T_{TÜ}$ -Wert und eine geringe Steigung der ersten Tangente zeigen, dass das Material eine relativ tiefe Viskosität aufweist und somit eine gute Fähigkeit besitzt, Abkühlspannungen durch Relaxation abzubauen. Als weiterer charakteristischer Wert wird bei der TSRST Abkühlprüfung ausserdem die Tangentenschnittpunkt-Temperatur (T_{TS}) bestimmt, welche die Temperatur am Knickpunkt der bilinearen Näherung an die Spannungs-Temperaturkurve angibt. Allerdings lässt sich mit dem T_{TS} -Wert weder die voraussichtliche Bruchtemperatur T_{BR} noch die zugehörige Bruchspannung σ_{BR} abschätzen.

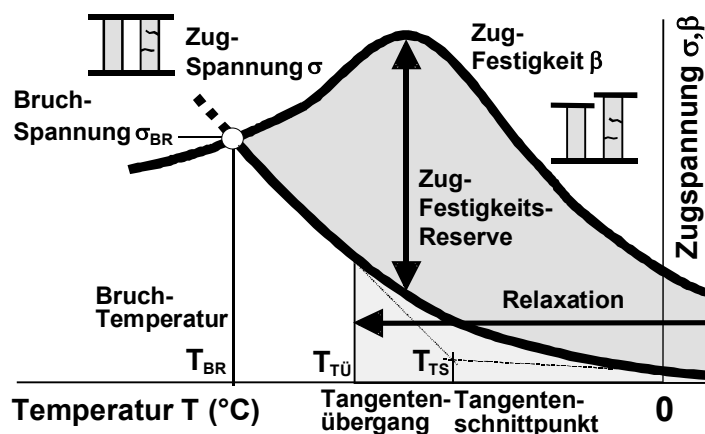


Abbildung 2 Konzept der kryogenen Zugspannungen nach Arand [1]

TSRST- Abkühlprüfung

Zunächst ist festzuhalten, dass es sich beim Thermal Stress Restrained Specimen Test (TSRST) eigentlich um eine Abkühlprüfung im Verformungsbehinderungs-Modus handelt. Insofern ist die Bezeichnung „Stress Restrained“ (bzw. „spannungsbehindert“) eher unglücklich gewählt. Als Vorteil gegenüber anderen Tests, wie der Spaltzugprüfung (IDT), ist die Realisierung relativ klar definierter Spannungsverhältnisse zu werten. Positiv ist ferner, dass es sich um ein phänomenorientiertes relativ einfach durchzuführendes Prüfkonzept handelt. Besondere Beachtung verdienen bei der Durchführung die Steifigkeitsverhältnisse zwischen Versuchsrahmen und Prüfkörper, die Homogenität der Temperaturverteilung, die Zentrierung der Prüfkörper (d.h. das Ausschalten von Biegeeffekten) sowie die Festlegung der optimalen Prüfkörperzahl.

Bei der TSRST Abkühlprüfung (Abbildung 3) wird der Prüfkörper zwischen zwei parallele Aluminiumplatten kraftschlüssig mit Epoxidharz eingeklebt. Während dem Abkühlen mit einer Geschwindigkeit von $-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ wird der Abstand zwischen den Aluminiumplatten (bzw. die Prüfkörperhöhe) konstant gehalten und dabei kontinuierlich die Zugkraft gemessen, die sich bis zum Bruch des Prüfkörpers aufbaut [2]. Üblicherweise wird die Abkühlprüfung an 250mm langen zylindrischen Prüfkörpern mit einem Durchmesser von 50mm durchgeführt. Im vorliegenden Fall wurden jedoch auch 200mm lange und 50mm breite prismatische TSRST Prüfkörper hergestellt, da die geringe Höhe der in-situ Belagsprüfkörper von 35mm und 40mm keine zylindrische Form zuließ.

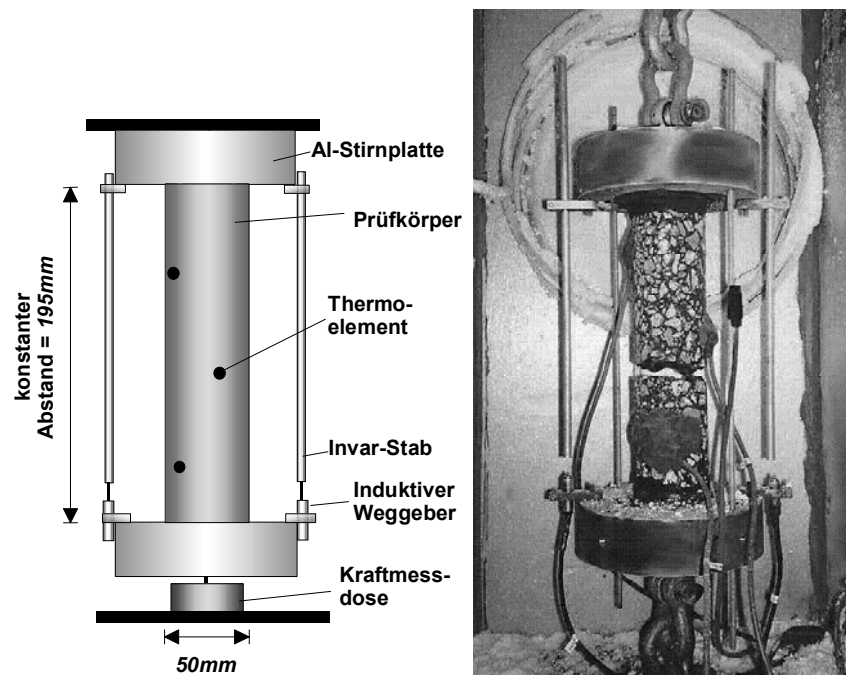


Abbildung 3 links: Versuchsanordnung der TSRST Abkühlprüfung (Thermal Stress Restrained Specimen Test), rechts: SMA Prüfkörper nach dem Bruch in Prüfkörpermitte

Material und Konzept

Zur Untersuchung gelangte Splittmastix (SMA) und Gussasphalt (GA) mit einem Grösstkorn von 11mm. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die geprüften Mischgutvarianten bezüglich Typ, Verdichtungsart, SMA-Zellstoffasergehalt und Hohlraumgehalt deutlich unterschieden. Details über Materialien und Versuchsdurchführung sind in [9] enthalten. Wo immer möglich wurde das Mischgut sowohl vor als auch nach einer extremen thermischen Langzeitalterung bis zu 90d im Ofen bei 85°C untersucht, um den Einfluss allfälliger Versprödung auf das Abkühlverhalten und damit die Tendenz zur Rissbildung aufzuzeigen.

Bei SMA handelt es sich bekanntlich um einen in der Schweiz häufig eingesetzten Mischgutttyp mit einer besonders splittreichen Ausfallkörnung und einem relativ hohen Anteil an bituminösem Bindemittel. Um ein Ablösen des dicken Bindemittelfilms und Entmischungen zu verhindern, sind bindemittelstabilisierende Zusätze (z.B. Zellstoffasern) erforderlich. Da das Tragverhalten vor allem auf der direkten Korn-zu-Korn-Abstützung des Mineralstoffgerüsts beruht, wird SMA Belägen eine gute Widerstandsfähigkeit gegenüber bleibenden Deformationen zugeschrieben. Dank des relativ dicken Bindemittelfilms werden allgemein günstige Ermüdungseigenschaften, ein grosser Widerstand gegen Rissbildung bei tiefen Temperaturen sowie eine gute Alterungsbeständigkeit erwartet. Insbesondere mit Blick auf die letzten beiden Eigenschaften lag es daher auf der Hand, in die konkrete TSRST Evaluation verschiedene Varianten von SMA einzubeziehen. Untersucht wurde sowohl SMA (0.8% NAF501, B80/100) aus Belagsabschnitten eines frisch gefertigten schweizerischen Deckschichtbelags mit einer Dicke von 35mm als auch SMA, der labormässig an der OSU bei verschiedener Verdichtungsart mit Mineralstoffen und Bindemittel amerikanischer Provenienz jedoch mit nominell gleicher Korngrössenverteilung und einem ähnlichen Bindemittelgehalt um 6.7 Massen-% hergestellt wurde. Mit einem Hveem Knetverdichter wurden SMA Varianten mit 0, 0.2, 0.35, 0.5 Massen-% Zellstoffasern produziert, um Hinweise über eine Variation im Bindemittelfilmbereich zu erhalten. Zusätzlich wurden mit einer Tandemwalze Belagskörper mit den Abmessungen 320x650x100mm und einem Hohlraumgehalt von 4.8, 8.4 Volumen-% hergestellt. Dadurch sollten Hinweise über den

Einfluss extremer Hohlraumgehalte auf das Tragverhalten des Mineralstoffgerüsts im TSRST gewonnen werden.

Im Gegensatz zu SMA weist GA kein in sich abgestütztes Mineralstoffgerüst auf und repräsentiert damit ein praktisch gegenteiliges Materialkonzept. Das Tragverhalten von GA beruht hauptsächlich darauf, dass durch den hohen Sand- und Filleranteil und die hohe Einbautemperatur nach dem Abkühlen eine steife, praktisch hohlraumfreie Matrix entsteht, die wie eine eingefrorene Flüssigkeit die Tragfunktion übernimmt und durch die kontinuierlich abgestuften Splittkörner zusätzlich versteift wird. Durch die dichte Struktur von GA kann während der Lebensdauer praktisch keine oxidative Bindemittelverhärtung auftreten. Die verbreitete Anwendung für schweizerische Ingenieurbauten, die dichte zu SMA gegensätzliche Struktur und die hohe praktische Bedeutung, die einem hohen Risswiderstand von GA in der Praxis zukommt, war Anstoss dafür, dass dieses Mischgut ebenfalls in die TSRST Studie aufgenommen wurde. Dabei handelte es sich um Prüfkörper aus GA11 eines schweizerischen Belagswerk, welche labormässig gegossenen Belagskörpern mit den Abmessungen 400x400x40mm entstammten.

Resultate und Diskussion

Thermische Langzeitalterung

Die Resultate der TSRST Abkühlprüfung der untersuchten Mischgutsorten schweizerischer Provenienz sind in

Abbildung 4 im Spannungs-Temperatur Diagramm zusammengefasst. Die Spannungsberechnung erfolgte unter der Annahme eines gleichförmigen einachsigen Zugbeanspruchungszustandes und einer homogenen Temperaturverteilung im ganzen Prüfkörperquerschnitt. Dargestellt sind jeweils für Gussasphalt (GA) und Splittmastix (SMA) typische Abkühlkurven vor und nach 90d thermischer Langzeitalterung im Ofen bei 85°C. Ebenfalls eingetragen sind als Einzelpunkte die entsprechenden Kurvenmaxima aller anderen Abkühlkurven nach 0, 4, 10, 30, 90d Ofenalterung bei 85°C. Diese Einzelpunkte sind Ausdruck für die beachtliche Versuchssteuung, die z.T. darauf zurückzuführen ist, dass im TSRST wie bei jeder Zugprüfung jeweils die zufällig schwächste Stelle für den Bruch des Probekörpers massgebend ist. Lokale Inhomogenitäten oder Störstellen wirken sich somit direkt auf das Resultat aus und werden nicht, wie z.B. bei einer Rohdichtebestimmung rechnerisch gleichmässig auf den ganzen Körper verteilt.

Mit zunehmender thermischer Alterung werden die Abkühlkurven vor allem aufgrund von Unterschieden in Richtung der Temperaturachse eher kürzer und steiler. Dies ist Ausdruck eines alterungsbedingt reduzierten Relaxationsvermögens und der entsprechend versteifenden Wirkung. Dabei ist zu beachten, dass diese Versteifung nicht a priori mit der Bruchspannung korreliert. Die Beobachtung, dass die Bruchspannung offenbar weniger deutlich von der thermischen Alterung beeinflusst wird als die Bruchtemperatur, geht auch aus

Abbildung 5 und *Abbildung 6* hervor. Nach einem kurzen Anstieg innerhalb der ersten vier Tage fallen die Bruchspannungen des SMA kontinuierlich auf etwa auf 70% des Anfangswertes ab. Dies könnte auf einer Versprödung des Bindemittels beruhen, welche die Mikro-Rissbildung und Rissfortpflanzung im Bindemittelfilm bei tiefen Temperaturen beeinflusst. Das Zwischenmaximum könnte auf eine thermisch begünstigte Konsolidation des Mineralstoffgerüsts zu Beginn der Ofenlagerungsphase zurückzuführen sein, verbunden mit einer leichten Reduktion der Bindemittelfilmdicke sowie einer verbesserten Benetzung und Adhäsion an der Splittkornoberfläche. Beim GA ist die Situation dagegen unterschiedlich. Hier erreicht die Bruchspannung nach vier Tagen zunächst ein Minimum, um dann von der länger dauernden Alterung praktisch unbeeinflusst zu bleiben. Auch bei GA wurden in der Anfangsphase Konsolidationsprozesse beobachtet. Im Gegensatz zu SMA äusserten sich diese jedoch wegen des hohen Bindemittelgehaltes und der dichten Struktur in einem Ausschwitzen von Bindemittel und in Kriechdeformationen, welche sich auf die Prüfkörpergeometrie auswirkten.

Zwischen dem Abkühlverhalten des hier untersuchten GA und SMA sind deutliche Unterschiede speziell bezüglich der Bruchspannungen festzustellen. Der dichtere GA vermochte beim Abkühlvorgang höhere Spannungen aufzubauen und zu ertragen als der SMA. Bezüglich Bruchtemperatur bestehen zwischen SMA und GA nach thermischer Kurzzeitalterung nur geringe Unterschiede. Langzeitig wird die Bruchtemperatur beim SMA aber um etwa einen Faktor 2.5 erhöht während bei GA praktisch keine Änderung mehr stattfindet. Dies lässt darauf schließen, dass die Bruchtemperatur vor allem von jenen Materialkomponenten beeinflusst wird, die durch thermische Alterung verändert werden. Die Bruchtemperatur wird also hauptsächlich durch die Bindemittleigenschaften bestimmt.

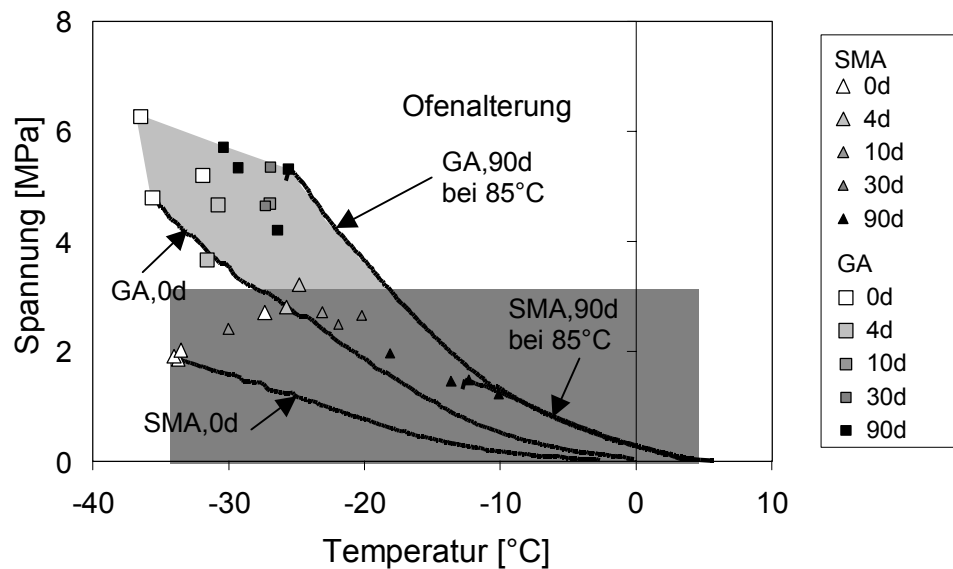


Abbildung 4 Charakteristische Abkühlkurven und sämtliche Kurvenmaxima der TSRST Abkühlprüfung für Gussasphalt (GA) und Splittmastix (SMA) schweizerischer Provenienz vor und nach maximal 90d Ofenalterung bei 85°C

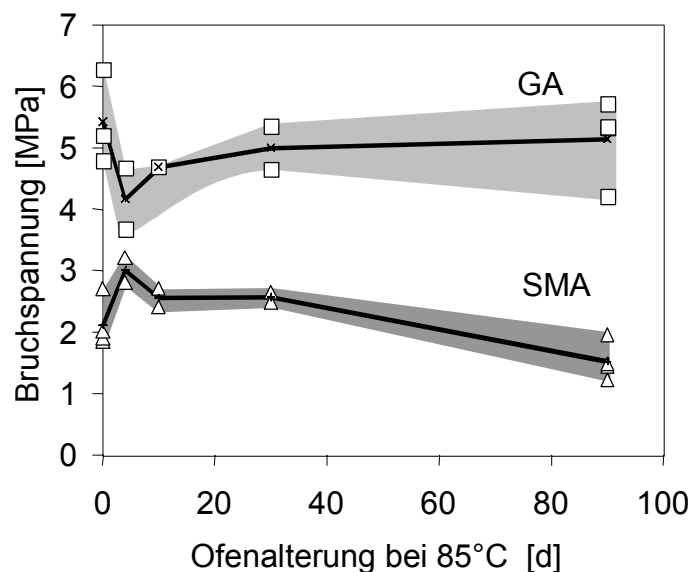


Abbildung 5 TSRST Bruchspannung von Gussasphalt (GA) und Splittmastix (SMA) schweizerischer Provenienz in Abhängigkeit verschieden lange dauernder thermischer Langzeitalterung im Ofen bei 85°C

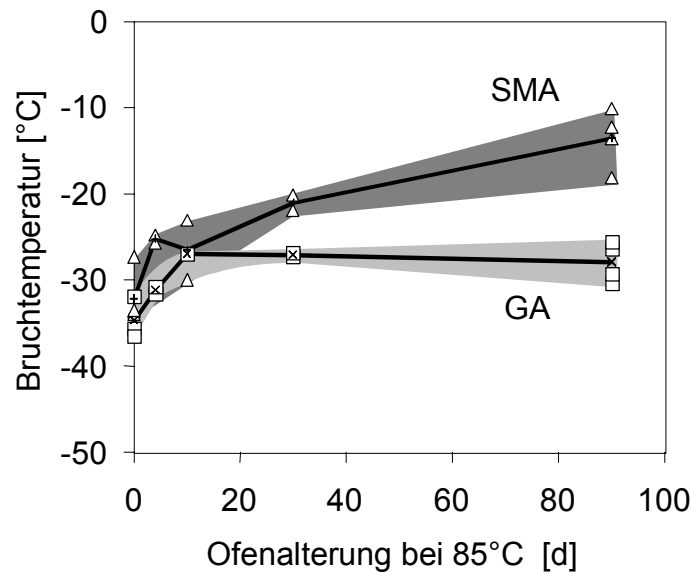


Abbildung 6 TSRST Bruchtemperatur von Gussasphalt (GA) und Splittmastix (SMA) schweizerischer Provenienz in Abhängigkeit verschieden lange dauernder thermischer Langzeitalterung im Ofen bei 85°C

SMA-Zellstoffasergehalt

Aus Abbildung 7 folgt, dass sich bezüglich des Einflusses des Anteils an Zellstoffasern in SMA auf die Bruchspannung und Bruchtemperatur keine eindeutige Tendenz erkennen lässt. Die Zugabe der hier bei der labormässigen Herstellung von SMA amerikanischer Provenienz verwendeten Zellstoffasern hatte also keine armierende Wirkung sondern schien konzeptgemäss lediglich der allfälligen Stabilisierung des Bindemittelfilms zu dienen. Deutlich ist jedoch wiederum die Wirkung der Alterung auf Bruchspannung und Bruchtemperatur, wobei offenbar der Alterungseinfluss auf beide Grössen weitgehend unabhängig vom Faseranteil ist. Erneut ist der Effekt der Alterung auf die Temperatur prozentual stärker als auf die Bruchspannung.

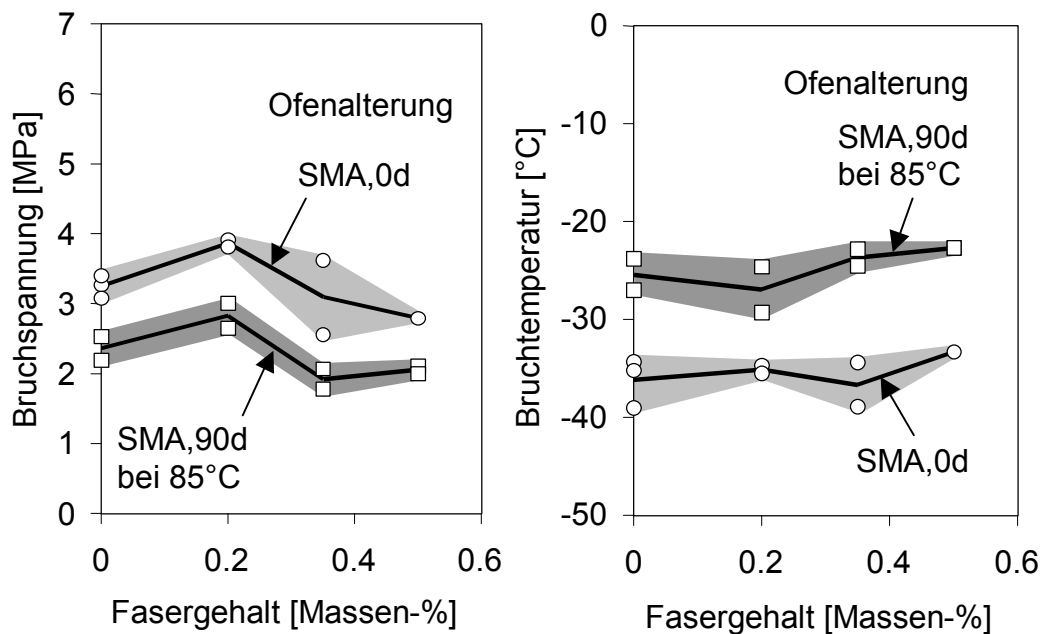


Abbildung 7 TSRST Bruchspannung und Bruchtemperatur von Splittmastix (SMA) amerikanischer Provenienz in Abhängigkeit des Gehalts an Zellstoffasern vor und nach maximal 90d Ofenalterung bei 85°C

Hohlraumgehalt, Verdichtungsart

Abbildung 8 stellt den Einfluss des Hohlraumgehaltes und der Verdichtungsart auf Bruchspannung und Bruchtemperatur von SMA mit einem Zellstofffaseranteil von 0 und 0.35 Massen-% dar. Mittels Regressionsanalyse wurde sowohl die Abkühlgeschwindigkeit als auch die erste und zweite Tangentensteigung der bilinearen Näherung an die Spannungs-Temperaturkurve ermittelt und daraus die Tangentenübergangstemperatur $T_{TÜ}$ sowie der Tangentenschnittpunkt T_{TS} berechnet. Die kreisförmige Markierung bezieht sich auf Prüfkörper, welche mit der Tandemwalze verdichtet wurden; die dreieckigen bzw. quadratischen Signaturen repräsentieren mit dem Hveem Knetverdichter hergestellte SMA Prüfkörper mit 0 bzw. 0.35 Massen-%. Generell zeichnet sich mit zunehmendem Hohlraumgehalt eine qualitativ plausible leichte Abnahme der Bruchspannungen bzw. eine Zunahme der Bruchtemperaturen sowie der Werte $T_{TÜ}$ und T_{TS} ab. Bei den Bruchspannungen lässt sich zwischen den unterschiedlichen Verdichtungsarten eine relativ gute Übereinstimmung feststellen, während bei den Bruchtemperaturen erhebliche Abweichungen existieren.

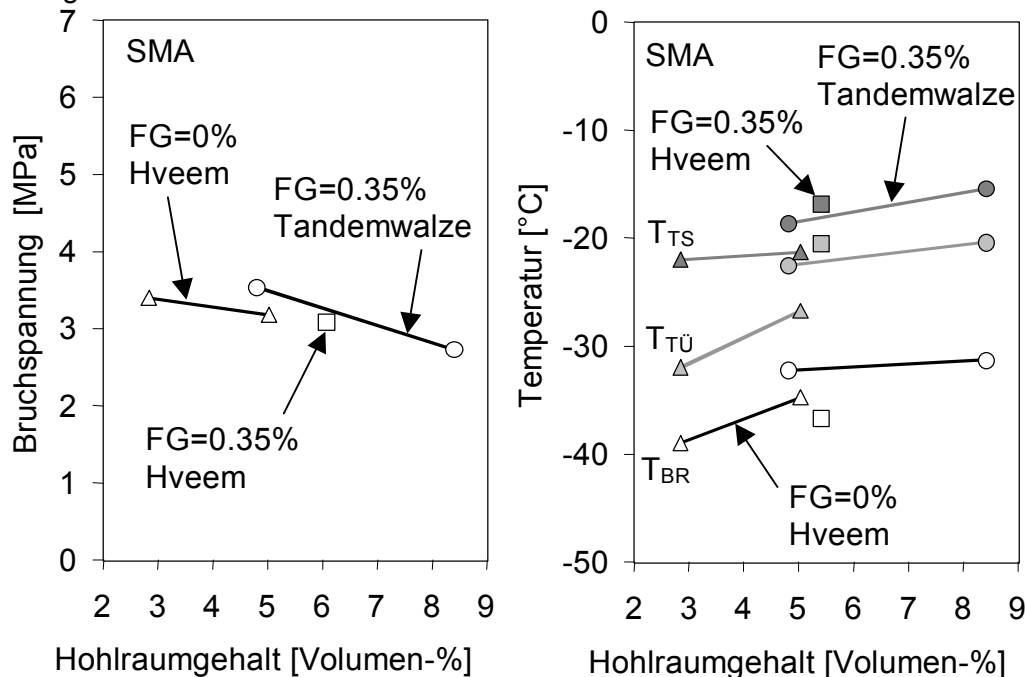


Abbildung 8 TSRST Bruchspannung und charakteristische Temperaturen von Splittmastix (SMA) amerikanischer Provenienz, hergestellt mit dem Hveem Knetverdichter bzw. mit Tandemwalze, in Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes für einen Fasergehalt (FG) von 0 und 0.35 Massen-%

Folgerungen

Im Rahmen dieser Studie wurden Möglichkeiten und Eignung der verformungsbehinderten TSRST Abkühlprüfung (Thermal Stress Restrained Specimen Test) an Zugprüfkörpern aus Gussasphalt GA11 und verschiedenen Splittmastix SMA11 Deckbelägen untersucht. Die Beurteilung charakteristischer Phänomene und Einflussgrößen, wie thermische Langzeitalterung, SMA-Zellstofffasergehalt, Verdichtungsart, Hohlraumgehalt führte im wesentlichen zu folgenden Erkenntnissen und Schlussfolgerungen:

- Die TSRST Prüfung ist eine relativ einfach durchzuführende phänomenorientierte Prüfmethode, die sich dazu eignet eine Beurteilung und Klassierung verschiedener Materialkonzepte hinsichtlich Abkühlverhaltens vorzunehmen. Beispielsweise ist es gelungen, den Einfluss extremer thermischer Langzeitalterung im Ofen bei 85°C für GA und SMA aufzuzeigen und Hinweise auf Unterschiede zu gewinnen, welche auf die prinzipiellen strukturellen und konzeptionellen Unterschiede zwischen den beiden Materialtypen zurückzuführen sind.

- Bei GA wurden generell höhere Bruchspannungen als bei SMA festgestellt. Durch den Vergleich der beiden Mischgutttypen konnten starke Anzeichen dafür gefunden werden, dass die Bruchtemperatur bei der Abkühlprüfung hauptsächlich durch die Bindemittleigenschaften bestimmt wird.
- Die Untersuchung verdeutlichte die Notwendigkeit, dass es zur Vermeidung von Fehlschlüssen notwendig ist, sich nicht alleine nur an Eckpunkten vor und nach einer bestimmten Alterungsperiode zu orientieren sondern die thermische Alterung als Prozess zu begreifen und insbesondere bei neuen Mischgutttypen den Verlauf ihrer Wirkung möglichst vollständig als Kurve zu erfassen. Im konkreten Fall zeigte GA im Gegensatz zu SMA eine deutlich geringere Alterungsabhängigkeit des Abkühlverhaltens. Insbesondere blieben auch nach Langzeitalterung die Bruchtemperaturen von GA auf einem allgemein tiefen Niveau im Bereich von -30°C .
- Bezüglich Einfluss des SMA-Zellstoffaserteils auf die Abkühleigenschaften liess sich keine eindeutige Tendenz und somit keine armierende Wirkung der Fasern erkennen. Hingegen schien sich mit zunehmendem Hohlraumgehalt eine leichte Abnahme der Bruchspannungen bzw. Zunahme der charakteristischen TSRST Temperaturen abzuzeichnen. Zudem wurde bei den Bruchspannungen zwischen Hveem Knetverdichtung und Verdichtung mit der Tandemwalze eine relativ gute Übereinstimmung beobachtet, während bei den Bruchtemperaturen erhebliche Abweichungen existierten.

Beim TSRST handelt es sich um eine Prüfung auf gut fundierter mechanischer Basis (homogener Spannungszustand), die im Gegensatz zu anderen Prüfungen, wie dem Spaltzugversuch (IDT), der Situation in der Realität recht nahe kommt. Die verformungsbehinderte Abkühlprüfung kann daher als wichtiges Instrument zur performancebezogenen Beurteilung des Risswiderstandes bei schockartigen Temperaturstürzen bezeichnet werden. Als nachteilig empfunden wurde allerdings die beachtliche Versuchsstreuung und die Tatsache, dass bei Prüfkörpern aus Belägen mit geringer Dicke noch Optimierungs- und Entwicklungsarbeit notwendig ist, um Exzentrizitäten und unerwünschte Biegung zu vermeiden. Künftige Arbeiten bezüglich Abkühlverhalten müssen sich ferner auf eine Verbesserung der Modellierung in bezug auf die konkrete Situation in situ konzentrieren und auf vergleichende Untersuchungen mit Systemprüfungen, wo einerseits der Einfluss des Temperaturgradienten im Belagsaufbau, das Zusammenwirken der verschiedenen Belagsschichten im Verbund sowie der Einfluss der Verformungsbehinderung durch Reibung erfasst wird. Spezielles Augenmerk müsste auch der kombinierten Beanspruchung durch Temperaturzwängung und dynamischer Verkehrslast zukommen.

-
- [1] Arand, W.: **Influence of Bitumen hardness on the Fatigue Behaviour of Asphalt Pavements of Different Thickness due to Bearing Capacity of Subbase, Traffic Loading and Temperature.** Proceedings, 6th International Conference on Structural Behavior of Asphalt Pavements, Michigan, (1987), S. 65-71
- [2] Jung, D. (1994): **Selection and Performance Evaluation of a Test Method to Assess Thermal Cracking Resistance of Asphalt-Aggregate Mixtures.** PhD Thesis, Oregon State University
- [3] Partl, M.N.: **Strategic Highway Research Program SHRP: Überblick und Erfahrungen.** Strasse und Verkehr, Nr4. pp121-130, (1995)
- [4] Partl, M.N., Vinson, T.S., Hicks, R.G.: **Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt.** ASCE 1994 Materials Engineering Conference, San Diego, (1994)
- [5] Partl, M.N., Vinson, T.S., Hicks, R.G., Younger, K.: **Performance-Related Testing of Stone Mastic Asphalt.** 75th Annual Meeting AAPT, Portland, Vol64 of AAPT Journal, p96..129, (1995)
- [6] Di Benedetto, H., Francken, L. (Editors): **Mechanical Tests for Bituminous Materials: Recent Improvements and Future Prospects.** Proceedings of 5th Int. RILEM Symposium on Mechanical Tests for Bituminous Materials MTBM '97, Lyon, France, 14-16May, Balkema, ISBN 90 5410 8762, (1997)
- [7] Partl, M.N.: **Cracking and Climatic Effects.** Moderator Report presented at 5th Int. RILEM Symposium on Mechanical Tests for Bituminous Materials MTBM '97, Lyon, France, 14-16May, pp1-7, erhältlich durch RILEM TC 152 PBM (1997)
- [8] Marciano, Y., Bertaux, J.M: **Low-Temperature Behaviour of Asphalt Mixes- THERMOSTRESS model: A Computer Program for Calculating Thermal Stresses in Asphalt Mixes.** Proceedings of 5th Int. RILEM Symposium on Mechanical Tests for Bituminous Materials MTBM '97, Lyon, France, 14-16May, pp437-447, (1997)
- [9] Partl, M.N., Vinson, T.S., Younger, K.D., Hicks, R.G.: **Experimental study on Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt.** Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Report No. 113/8 (EMPA No.FE 155'176), März (1995)