

Einfluss der Wärmeabstrahlung, -leitfähigkeit und -kapazität von Mineralstoffen auf die Energiebilanz von Fahrbahnbefestigungen

FA 4.191

Forschungsstelle: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Bearbeiter: Müller, R. / Pirskawetz, S. / Weise, F.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Februar 2007

1. Aufgabenstellung

Im ersten Schritt wurde eine Literaturrecherche ausgeführt. Dabei wurden verschiedene Arbeiten gefunden, in denen Rechenprogramme zur Ermittlung der Temperatur- und Wärmestromverteilung in Straßenbelägen eingesetzt wurden. Die Art und Weise, wie dabei vorgegangen wurde, war jedoch unterschiedlich. Einige Autoren haben die Berücksichtigung der Wärmetransportvorgänge an der Straßenoberfläche über eine gemessene oder eine analytisch berechnete, äquivalente Temperatur-Zeit-Funktion, in der alle Einflüsse implizit enthalten sind, vorgenommen. Andere Autoren haben dagegen explizit eine Wärmestrombilanz an der Fahrbahnoberfläche aufgestellt. In einer Arbeit über Brückenbauwerke wird dargestellt, wie die direkte und diffuse Sonneneinstrahlung mathematisch erfasst werden können. Weitere Formeln zur Berechnung des Sonnengangs finden sich in DIN 5034 Teil 2.

2. Untersuchungsmethodik und -ergebnisse

Nach den in der Literatur beschriebenen Ansätzen sind zur Aufstellung einer Wärmestrombilanz an der Fahrbahnoberfläche von Asphaltbefestigungen die folgenden Wärmetransportvorgänge zu berücksichtigen:

- diffuse und direkte Sonneneinstrahlung,
- atmosphärische Gegenstrahlung,
- Eigenstrahlung,
- Wärmeleitung und Wärmespeicherung im Straßenaufbau und dem zugehörigen Untergrund,
- konvektiver Wärmetransport infolge von Wind.

Für die Simulation dieser Wärmetransportvorgänge wurde ein für andere Problemstellungen in der BAM entwickeltes Rechenprogramm zur Berechnung der Temperatur- und Wärmestromverteilung zweidimensionaler Geometrien unter instationären Randbedingungen eingesetzt, welches in der Vergangenheit bereits an einer Vielzahl von Anwendungsbeispielen erprobt wurde.

Die Simulation der diffusen und direkten Sonneneinstrahlung war bislang jedoch nur zu realisieren, wenn gemessene Werte für die in Abhängigkeit der Zeit einzuspeisende Wärmestromdichte vorlagen. Um aber für die Durchführung der Parametervariation den Verlauf der diffusen und direkten Sonneneinstrahlung unter Extremalbedingungen ansetzen zu können, wurde das in der BAM vorhandene Rechenprogramm erweitert. Damit ist es jetzt möglich, die infolge diffuser und direkter Sonneneinstrahlung einzuspeisende Wärmestromdichte unter Vorgabe

des Längen- und Breitengrads des betrachteten Orts, der Höhe über Normalnull, des Trübungsfaktors der Atmosphäre, der Orientierung und des albedo-Werts der untersuchten Oberfläche zu vorgegebenen Zeiten direkt im Programm zu errechnen.

Eine allgemeine Validierung des Rechenprogramms erfolgte anhand der Prüfreferenzfälle 1 und 2 des Anhangs A der EN ISO 10211 Teil 1. Zusätzlich fand eine Sichtung von vorhandenen Temperaturmessungen an Fahrbahnbelägen im Hinblick auf die Möglichkeit der rechnerischen Simulation der Wärmetransportvorgänge statt. Dafür wurden Messungen ausgewählt, die im Zeitraum zwischen Januar 2002 und Dezember 2004 an einer Autobahn bei Kronau im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen BAST von der Technischen Universität Karlsruhe durchgeführt worden sind. Die dort nicht erfassten Klimadaten wurden vom Deutschen Wetterdienst DWD beschafft. Die für die Region Kronau gemessenen Grundwasserstände und Grundwassertemperaturen wurden vom Regierungspräsidium Karlsruhe – Dienstsitz Heidelberg – erfragt. Außerdem wurden für diese Region vom Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau – geologische und hydrogeologische Daten beschafft. Für die thermischen Kennwerte wurden Werte entsprechend den Angaben in der Literatur angenommen. Die rechnerische Simulation des thermischen Verhaltens erfolgte für die 1. und 27. Kalenderwoche 2002, d. h. sowohl für Sommer- als auch für Winterrandbedingungen (siehe auch den 1. Zwischenbericht zu o. a. Forschungsarbeit). Trotz der von unterschiedlichen Orten stammenden Klimadaten hat die Berechnung der Temperaturen in verschiedenen Tiefen mit der Messung gut bis sehr gut übereinstimmende Resultate geliefert. Damit konnte gezeigt werden, dass das Rechenprogramm alle an der Fahrbahnoberfläche auftretenden Wärmetransportvorgänge simulieren kann.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wurde der Einfluss heller Mineralstoffe in der Asphaltdeckschicht auf die Wärmebilanz an der Straßenoberfläche rechnerisch mittels Parametervariation für insgesamt vier typische Fahrbahnaufbauten gemäß RStO 01 untersucht. Im Einzelnen handelte es sich um eine

- Autobahn mit einer Deckschicht aus Splittmastixasphalt **ohne** hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT),
- Autobahn mit einer Deckschicht aus Splittmastixasphalt **mit** hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT),
- Landstraße mit einer Deckschicht aus Asphaltbeton **ohne** hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) und
- Landstraße mit einer Deckschicht aus Asphaltbeton **mit** hydraulisch gebundener Tragschicht (HGT).

Die Parametervariation wurde für extreme klimatische Randbedingungen eines Sommers und eines Winters in Anlehnung an die Wetterverhältnisse des Jahres 2003 in der Region Freiburg durchgeführt. Für die Untersuchung des Einflusses heller Mineralstoffe in der Asphaltdeckschicht auf die Wärmebilanz an der Straßenoberfläche kamen als Einflussgrößen

- das Reflexionsvermögen der Fahrbahnoberfläche (albedo),
- die Wärmeleitfähigkeit der Asphaltdeckschicht und

- das Wärmespeichervermögen der Asphaltdeckschicht und als Zielgrößen
 - die maximale Oberflächentemperatur der Fahrbahn und
 - die minimale Oberflächentemperatur der Fahrbahn
- in Betracht.

Im Sommer können mit einer Aufhellung der Fahrbahnoberfläche sowohl bei der Autobahn als auch bei der Landstraße tagsüber große Temperaturabsenkungen erreicht werden, während die Absenkungen nachts im Vergleich dazu gering sind. Durch eine Erhöhung des Reflexionsvermögens der Fahrbahnoberfläche von 0,05 auf 0,45 ist es möglich, die Oberflächentemperatur tagsüber um bis zu 15 K und nachts um bis zu 3 K zu verringern. Eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit der Asphaltdeckschicht von 1 auf 4 W/(mK) hat tagsüber lediglich eine Temperaturabsenkung von 2,7 K zur Folge, während nachts mit einer Temperaturerhöhung um ca. 1 K gerechnet werden kann. Da zwischen der Wärmeleitfähigkeit und der maximalen bzw. minimalen Oberflächentemperatur zumindest im Bereich zwischen 1 und 2,5 W/(mK) ein nichtlinearer Zusammenhang herrscht, ist in diesem Wertebereich der größte Effekt hinsichtlich einer Änderung der Oberflächentemperatur zu erzielen. Eine Änderung des Wärmespeichervermögens der Asphaltdeckschicht hat im untersuchten Wertebereich einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Oberflächentemperatur der Fahrbahn.

Obwohl die beiden Straßentypen sich durch den Schichtenaufbau und die für Asphaltbinder- und Asphalttragschicht angesetzten thermischen Stoffkennwerte unterscheiden, ist der Unterschied im thermischen Verhalten zwischen Autobahn und Landstraße im Sommer nur sehr gering. Die Landstraße weist am Tage lediglich eine um ca. 1 K höhere und in der Nacht um ca. 0,8 K niedrigere Oberflächentemperatur auf. Die durch die Variation der Einflussgrößen bewirkten Veränderungen der maximalen bzw. minimalen Oberflächentemperaturen sind jedoch gleich. Ob eine hydraulisch gebundene Tragschicht vorhanden ist oder nicht, macht in Bezug auf das thermische Verhalten an der Fahrbahnoberfläche ebenfalls keinen Unterschied.

Im Winter führt eine Aufhellung der Fahrbahnoberfläche sowohl bei der Autobahn als auch bei der Landstraße auch zu Temperaturabsenkungen während des Tags, allerdings nur in geringem Ausmaß, während sich nachts so gut wie keine Änderung der Oberflächentemperatur ergibt. Mit einer Erhöhung des Reflexionsvermögens der Fahrbahnoberfläche von 0,05 auf 0,45 ist eine Verringerung der Oberflächentemperatur tagsüber um etwas mehr als 3 K und nachts um ca. 0,6 K verbunden. Eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit der Asphaltdeckschicht von 1 auf 4 W/(mK) zieht tagsüber lediglich eine Temperaturabsenkung um 1 K und nachts eine Temperaturerhöhung um ca. 0,3 K nach sich, wobei im Bereich zwischen 1 und 2,5 W/(mK) der größte Effekt hinsichtlich einer Änderung der Oberflächentemperatur zu erzielen ist. Eine Änderung des Wärmespeichervermögens der Asphaltdeckschicht im untersuchten Wertebereich hat einen kaum wahrnehmbaren Einfluss auf die Oberflächentemperatur der Fahrbahn.

Obwohl die beiden Straßentypen sich durch den Schichtenaufbau und die für Asphaltbinder- und Asphalttragschicht angesetzten thermischen Stoffkennwerte unterscheiden, ist der Unterschied im thermischen Verhalten zwischen Autobahn und Landstraße auch im Winter äußerst gering. Die Landstraße weist am Tage nur eine um ca. 0,2-0,3 K höhere und in der Nacht um ca. 0,2 K niedrigere Oberflächentemperatur auf. Die durch die Variation der Einflussgrößen bewirkten

Veränderungen der maximalen bzw. minimalen Oberflächentemperaturen sind sehr ähnlich. Ob eine hydraulisch gebundene Tragschicht vorhanden ist oder nicht, macht in Bezug auf das thermische Verhalten an der Fahrbahnoberfläche ebenfalls keinen Unterschied.

Aufgrund der bei der Parametervariation herausgefundenen geringen Unterschiede bei den maximalen Oberflächentemperaturen der vier untersuchten Straßenaufbauten konnten die zugehörigen Daten einer gemeinsamen Regressionsanalyse mit einem bereits vorhandenen Rechenprogramm unterzogen werden. So wurde schließlich jeweils für den Sommer und den Winter ein für alle vier untersuchten Straßenaufbauten gültiger funktionaler Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen und der maximalen Oberflächentemperatur als Zielgröße aufgestellt. Damit liegt ein geeignetes Hilfsmittel vor, um im Sommer und Winter die maximale Oberflächentemperatur von Asphaltstraßen abschätzen zu können, auch wenn sich das Reflexionsvermögen albedo, die Wärmeleitfähigkeit und Rohdichte der Asphaltdeckschicht gleichzeitig verändern. Die Gleichungen gelten jedoch nur in den für die einzelnen Einflussgrößen festgelegten Untersuchungsbereichen und für die zugrunde gelegten klimatischen Randbedingungen von Freiburg. Während sich der Einfluss des Reflexionsvermögens albedo auf die maximale Oberflächentemperatur der Asphaltfahrbahn als linear herausgestellt hat, geht die Wärmeleitfähigkeit der Asphaltdeckschicht nichtlinear ein. Der Schichtenaufbau und der Einfluss aller Schichten unterhalb der Tragschicht haben sich als nicht sehr signifikant für die Oberflächentemperatur der Fahrbahn erwiesen.

3. Folgerungen für die Praxis

Für die praktische Umsetzung der im Rahmen dieser Arbeit erzielten Ergebnisse bleibt festzuhalten, dass der Ersatz eines dunklen Fahrbahnbelags durch ein sehr helles Mineralstoffgemisch in der Asphaltdeckschicht (albedo-Änderung von 0,05 auf 0,45) im Sommer zwar eine Abkühlung der maximalen Fahrbahnoberflächentemperatur um ungefähr 15 K bewirken und damit zur Verminderung der Spurrinnenbildung beitragen kann, diese Maßnahme allerdings im Winter auch mit einem Temperaturrückgang der maximalen Fahrbahnoberflächentemperatur um fast 3,5 K verbunden ist, was die Gefahr der Eisbildung erhöhen kann.