

Modellierung des Temperaturverhaltens von Asphaltmischgut während des Transports

Ziel dieser Arbeit ist es, auf der Grundlage einer Literaturstudie ein Modell für die thermischen Vorgänge im Asphaltmischgut und im Transportfahrzeug zu entwickeln. Als Ergebnis werden aufbauend auf diesem Modell geeignete Ansätze zur dynamischen Temperaturerfassung abgeleitet.

Aktuell wurde das Thema durch die herausgegebene Rundverfügung RS 10/2013 des BMVI, die aufbauend auf einem Forschungsvorhaben Maßnahmen zur Steigerung der Asphalteinbauqualität - und somit langfristig der Nutzungsdauer der Verkehrswege - erarbeitet hat. In der Einsatzankündigung ist festgelegt, dass Straßenbaumaßnahmen auf Bundesfernstraßen stufenweise ab 2015 mit thermoisolierten Transportfahrzeugen erfolgen sollen. Ab 2019 sind bei allen Bundesbauvorhaben ausschließlich Thermo-Fahrzeuge vorgeschrieben.

Eine Literaturstudie mit einer Übersicht zum aktuellen „Stand des Wissens“ bildet den ersten Teil dieser Arbeit. Einleitend wird erörtert, welche Beeinträchtigungen sich für das Asphaltmischgut durch den Transport ergeben. Anschließend erfolgt ein Überblick zu den wesentlichen Erkenntnissen aus Forschungsarbeiten - auf nationaler und internationaler Ebene - zum Temperaturverhalten des Asphaltmischguts während des Transports sowie zu technischen Qualitätsanforderungen und ihre Umsetzung. Als wesentliches Ergebnis der Literaturstudie für die Modellierung ist festzuhalten, dass sich der Temperaturabfall in den ersten Stunden nur in den Randschichten des Asphaltmischguts bemerkbar macht. Die daraus entstehenden Temperaturunterschiede im Mischgut haben einen negativen Einfluss auf den erzielten Verdichtungsgrad und somit auf die Nutzungsdauer der fertigen Straße.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens PAST (Prozesssicherer Automatisierter Straßenbau, Laufzeit 2008 – 2012) wurden umfangreiche Messungen zur Qualitätsverbesserung im Asphaltstraßenbau durchgeführt. Während in herkömmlichen Stahlmulden das Mischgut auf dem Transportweg an den Randzonen stark abkühlt, ist die Abkühlung in thermoisolierten Mulden an den Randzonen erheblich geringer.

Um die thermischen Vorgänge im Mischgut zu verstehen, werden aufbauend auf den thermodynamischen Grundlagen zum Wärmetransport die verschiedenen Arten der Wärmeübertragung anschließend vorgestellt. Hierzu gehören Wärmeleitung, Wärmeübergang, Wärmestrahlung sowie Wärmedurchgang. In diesem Zusammenhang erfolgt die Darstellung der Fourier'schen Differentialgleichung, mit deren Hilfe die Intensität und Richtung des Wärmestroms sowie die Temperaturverteilungen infolge Wärmeleitung bestimmt werden können. Des Weiteren wird die Berechnung der wärmetechnischen Kenngrößen dargestellt. Unter anderem werden Kenngrößen, wie z.B. der Wärmeleitkoeffizient (λ -Wert), der Wärmeübergangskoeffizient (α -Wert) sowie der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), erläutert und exemplarisch für verschiedene Fälle berechnet.

Ausgehend von diesem wärmetechnischen Hintergrund werden Lösungsansätze zur Berechnung instationärer Temperaturfelder betrachtet. Dieses Kapitel stellt nach einer Einführung in die Lösung von Wärmeleitproblemen die zeitlichen und örtlichen Randbedingungen sowie verschiedene in diesem Zusammenhang gebräuchliche analytische und numerische Berechnungsverfahren vor. Während analytische Verfahren in der Regel als Ergebnis einen geschlossenen Formelausdruck mit einer exakten Lösung liefern, nähern sich numerische Verfahren dem Ergebnis an. Zu den vorgestellten analytischen Verfahren gehören die Methode der Blockkapazität und die Wärmeleitung im halbumendlichen Körper. Bei den numerischen Verfahren werden unterschiedliche Varianten des Differenzenverfahrens aufgezeigt.

Aufbauend auf einem Vergleich der Verfahren wird für das weitere Vorgehen bei der Modellierung für die eindimensionale Betrachtung die Wärmeleitung im halbumendlichen Körper sowie für die zweidimensionale Betrachtung das explizite Differenzenverfahren ausgewählt. Abschließend erfolgt eine Vorstellung des verwendeten Berechnungsprogramms SCILAB.

Den Schwerpunkt dieser Master-Arbeit bildet die Modellierung des Temperaturverhaltens des Asphaltmischguts. Anhand der vorgestellten wärmetechnischen Grundlagen und der erarbeiteten Lösungsansätze für die Berechnung instationärer Temperaturfelder werden die Vorgehensweise zur Modellentwicklung und der Modellbildung sowie die Ergebnisse der Simulation aufgezeigt.

In der Einführung in die Modellentwicklung werden die Grundlagen sowie Zielstellungen und Bedingungen erläutert, die der in dieser Arbeit vorgenommenen Modellierung zugrunde liegen. Die Modellbildung unterteilt sich in die physikalische, mathematische sowie numerische Modellierung und formuliert die grundlegenden Eigenschaften des Modells. Die physikalische Modellierung erarbeitet die Wahl der Dimension, physikalische Gleichungen des Systems, Modellannahmen sowie die Geometrie des Modells. Hierzu werden zuerst die thermischen Vorgänge für den eindimensionalen Fall in Abhängigkeit der Tiefe an der Mischgutoberfläche modelliert. Im zweidimensionalen Modell werden die thermischen Vorgänge über den Querschnitt einer Transportmulde betrachtet.

Danach werden in der mathematischen Modellierung die Differentialgleichung sowie die Anfangs- und Randbedingungen definiert. Die anschließende numerische Modellierung formuliert die Berechnungsalgorithmen für die Wärmeleitung im halbumendlichen Körper sowie das explizite Differenzenverfahren, um die dargestellte Differentialgleichung für den Wärmetransport mit Hilfe eines Berechnungsprogramms lösen zu können.

Die nach der Modellbildung erfolgte Umsetzung unterscheidet zwischen der numerischen und der analytischen Simulation. Die Ergebnisse der Simulation werden im eindimensionalen Fall mit Microsoft Excel 2010 und im zweidimensionalen Fall mit dem Rechenprogramm SCILAB dargestellt. Die Temperaturen werden im eindimensionalen Fall in unterschiedlichen Messtiefen bestimmt. Es lässt sich die Krustenbildung in den Randbereichen eindeutig nachweisen, da mit zunehmender Messtiefe die Temperaturen ansteigen. Für den zweidimensionalen Fall ist exemplarisch die Temperaturverteilung in einer Thermomulde über einen Simulationszeitraum von vier Stunden berechnet worden.

Aufbauend auf diesem Modell wird anschließend das Verhalten der Simulation in Abhängigkeit von den physikalischen Eingangsgrößen und der Muldengeometrie untersucht. Bei den Eingangsgrößen variieren zuerst die verschiedenen Materialparameter und zweitens der Umgebungsparameter.

Neben unterschiedlichen Werten für den Wärmedurch- sowie Wärmeübergang wird die Abhängigkeit für unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten und Dichten aufgezeigt. Für die Temperaturverteilung im Mischgut sind als wichtigste Eingangsgrößen in erster Linie der Wärmeschutz der Außenhülle - d.h. der U-Wert der Muldenwand - und der Luftaustausch durch Undichtigkeiten bei der Planenabdeckung, welcher durch den α -Wert charakterisiert wird, verantwortlich. Materialparameter des Mischguts haben dahingegen keinen großen Einfluss auf das Abkühlungsverhalten.

Es kann ebenfalls aufgezeigt werden, dass eine niedrigere Umgebungstemperatur eine umso größere Beeinflussung auf das Abkühlungsverhalten des Mischguts hat, je schlechter die Mulde isoliert bzw. abgedeckt ist.

Bei der Anpassung der Muldengeometrie wird anschließend untersucht, inwiefern sich eine Anpassung von einer Kastenmulde zu einer Halbschalenmulde auf die Abkühlung des Asphaltmischguts auswirkt. Hierzu wurden exemplarisch die Temperaturverteilungen simuliert und verglichen.

Aus den Erkenntnissen des entwickelten Abkühlungsmodells zum Temperaturverhalten von Asphaltmischgut während des Transports werden Ansätze zur dynamischen Temperaturerfassung für die Praxis abgeleitet.

Neben einer Einführung in die technische Temperaturmessung, welche unter anderem auf Messfehler und Anforderungen an Messgeräte eingeht, werden anschließend für verschiedene Fälle des Asphalttransports die aktuelle Situation sowie zukünftige Alternativen vorgestellt, die Mischguttemperatur manuell und dynamisch in der Mulde zu messen. Während bei der manuellen Messung mit Einstichthermometern die Temperatur in den Randzonen gemessen wird, erfolgt bei der dynamischen Messung die Temperaturerfassung mittels Sensoren direkt an der Muldenwand. Für diese beiden verschiedenen Fälle werden exemplarisch die Simulationsergebnisse für das Abkühlungsverhalten diskutiert und aufbauend auf diesen Erkenntnissen Aussagen zur Sensorplatzierung und zur Messtiefe getroffen.

Den Abschluss bildet ein kurzer Überblick zu einer Anwendungsmöglichkeit der Simulation, welche für den praktischen Einsatz während des Transports verwendet werden kann, um - ausgehend von der dynamischen Temperaturerfassung direkt an der Muldenwand - simulationsbasiert auf die Temperaturen im Inneren des Asphaltmischguts schließen zu können.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Anwendung des expliziten Differenzenverfahrens und das damit entwickelte Modell zur Beschreibung der thermischen Vorgänge im Asphaltmischgut und im Transportfahrzeug eignen; bedeutsam sind dabei allerdings die exakten Kenntnisse über den Zustand der Muldenisolierung sowie der Planenabdeckung. Durch weitere gezielte Untersuchungen kann als Nächstes der Zusammenhang zwischen der Mess-Sensorik an der Muldenwand und der tatsächlichen Kerntemperatur näher bestimmt werden.



Freibleibende Seite