

Informationssystem – Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken

FA 8.237

Forschungsstelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hoppegarten

Bearbeiter: Eger, M. / Freudenstein, S. / Frohböse, B. / Pichottka, S. / Riwe, A. / Villaret, K. / Villaret, S

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: April 2018

1 Aufgabenstellung

Im Jahr 2013 traten im Kontext mit außergewöhnlichen klimatischen Situationen (sogenannte Hitzeperioden), insbesondere im Bundesland Bayern, vermehrt Hitzeschäden auf. Von der Problematik hauptsächlich betroffen sind alte, dünne Betonfahrbahndecken, die nach alter RStO errichtet wurden und die in der Regel einen Konstruktionsaufbau von 22 cm Betondeckschicht auf hydraulisch gebundener Tragschicht in Verbundbauweise haben.

Die behinderte Längsausdehnung des Bauteils "Betondecke" infolge intensiver Sonneneinstrahlung und dem damit verbundenen Spannungsaufbau kann in Verbindung mit den oben genannten Konstruktionsmängeln sowie den über die lange Liegezeit von mehr als 30 Jahren entstandenen Imperfektionen zu Hitzeschäden führen.

Die Spannungszustände im Plattenquerschnitt werden insbesondere von den Temperaturverläufen über den Querschnitt im Kontext mit den Klimadaten, den Materialkennwerten, der Nullspannungstemperatur und der Reibung zwischen Platte und Unterlage beeinflusst.

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Informationssystems zur Ermittlung und Prognose dieser Spannungszustände in Betonfahrbahndecken.

2 Untersuchungsmethodik

In dem durchgeführten Forschungsprojekt sollte ein für die Praxis nutzbares, automatisiert arbeitendes Informationssystem zur Ermittlung und Prognose von realen Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken entwickelt werden. Es wurde zunächst abgeklärt, ob und inwieweit bisher in der Praxis angewendete Messsysteme für die standardmäßige Ermittlung dafür notwendiger Daten geeignet sind. Gegebenenfalls sollten diese für die geplante Anwendung modifiziert oder neu entwickelt werden.

Ferner wurden alle erforderlichen Werkzeuge entwickelt, erprobt und definiert, die für ein autark arbeitendes, softwaregestütztes Informationssystem erforderlich sind.

Die Entwicklung und Erprobung in einem Demonstrator beinhaltete dabei alle Punkte; von der eigentlichen Erfassung relevanter Messdaten bis hin zu einer Schnittstelle zur automatisierten Einrichtung von Warnmeldungen beziehungsweise Tempolimits. Zur Realisierung des Systems wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Konzipierung eines geeigneten Messverfahrens mit den zu bestimmenden physikalischen Größen,
- Recherche bisher in der Praxis angewandter Mess- und Aufnahmesysteme,
- Messtechnische Ermittlung erforderlicher Daten und rechnerische Ermittlung der Spannungszustände in der Fahrbahn,
- Entwicklung eines Ablaufschemas zur Datenerfassung, -übertragung und -speicherung,
- Entwicklung eines Rechenalgorithmus und Softwaretools für die automatische Datenauswertung mit Anbindung an Klimaprognosedaten sowie Definition von Grenzen,
- Modul zur automatisierten Umsetzung von Maßnahmen (zum Beispiel Warnsignale an die Auto-bahnmeistereien),
- Herstellung eines Demonstrators unter Einsatz des gesamten Informations- beziehungsweise Prognosesystems und wissenschaftliche Auswertung.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Erforderliche Daten, Messstationen, Datenbank

Der Zusammenhang zwischen der Temperaturänderung und der dadurch bedingten Dehnung im Beton ist im praxisrelevanten Bereich linear. Wird die Längsdehnung verhindert, führt dies zum Aufbau von Spannungen. Diese sind linear abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen der vorhandenen Betontemperatur und der Temperatur, bei der der Beton temperaturbedingt spannungsfrei wäre (Nullspannungstemperatur). Die Größe der temperaturbedingten Betonspannungen wird also in entscheidendem Maße von der Höhe der Nullspannungstemperatur bestimmt. Damit ist die Ermittlung der Nullspannungstemperatur eine wesentliche Voraussetzung für die korrekte Berechnung der temperaturbedingten Spannungen im Beton.

Eine messtechnische Bestimmung der Nullspannungstemperatur kann über die Messung der Öffnungsweite der Quertugen erfolgen. Der Druckspannungsaufbau beginnt, wenn die Fuge sich geschlossen hat. Damit ist die Ermittlung der Nullspannungstemperatur durch gleichzeitige Messung der Fugenbewegung und der Betontemperatur möglich. Die Nullspannungstemperatur ist offensichtlich dann erreicht, wenn bei weiter steigender Betontemperatur keine Veränderung der Fugenweite mehr stattfindet.

Es mussten also geeignete Messsysteme zur Erfassung der Fugenbewegungen und der Betontemperaturen über den Betondeckenquerschnitt konzipiert werden.

In dem zu entwickelnden Prognosemodul waren die Temperaturzustände der Betonplatten auf der Basis der prognostizierten Klimadaten zu berechnen. Um die Verlässlichkeit des Prognose-

severfahrens zu sichern, war es erforderlich, über längere Zeiträume den Zusammenhang zwischen Klimadaten und Temperaturzuständen sowohl rechnerisch als auch messtechnisch zu erfassen und abzugleichen. Dies erforderte auch die Messung aller hierfür relevanten Klimadaten.

Nach Festlegung der erforderlichen Daten wurden an drei Standorten Messstationen zur Erfassung von Fugenbewegungen, Betontemperaturen über den Querschnitt und Klimadaten konzipiert und errichtet beziehungsweise erweitert, deren Daten automatisch in eine Datenbank übermittelt, normalisiert und weiterverarbeitet wurden.

Zur Aufzeichnung, Speicherung und Übermittlung der Messdaten wurde neben der Fahrbahn jeweils eine Streckenstation mit Messtechnik, Datenlogger und autarker Stromversorgung durch eine Batterie sowie einen Mast mit Solarzellen aufgestellt. Mittels Fernabfrage über ein GSM-Modul werden die gesammelten Messdaten zur weiteren Auswertung täglich zu festgelegten Zeitpunkten automatisch an die Forschungsnehmer übermittelt und in die Datenbank übernommen.

Neben der strukturierten Ablage der Messdaten dient die Datenbank der Ablage relevanter Informationen zu den Messstationen und deren Ausstattung, wichtiger Informationen zur jeweiligen Strecke sowie der Berechnungsergebnisse.

3.2 Softwaretool zur Klimaprognose

Es wurde ein Softwaretool für die automatische Datenauswertung entwickelt, das auf Basis von Klimadaten den Temperaturverlauf und qualitative Spannungszustände in der Betondecke berechnet, um anschließend eine Risikobewertung durchführen zu können.

Die Berechnung der Temperatur- und Spannungszustände erfordert die Kenntnis verschiedener Materialparameter.

Durch die Nutzung des Zeitschrittverfahrens als expliziten Lösungsansatz der Differenzialgleichung zur Beschreibung des Wärmeflusses im Straßenoberbau und der Wärmebilanzgleichung ist es möglich, den Temperaturzustand in der Betonplatte fortlaufend zu berechnen (Kayser 2007). Es wird eine kontinuierliche Temperaturberechnung auf Basis der Klimamesswerte durchgeführt.

Die aus Klimadaten berechneten Temperaturverläufe werden mit den an den Messstationen real gemessenen Temperaturwerten in der Fahrbahndecke verglichen. Das Berechnungsverfahren wird so lange kalibriert, bis die Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Werten hinreichend genau ist.

Für die Risikobewertung von in der Zukunft liegenden Temperatur- und Spannungszuständen werden prognostizierte Klimawerte als Eingangsgröße genutzt. Hierbei wird aus den gemessenen Klimadaten der letzten drei Tage ein korrelierender Worst-Case-Klimadatensatz für die nächsten 24 Stunden zusammengestellt.

Die prognostizierten Klimadaten, die darauf basierenden Temperaturverläufe und die korrespondierenden Spannungen sowie die mit einem Berechnungsmodell nach der Finite-Elemente-Methode erzeugten FEM-Spannungsbilder können im Softwaretool eingeblendet werden.

3.3 Modul zur Entscheidungshilfe

Zur Entscheidungshilfe wurde ein Modul entwickelt, das in der Lage ist, aus der Klimaprognose und den vorliegenden Materialparametern realistische Spannungsprognosen zu berechnen und das jeweilige Niveau zu bewerten.

Zu diesem Zweck wird dieses Modul mit dem Klimaprognose-tool verknüpft. Im Ergebnis erfolgt zunächst eine automatische Einschätzung des Gefährdungspotenzials ohne gutachterliche Bewertung.

Der Forschungsnehmer richtete dann beim Auftraggeber einen Computerarbeitsplatz ein, mit dem die wissenschaftliche Auswertung und Bewertung der Daten möglich ist. Der Zugriff auf die Empfangssoftware, die Auswertesoftware für die relevanten Daten, das Klimaprognose-tool und das Modul zur Entscheidungshilfe in Form des vorgestellten Softwaretools erfolgt über eine browserbasierte Webserviceslösung. Es erfolgte eine Einweisung vor Ort.

3.4 Automatisierte Deformationsanalyse

Des Weiteren wurde die automatisierte Deformationsanalyse einer 70 m langen Betonfahrbahn mit einem Messsystem der Firma Leica getestet, mit dem hochauflösende Lasermodelle zur Bewertung der momentanen Deformation im Kontext der umgebenden klimatischen Bedingungen erstellt werden.

Es sollte zunächst überprüft werden, ob durch automatische Deformationsanalysen Verformungen von einzelnen Platten eines Betonfahrbahndeckensystems infolge Temperatureinwirkungen berührungslos detektiert werden können. Darüber hinaus sollten durch das Monitoring eines zusammenhängenden Betonfahrbahndeckenabschnitts Erkenntnisse hinsichtlich der Bewegung eines definierten Abschnitts gewonnen werden.

Neben den reflektorgebundenen Messungen mit fest verbauten Prismen, die relativ genaue Ergebnisse lieferten, aber der ständigen Gefahr der Beschädigung (Abscheren durch Winterdienst etc.) unterliegen, wurden auch reflektorlose Messungen durchgeführt. Die Genauigkeit der Ergebnisse liegt derzeit aber noch außerhalb der brauchbaren Toleranzen. Die Messungen sind stark vom jeweiligen Oberflächenzustand und der Witterung abhängig.

4 Folgerungen für die Praxis

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Informationssystem aufgebaut, das Klimadaten, Fahrbahntemperaturen sowie Fugenbewegungen von Betonfahrbahnen in situ erfasst und anhand dieser Daten eine Risikobewertung der temperaturinduzierten Spannungszustände in der Betonfahrbahn vornimmt.

Anhand der erfassten Daten können streckenspezifische Nullspannungstemperaturen, die maßgeblichen Einfluss auf die temperaturinduzierten Spannungszustände in Betonfahrbahnen haben, bestimmt werden. Das entwickelte Softwaretool ermöglicht in Verbindung mit der aufgestellten Datenbank eine weitere Bewertung und Analyse der Messdaten, um eine Risikobewertung der Spannungszustände in Betonfahrbahnen vorzunehmen. Der Nutzer kann anhand der Farbskala, mit der die über-

wachten Streckenabschnitte gekennzeichnet werden, leicht erkennen, ob ein kritischer Spannungszustand in der Betonfahrbahn vorliegt beziehungsweise zu erwarten ist. Das Forschungsthema hat gezeigt, dass die Einrichtung solcher Messsysteme einen guten Beitrag zur Risikobewertung von Hitzeperioden darstellen und konkrete Aussagen getroffen werden können. Die Vorhersage der genauen Position und des genauen Zeitpunkts eines konkreten Hitzeschadens kann durch ein solches System jedoch nicht erreicht werden, da neben den Temperaturzuständen auch Imperfektionen in der Straße eine große Rolle beim Auftreten von Hitzeschäden spielen. Vielmehr handelt es sich um ein System, das als Informationsquelle dient, ob die für einen Hitzeschaden notwendigen Temperaturen im Straßenaufbau überhaupt vorliegen beziehungsweise in den nächsten 24 Stunden auftreten können.

Neben dem Informationssystem können perspektivisch anhand der ermittelten Daten auch generelle Informationen zum Streckenzustand und dessen Entwicklung gewonnen werden, wie zum Beispiel die Entwicklung der Nullspannungstemperatur während der Nutzungsdauer.

Der Aufbau bundesweiter vernetzter Messstationen und Sensornetze stellt eine große Chance für die Bewertung sowie die Beobachtung der Zustände in Straßenkonstruktionen dar. Wichtig hierbei ist, dass neben der Datenerfassung jeweils auch Konzepte erarbeitet werden müssen, um die erfassten Daten hinsichtlich konkreter Zielstellungen (zum Beispiel einer Substanzbewertung) systematisch und weitestgehend automatisiert auszuwerten.

5 Literatur

- [Bayern Blow-Up Teil 2] Villaret, Riwe: Hitzeschäden auf südbayerischen Betonautobahnen, Bericht – Teil 2, FE-Modell zur Berücksichtigung von Imperfektionen, Zwischenstand 07/2014
- [BK 2001] Betonkalender 2001, Verlag Ernst & Sohn, 2001
- [CONDUCT] Systembeschreibung CONDUCT +, Siemens Industry Sector Mobility Division
- [HINTZEN 1999] Hintzen, W.; Thielen, G.: Betontechnische Einflüsse auf die Rißbildung infolge Hydratationswärme, Zeitschrift Beton 49/99
- [Hitzeschäden ABD SB] et al.: Untersuchung der Hitzeschäden auf bayerischen Autobahnen (2013-2014), Autobahndirektion Südbayern
- [KAYSER 2007] Kayser, S.: Grundlagen zur Erfassung klimatischer Einflüsse für Dimensionierungsrechnungen von Asphaltbefestigungen. Dissertation, Technische Universität Dresden, Professur für Straßenbau, 2007
- [KERR 1984] KERR, A. D., SHADE, P.J.: Analysis of Concrete Pavement Blowups, Acta Mechanica 52 (1984), Springer-Verlag, 1984
- [LEICA] Leica-Geosystems, Datasheet Leica GeoMoS
- [VILLARET et al. 2010] Villaret et al.: Grundlagen zur Erfassung der Belastung für die analytische Dimensionierung von Straßenbefestigungen – Teil Betonstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1050, Bonn, 2010
- [VILLARET et al 2013] Villaret et al.: Dimensionierung und Konstruktion von Endbereichen beim Neubau und bei der Erneuerung des Oberbaus in Betonbauweise, Forschung BASt, 89.0269/2011, 2013
- [WICKE 1983] WICKE, M.: Betondecken-Meßstrecke Golling Teil II, Bundesministerium für Bauten und Technik, Straßenforschung, Heft 222, Wien, 1983

5.1 Verwendete Regelwerke

[DWD] Richtlinie automatische Klimastationen für nebenamtliche Stationen und Partnernetze, Deutscher Wetterdienst, Ausgabe Februar 2001, überarbeitete Kurzfassung Mai 2010

[RDO Beton 09] Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Betondecke, FGSV, Ausgabe 2009

5.2 Software

[CaculiX] DHOUNDT, GUIDO et al.: A Free Software Three-Dimensional Structural Finite-Element-Program

[ABAQUS] DASSAULT SYSTEMES.: ABAQUS FEM

