

Analyse der Auswirkungen von Witterungsextremen an bestehenden Straßenbefestigungen in Betonbauweise

FA 8.223

Forschungsstelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hoppegarten

Bearbeiter: Villaret, S./Riwe, A./Beckenbauer, T./Tschernak, T.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Mai 2020

1 Aufgabenstellung

Der starke Einfluss des Menschen auf die langfristigen Klimaentwicklungen sowie die damit einhergehende Klimaerwärmung in den nächsten Jahrzehnten sind wissenschaftlich belegt und aus heutiger Sicht nur noch in ihrem Ausmaß nicht genau bestimmt. Für Deutschland sind daraus abgeleitet auch Witterungsextreme zu erwarten, die in ihrer Häufigkeit und gegebenenfalls auch dauerhaft ansteigen werden. Diese führen zu einer höheren Beanspruchung des Straßenoberbaus. Beim Betonstraßenbau betrifft dies nicht nur die Plattenverformung infolge unterschiedlicher Temperaturen an der Ober- und Unterseite der Betonplatten (Aufschüsseln und Aufwölben), sondern auch die Erhöhung der Einflüsse hinsichtlich des Längs- und gegebenenfalls auch des Querdehnungsverhaltens.

Lässt man diese Veränderungen unberücksichtigt, sinkt voraussichtlich das Sicherheitsniveau bei der Dimensionierung, was zu einer Verringerung der Dauerhaftigkeit und zu einer höheren Erhaltungsintensität führt.

Die Auswirkungen von sich ändernden klimatischen Verhältnissen bei gleichzeitiger Schwerverkehrsbelastung sind bislang nicht hinreichend untersucht worden, sodass bei Nichtberücksichtigung zukünftig eine signifikante Schadenszunahme zu erwarten wäre. Zusätzlich muss die bisherige Konstruktion auf ihre Eignung hinsichtlich dieser erhöhten Anforderungen überprüft werden. Dabei sind den erhaltungsintensiven Bereichen, wie zum Beispiel der Fugenkonstruktion, besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

2 Vorgehensweise

Zu Beginn wurden die Auswirkungen globaler und nationaler Klimaszenarien aus vorliegenden Forschungsarbeiten eruiert und zur Diskussion gestellt, worauf basierend zwei Projektionsmodelle zur Prognose der Temperaturgradientenverteilungen und der Verteilungen der mittleren Temperatur in Betonfahrbahnplatten erarbeitet wurden. Zudem wurden aus vorhandenen Literaturquellen projizierte Verteilungen für Temperaturgradienten und mittlere Plattentemperaturen abgeleitet.

Die im BAB-Netz aufgezeichneten Klimadaten wurden hinsichtlich ihrer Jahres- und Tagesganglinien ausgewertet, um die

meteorologischen Messdaten von 6 ausgewählten BAB-Messstationen mit den Beobachtungswerten von benachbarten Messstationen des DWD zu verknüpfen und zu überprüfen.

Anschließend folgte die Bestimmung realistischer, zukünftig relevanter mittlerer und extremer Temperaturzustände in Betondecken sowie einer realistischen Verkehrsbelastung für den Betrachtungszeitraum.

Der Stand der Praxis und der Forschung des Betonstraßenbaus wurde insbesondere hinsichtlich unterschiedlicher Konstruktionsbeziehungsweise Konstruktionsdetails wie zum Beispiel Fugenausbildung, Plattenabmaße, Anker- und Dübel und Schichtenfolgen herausgearbeitet und die konstruktiven Aspekte hinsichtlich ihrer Funktionalität, Zweckmäßigkeit und Dauerhaftigkeit bewertet.

Zur Optimierung der Konstruktion im Betonstraßenbau wurden Zielfunktionen formuliert, wobei das übergeordnete Ziel die Maximierung positiver Fahrbahneigenschaften sowohl für den Straßennutzer als auch den Straßenbaulastträger bei Minimierung des Instandhaltungsaufwands war.

2.2 Modellrechnungen zu klimainduzierten Spannungen und Verformungen/Verzerrungen des Deckensystems

Mithilfe von Variationsmatrizen der konstruktiven Eingangsparameter für die Modellrechnung wurden relevante unterschiedliche Fugenausbildungen, Plattenabmaße, Anker- und Dübelanordnungen, Vorverformungen durch Schwinden und Kriechen sowie Schichtenfolgen in Berechnungen mit der Finite-Elemente-Methode (FE-Modell) untersucht. Zudem wurden die Variationsmatrizen der Materialparameter für die Modellrechnungen zusammengestellt. Hierfür wurden die von der BAST bereitgestellten Laborergebnisse von Streckenbeobachtungen für ausgewählte Materialkennwerte ausgewertet und aufbereitet, um für FE-Modelle relevante Materialmodellparameter zu erhalten.

Mithilfe dieser Konstruktions- und Materialvarianten wurden die relevanten Beanspruchungen/Phänomene zusammengestellt, die für die Spannungs-Verzerrungsuntersuchungen zu modellieren sind.

Grundsätzlich wurden das Längs- und Querdehnungsverhalten, die Hohlagerung infolge von Aufschüsselung und Aufwölbung, die Querkraftübertragung mittels Dübel und Anker, die maximalen Verzerrungen (Dehnungen/Stauchungen) des Fugenmaterials, die Ebenheit der Fahrbahn und die Geräuschemission im Reifen-Fahrbahnkontakt untersucht.

Zudem wurden 3-D-Finite-Elemente-Modelle für die strukturellen Detailprobleme, die Geräuschemission und das Plattensystem entwickelt beziehungsweise weiterentwickelt.

Nachdem die Bewertungsgrößen für die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Funktionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche und der Verfügbarkeit/Lebensdauer der Konstruktion zusammengestellt wurden, konnte eine Parameterstudie zusammengestellt und für die unterschiedlichen Klimaszenarien durchgeführt werden. Für die Simulation des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs wurden die verformten Oberflächen exportiert und der Simulation zugrunde gelegt.

2.3 Untersuchungen zur allgemeinen Optimierung der Konstruktion

Im Anschluss wurde verstärkter Fokus auf die Entwicklung neuer beziehungsweise verbesserter Konstruktionsdetails im Fugenbereich, zur Querkraftübertragung und den Plattenabmaßen gelegt. Weitere Untersuchungen beinhalteten auch die Schichtenfolge und weitere Konstruktionsdetails hinsichtlich unterschiedlicher Last- und Nutzungsszenarien sowie der Zielfunktionen zur Optimierung von Betonstraßenkonstruktionen.

Zur akustischen Bewertung der Konstruktionen wurden die Oberflächen der simulierten, verformten Oberflächen exportiert und der Simulation der Reifen-Fahrbahn-Geräusche zugrunde gelegt.

2.4 Empfehlungen zur Modifizierung der Konstruktion und Erstellung eines Pilotkonzepts

Abschließend wurde eine neue/verbesserte Konstruktion erarbeitet, mit der die zuvor aufgestellten Zielfunktionen erreicht werden sollen. Die favorisierte Konstruktion soll in einer Pilotanwendung umgesetzt werden. Diesbezüglich wurden die Ausschreibungsunterlagen für Dimensionierung und Konstruktion sowie ein Konzept für die baubegleitenden Messungen erstellt. Für das nach Verkehrsfreigabe anschließende Monitoring wurde ebenfalls ein Konzept erstellt.

3 Ergebnisse

Die Betonbauweise zählt zu den traditionell bewährten technischen Lösungen im Straßenbau. Dies gilt insbesondere für hochbelastete Strecken. Infolge der kontinuierlichen Zunahme des Schwerverkehrs auf deutschen Autobahnen ist es geboten, die Vorzüge dieser Technologie auch weiterhin zu nutzen.

Dabei ist es wichtig, künftig eine ganzheitliche Betrachtung der Anforderungen vorzunehmen beziehungsweise diese zu erfüllen. Daher gilt es, die Bauweise durch gezielte Weiterentwicklungen entsprechend anzupassen.

Innerhalb der Arbeit wurden hierfür konkrete Zielfunktionen definiert. Es wurde weiter gezeigt, dass schon allein die prognostizierte Klimaveränderung einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzungs- und Substanzeigenschaften der Betonfahrbahn erwarten lässt. Konkrete Änderungen in Technik und Technolo-

gie sind also bereits heute erforderlich, um das vorhandene Niveau aufrecht zu halten. Erhöhte Anforderungen an die Verfügbarkeit erfordern teilweise ebenfalls eine Modifikation der Regelbauweise.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens zeigen, dass sowohl die erhöhten klima-induzierten Belastungen auf die Oberbauten mit Betondecke als auch eine Reihe von bautechnologischen, baustofflichen und konstruktiven Aspekten eine systematische Weiterentwicklung der Bauweise erfordern. Dabei kommt es darauf an, gewünschte Substanz- und Gebrauchseigenschaften sinnvoll miteinander zu verknüpfen und dabei auch die Verfügbarkeit der einzelnen Strecken im Auge zu behalten.

Im Einzelnen werden folgende Ergebnisse aufgeführt:

- Die Klimaentwicklung zeigt, dass die Berücksichtigung der Witterungsbelastung bei der Dimensionierung von Betondecken mit einer Erhöhung der mittleren Plattentemperatur von 2 K erfolgen sollte. Auch sind ungünstigere positive Temperaturverläufe beziehungsweise Temperaturgradienten (Erhöhung um 10 K/m bei positiven Gradienten) zu berücksichtigen.
- Im Hinblick auf die Verfügbarkeit in der Betriebsphase sind künftig Längsfugen so anzuordnen, dass insbesondere bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen unter Berücksichtigung der (ASR 5.2 2018) und der (RSA 1995) die Aufrechterhaltung des Verkehrs mindestens eines Fahrstreifens im Zuge von Erhaltungsmaßnahmen möglich bleibt.
- Mit Blick auf die Dauerhaftigkeit von Oberbauten mit Betondecke und der Verbesserung der Gebrauchseigenschaften ist es sinnvoll, die Plattengeometrien signifikant zu verkleinern, wodurch nicht nur die Plattenverformungen sondern auch die Spannungen reduziert werden.
- Kleinere Plattengeometrien führen auch zu kleineren Fugenöffnungsweiten. Dies wirkt sich einerseits positiv auf die Langlebigkeit einer Fugenfüllung aus. Andererseits ergibt sich eine deutlich verbesserte Lärmreduzierung, wenn in dem genannten Kontext die Fugenausbildung schmaler ausgeführt wird (kleiner 10 mm inklusive Fase). Allerdings steigen mit kürzeren Querschnittsabständen auch die Anforderungen an die Qualität der Fahrbahn im Fugenbereich aus schalltechnischen Gründen. Bei Verwendung kleiner Platten (3 m Fugenabstand) ist bei anforderungsgerechter Ausführung der Fugen die Pegelerhöhung durch die erhöhte Anzahl von Fugengeräuschereignissen so gering, dass sie schalltechnisch durch die geringeren Verformungen der kleineren Platten kompensiert wird.
- Es ist anzustreben, Betone zu konzipieren, die einen geringen E-Modul und eine geringere Wärmedehnzahl aufweisen. Wünschenswert ist eine relativ harte Betonoberfläche, um die erzeugte Textur möglichst lange zu erhalten.

Neben der kurzfristigen Umsetzung bereits konkret vorgeschlagener Maßnahmen ist es notwendig, kurz- und mittelfristig die Bauweise in verschiedenen Punkten weiter zu verbessern. Die wichtigsten dabei zu bearbeitenden Problemfelder beziehungsweise Forschungsschwerpunkte wurden identifiziert.

4 Folgerungen für die Praxis

Neben den konkret vorgeschlagenen Veränderungen der Regelbauweise sind auch langfristige Weiterentwicklungen der Betonbauweise anzustreben.

Eine grundsätzliche Orientierung für die Weiterentwicklung der Regelbauweise ist durch die formulierten Zielfunktionen vorgegeben. Jegliche Veränderung der Regelbauweise sollte mit einer besseren Erfüllung einer oder mehrerer Zielfunktionen einhergehen. Wie die rechnerischen Analysen zeigten, ist aber bereits durch die erwartete Klimaänderung diesbezüglich mit moderaten Auswirkungen zu rechnen. Dies betrifft speziell die Grundforderungen "gutes Nutzererlebnis" und "Wirtschaftlichkeit". Eine Weiterentwicklung der Regelbauweise ist also bereits heute geboten.

Auf der Grundlage der innerhalb des vorliegenden Projekts durchgeführten Analysen und Berechnungen konnten Maßnahmen formuliert werden, die geeignet sind, eine bessere Erfüllung der Zielfunktionen zu realisieren.

(1) Bessere Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen beim Herstellungsprozess

Die Maßnahmen, mit denen aktuell in der Baupraxis versucht wird, den Hydratations- und Erhärtungsprozess in der gewünschten Weise zu beeinflussen, sollten weiterentwickelt werden. Es wird empfohlen, Klimakonstellationen zu identifizieren, welche als besonders schädlich zu betrachten sind. Mit entsprechenden bauvertraglichen Regelungen sollte eine Herstellung unter diesen Bedingungen ausgeschlossen werden beziehungsweise geeignete Kompensationsmaßnahmen erforderlich machen.

(2) Zielgerichtete Steuerung der Materialparameter des Betons

Die rechnerische Analyse ergab eindeutig, dass sich ein hoher E-Modul und eine hohe Wärmedehnzahl negativ auf den Spannungs- und Verformungszustand auswirken. Da sich die genannten Effekte vor allem durch temperaturinduzierte Belastungen ergeben, wird sich im Zuge der prognostizierten allgemeinen Temperaturerhöhung der beschriebene Einfluss noch verstärken.

Die Vernachlässigung dieser Materialparameter erscheint vor diesem Hintergrund nicht mehr vertretbar. Perspektivisch sollten einheitlich Messverfahren für diese Materialwerte definiert und die Betonrezepturen entsprechend untersucht werden. Die so ermittelten Parameter sind in der Dimensionierung zu berücksichtigen.

(3) Verbesserung der Fugenkonstruktion

Die Fuge, speziell die Querfuge, ist bekanntermaßen ein Schwachpunkt in der Fahrbahnkonstruktion. Viele Schädigungsprozesse, aber auch eine Zunahme des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs gegenüber der (gedachten) fugenlosen Betondecke haben hier ihren Ausgangspunkt. In einem ersten Schritt ist die Regelkonstruktion zu verbessern. Zielstellung sollte es sein, die Beweglichkeit jeder Fuge sicherzustellen.

Um die Konstruktion der Betonfahrbahn in diesem Punkt grundlegend zu verbessern, ist aber eine grundsätzliche Neukonstruktion der Fuge erforderlich. Es wird angenommen, dass eine unter verschiedenen klimatischen Bedingungen dauerhaft dichte Fuge nur mit einem permanent vorgespannten Dichtmaterial realisiert werden kann.

Aus schalltechnischen Gründen muss ein Überstehen des Fugenfüllmaterials, über die an die Fuge angrenzenden Flächen der Betondecke hinaus, unbedingt vermieden werden. Überstehendes Fugenfüllmaterial ist schalltechnisch wesentlich nachteiliger als versunkenes. Dies gilt umso mehr, je kürzer die Betonplatten und desto kleiner die Fugenöffnungsweiten werden.

(4) Zielgerichtete Dimensionierung

Eine auf konkrete Standortbedingungen und Materialeigenschaften abgestimmte Konstruktion ist nur mit einer rechnerischen Dimensionierung realisierbar. Das vorhandene Dimensionierungssystem sollte so weiterentwickelt werden, dass eine schrittweise Annäherung der verwendeten Berechnungsmodelle an die realen Gegebenheiten erfolgt. Eine wichtige Maßnahme in diesem Sinne ist die Anwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM) bei der Berechnung der Spannungen und Verformungen. Die Definition der FEM-Modelle sollte so erfolgen, dass eine Erweiterung und Präzisierung ohne grundlegende Änderungen möglich sind.

5 Literatur

[FE 08.0237/2015] VILLARET S., FREUDENSTEIN, FROHBÖSE, EGER, PICHOTTKA, RIWE, VILLARET K.: FE 08.0237/2015/ARB "Informationssystem – Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken", unveröffentlichter Schlussbericht (Entwurf) 09/2017

[FE 08.0254/2017] VILLARET; RIWE; AUGTER; KAYSER: FE 08.0254/2017/KRB "KIST-Zonen-Karte RDO und RSO Beton – Verteilungsfunktion und Extremwerte", laufendes FE-Thema, Zwischenbericht, BAST, Bergisch Gladbach

[FE 09.0188/2011] VILLARET, ST.; VILARET, K.; KIEHNE, A.; RIWE, A.: Entwicklung eines Finite Elemente Modells für die rechnerische Dimensionierung von Straßen gemäß RDO Beton, BAST, 2014

[FE 08.0232/2014] BECKENBAUER, T., ALTREUTHER, A., ERTSEY, M., OTTO, T., SCHUBERT, S., KROPP, W., HOEVER, C.: FE 08.0232/2014/FRB Einfluss der Fugen-

öffnungsweite auf die akustischen Eigenschaften von
Fahrbahn-decken aus Beton, Forschungsprojekt FE
08.0232/2014, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2018

6 Verwendete Regelwerke

[ASR 5.2 2018] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A5.2,
Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf
Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr –
Straßenbaustellen, Ausgabe 2018

[RDO Beton 09] FGSV: Richtlinien für die rechnerische Dimen-
sionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrs-
flächen, RDO-Beton 09, Ausgabe 2009, FGSV Verlag,
Köln

[RSA 1995] Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen
an Straßen, Ausgabe 1995, 6. überarbeitete Auflage,
Stand Juni 2017