

## Untersuchungen zur Beanspruchung und Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen

FA 8.156

Forschungsstelle: Universität Karlsruhe (TH), Institut für Massivbau und Baustofftechnologie  
(Prof. Dr.-Ing. H. S. Müller)

Bearbeiter: Guse, U.

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

Abschluss: September 2005

### 1. Aufgabenstellung

Neben den Beanspruchungen durch den Verkehr (Fahrzeuganzahl, Achslast), die sich zutreffend abschätzen lassen, unterliegen Betonfahrbahnen auch Beanspruchungen durch Temperatur- und Feuchteänderungen infolge der klimatischen Bedingungen. Ziel des Vorhabens war es, die Kenntnisse über die Temperatur- und Feuchteverhältnisse durch entsprechende Messungen an einer ausgeführten Fahrbahndecke aus Beton zu erweitern.

### 2. Untersuchungsmethodik

Als Untersuchungsobjekt diente ein im Juni 1999 unter Verwendung eines CEM II/B-S 32,5 erneuerter Abschnitt der BAB A 5, Frankfurt - Basel, bei Kronau.

In zwei Fahrstreifen dieses Streckenabschnitts wurden an einem Messort Temperatursensoren in unterschiedlichen Tiefen eingebaut. Die Messwerte registrierte eine prozessorgesteuerte Speichereinheit kontinuierlich über den Zeitraum von Juni 1999 bis Juni 2005. Ausgewertet wurden die Daten insbesondere hinsichtlich des Temperaturgradienten in der Fahrbahndecke sowie extremer Temperaturbeanspruchungen (Hitze, Gewitter, Frost). An der Messstelle wurden neben dem Temperaturgang in der Fahrbahndecke auch die lokale Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte erfasst.

Die tiefenabhängige Bestimmung der Feuchte in der Fahrbahndecke (Feuchteprofil) erfolgte im Zeitraum von 1999 bis 2004 an Bohrkernen und zerstörungsfrei mittels eines im Institut für Massivbau und Baustofftechnologie entwickelten dielektrischen Messverfahrens.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Temperaturmessungen

Insgesamt gesehen lag der Messzeitraum in einer Periode mit einem tendenziell wärmeren Klima als in der klimatologischen Bezugsperiode der Jahre von 1961–1990. Dies resultiert insbesondere daraus, dass das Jahr 2000 als das wärmste Jahr des 20. Jahrhunderts (1901–2000) eingestuft wird und im Jahr 2003 der heißeste Sommer in Süddeutschland seit Beginn der Aufzeichnungen von Klimadaten im Jahr 1755 auftrat. In Karlsruhe wurde mit 40,2 °C das absolute Temperaturmaximum für Deutschland am 9. und 13. August 2003 registriert. An der

Messstelle trat ein absolutes Temperaturmaximum mit 39,8 °C am 13. August 2003 auf.

Die aus den Temperaturmessungen ermittelten Temperaturgradienten betragen –0,035 K/mm für den größten negativen Gradient (Fahrbahnoberseite kälter) und 0,08 K/mm für den größten positiven Gradient (Fahrbahnoberseite wärmer). Diese Extremwerte, die mit den aus der Literatur bekannten Werten übereinstimmen, traten insbesondere im Frühsommer (Mai, Juni) auf.

Die Häufigkeitsverteilung der Temperaturgradienten auf der Basis eines sechsjährigen Messzeitraums weist aus, dass der am häufigsten auftretende negative Gradient –0,016 K/mm beträgt. Bei dem positiven Gradienten liegt die größte Häufigkeit im Bereich von 0,005–0,014 K/mm. Im mittleren Fahrstreifen traten große positive Temperaturgradienten (ab 0,05 K/mm) häufiger auf als im rechten Fahrstreifen. Positive Temperaturgradienten ab 0,07 /mm waren mit Häufigkeiten  $\leq 0,1$  % sehr selten.

Hinsichtlich der maximalen Erwärmung decken sich die vorliegenden Ergebnisse auch mit den Angaben aus der Literatur. Es ist davon auszugehen, dass sich stark befahrene Betondecken in extremen Hitzeperioden (z. B. im Sommer 2003) an der Oberseite bis etwa 45 °C erwärmen können.

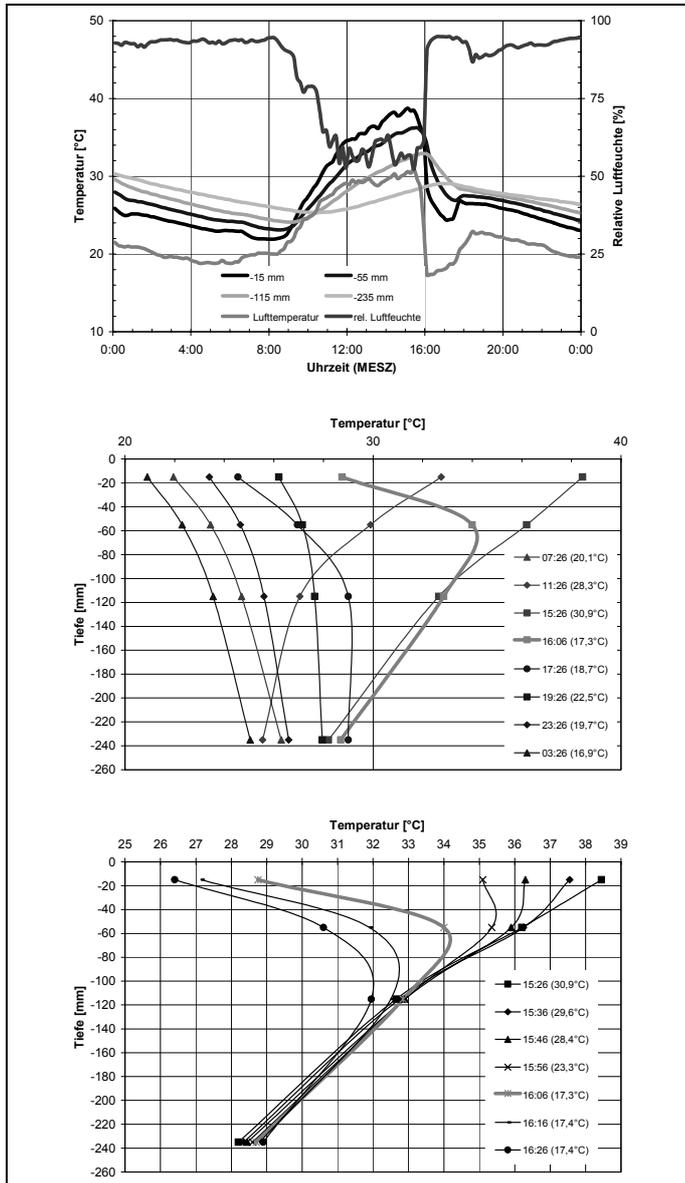
In der kalten Jahreszeit trat im Messzeitraum keine extreme Beanspruchung im Vergleich zur Bezugsperiode 1961–1990 auf. Die niedrigste Lufttemperatur lag bei –16,8 °C und damit deutlich unter dem absoluten Minimum von –20 °C, das vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Stationen Karlsruhe bzw. Mannheim für die Bezugsperiode von 1961–1990 angegeben wird. Die niedrigste Temperatur an der Oberseite der Betondecke betrug –12,9 °C (Sensor 15 mm unter der Oberfläche).

Anhand der Daten des Messzeitraums (6 Winter) wurden im Zusammenhang mit der Frostbeanspruchung die Eis- und Frosttage, die Häufigkeitsverteilung der dabei zu beobachtenden Minimal- und Maximaltemperaturen der Lufttemperatur und die Anzahl der Nulldurchgänge der Temperatur an den oberen Sensoren in den Fahrstreifen sowie die dabei auftretenden Abkühl- und Auftauraten ermittelt.

Hinsichtlich der größten Abkühl- bzw. Auftaurate während der Frostbeanspruchung ergaben die Messungen, dass während der ca. 16-stündigen Phase der Abkühlung die Temperatur an der Oberseite der Betondecke um bis zu 0,8 K/h (Maximum am Abend mit 2,3 K/h) sinken und während der 8-stündigen Phase der Erwärmung um bis zu 2,0 K/h (Maximum am Mittag mit 3,5 K/h) ansteigen kann. Die maximale mittägliche Auftaurate im Winter erreicht damit fast die größte sommerliche Erwärmungsrate von ca. 4 K/h.

Die Auswertung von schockartigen Abkühlungen der erwärmten Betonfahrbahn im Messzeitraum zeigte, dass sich infolge dieser Ereignisse (z. B. Gewitter) ausgeprägte negative Temperaturgradienten an der Oberseite ausbilden (Bild 1). Die Messungen

lieferten Werte, die darauf hindeuten, dass der Gradient um einen Faktor 2 bis 3 höher liegen dürfte als der aus der Literatur bisher bekannte Wert von  $-0,13 \text{ K/mm}$ . Die Angabe eines exakten Betrags ist auf der Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse allerdings nicht möglich, da die Temperatur an der unmittelbaren Oberfläche nicht erfasst wurde. Die kurzzeitig (innerhalb von 10 Minuten) auftretenden Abkühlraten bei einer schockartigen Abkühlung erreichten maximal  $38 \text{ K/h}$ . Dabei ist zu beachten, dass die Temperaturverringerung an der Oberfläche der Betonfahrbahn im Zeitraum von einer Stunde nach dem Beginn einer solchen Abkühlung nie eine Differenz von  $20 \text{ K}$  überschritt.



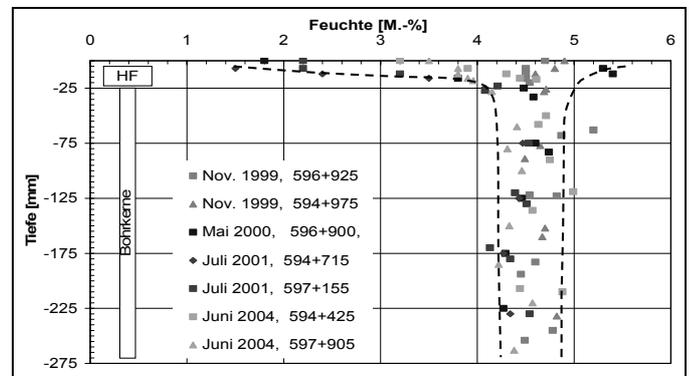
**Bild 1:** Größter Temperaturschock im Messzeitraum  
**oben:** Temperaturgang am 20. Juni 2002  
**Mitte:** Veränderung des Temperaturgradienten im Tagesverlauf (grün = Erwärmung, blau = Abkühlung, rot = extremer nichtlinearer Verlauf); rechts: Uhrzeit und jeweilige Lufttemperatur in Klammern  
**unten:** Detail, Zeitraum von 15:26 bis 16:26 Uhr

Um die aus den Temperaturänderungen resultierenden Beanspruchungen von Betonfahrbahnen zutreffend abschätzen zu können, erfolgten im Rahmen des Forschungsvorhabens "Verformungsverhalten von Betonfahrbahndecken unter kritischen

Beanspruchungen" (8.159) numerische Untersuchungen auf der Basis wirklichkeitsnaher Stoffgesetze. Die Basis bildeten die vorliegenden Daten. Diese Rechnungen ergaben, dass insbesondere eine hohe Erhärtungstemperatur, die sich beim Betonieren am Vormittag eines Sommertags einprägen und einen positiven Verlauf der Nullspannungstemperatur im Querschnitt der Fahrbahndecke (Oberseite wärmer als die Unterseite) bewirken kann, als kritisch zu bewerten ist.

### 3.2 Feuchtemessungen

Aus den Feuchtebestimmungen (Bild 2) erkennt man, dass in der Oberflächenzone der Betondecke bis etwa  $1 \text{ cm}$  Tiefe deutliche Schwankungen des Feuchtegehalts infolge der Witterungsverhältnisse zu beobachten sind. Die Werte lagen zu den Messterminen zwischen  $1,5 \text{ M.-%}$  und  $5,5 \text{ M.-%}$ . In den tieferen Bereichen ab ca.  $2 \text{ cm}$  blieb der Feuchtegehalt im Untersuchungszeitraum praktisch unverändert. Er betrug im Mittel  $4,5 \text{ M.-%}$  (Spannweite von  $4,2$  bis  $4,9 \text{ M.-%}$ ). Dies zeigt, dass das Porensystem des Fahrbahndeckenbetons ständig einen relativ hohen Sättigungsgrad mit Wasser aufweist.



**Bild 2:** Feuchteverteilung in der Fahrbahndecke im Zeitraum von 1999 bis 2004 an verschiedenen Orten des Untersuchungsabschnitts  
**HF:** Bereich der Feuchtebestimmung mit dem Hochfrequenzmessverfahren (Dielektrizitätsprinzip)  
**Bohrkerne:** Bereich der Feuchtebestimmung durch Trocknung von Bohrkernstückchen

### 4. Folgerungen für die Praxis

Die in Deutschland übliche Bauweise der Betonfahrbahnen ohne Bewehrung erfordert die Unterteilung in kurze Platten, die sich infolge einer gleichmäßigen Temperaturänderung über den Querschnitt horizontal bewegen. Verwölbungen resultieren aus Temperatur- und Feuchtegradienten. Ungünstige Erhärtungstemperaturen im Anschluss an die Herstellung können diese Effekte verstärken.

Da aus dem Blickwinkel einer wirtschaftlichen und termingebundenen Fertigung der Betondecke ungünstige Erhärtungstemperaturen bisher nicht zielsicher ausgeschlossen werden können, bedeutet dies, dass unter den gegebenen klimatischen Bedingungen auch ungünstige Verformungen bzw. Verwölbungen der Platten einer Betonfahrbahn auftreten können.

Dementsprechend kommt der Ausbildung der Tragschicht und damit der Gestaltung der Auflagerbedingungen besondere Bedeutung zu. Die Tragschicht oder eine entsprechende Zwischenlage sollte eine weitgehend vollständige Auflagerung der verformten Betonplatte langfristig sicherstellen. Mit den Bauweisen, die in der Tafel 2 der RstO 01 dargestellt sind, wird dieser Anforderung entsprochen.