

# Grundlagen zur Erfassung der Belastung für eine analytische Dimensionierung von Straßenbefestigungen – Teil Betonstraßen

FA 4.197

Forschungsstelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hoppegarten

Bearbeiter: Kayser, S. / Kiehne, A. / Pfeifer, L. / Riwe, A. / Villaret, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Abschluss: Dezember 2009

## 1 Aufgabenstellung

Das Forschungsvorhaben dient der Erfassung der Einwirkungen/Belastungen und deren exakteren Berücksichtigung bei der Dimensionierung, insbesondere derer aus der Temperaturverteilung über die Höhe der Betondecke. Diese ist neben der Verkehrsbelastung von entscheidendem Einfluss auf die erforderliche Dicke von Betondecken. Das Temperaturmoment und somit sein Anteil am Gesamtmoment ist gebietsabhängig. Dies konnte im System/Programm AWDSTAKO bisher nicht berücksichtigt werden, weil entsprechende Forschungsergebnisse fehlten (der Anpassungsfaktor  $m_{13}$  wurde hier generell = 1,00 gesetzt).

Um diesen Mangel zu beheben und zur Präzisierung des Temperaturverlaufs über die Deckendicke waren unter Berücksichtigung der Daten der Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) flächendeckend die absoluten Gradienten zu bestimmen. Die bisher für die einzelnen Nachweisfälle nach Grenzzuständen definierten Grenzwerte der gewählten Überschreitungshäufigkeiten waren dabei zu aktualisieren. Die Aufteilung des Gesamtterritoriums sollte so erfolgen,

dass sich – wenn auch geringe – Dickenabstufungen ergeben.

Das aktuelle semiprobabilistische Dimensionierungsverfahren/-programm AWDSTAKO für die Dimensionierung von Verkehrsflächen mit Betondecken ist an den Dicken der RStO – unter Einführung mittlerer Last-, Anpassungs- und Materialfaktoren bei Ansatz definierter Ausfallraten kalibriert worden. Relativ dazu ergeben sich bei anders gewählten Eingangsgrößen abweichende Dicken, was dem Sinn der "freien Dimensionierung" entspricht. Die Ausfallraten sind bisher nur an die mathematisch-statistische Verteilung der Spaltzugfestigkeit des Straßenbetons gebunden. In Wirklichkeit überlagert sich diese Verteilung noch mit der Verteilung weiterer Einflussgrößen, vordergründig zunächst mit der der Deckendicke.

Die Überlagerung der Verteilungen von Spaltzugfestigkeit und Dicke war mathematisch abzuleiten. Die Verteilungsfunktionen waren an auszuwertende Praxisverteilungen anzupassen. Es war festzustellen, ob sich mit den einzuarbeitenden Temperaturgradienten größere Dickenabweichungen gegenüber den bisherigen Ergebnissen ergeben und wie sich gleichzeitig die Berücksichtigung der Überlagerung der Verteilungsfunktionen von Dicke und Spaltzugfestigkeit auf die Dimensionierungsergebnisse auswirkt.

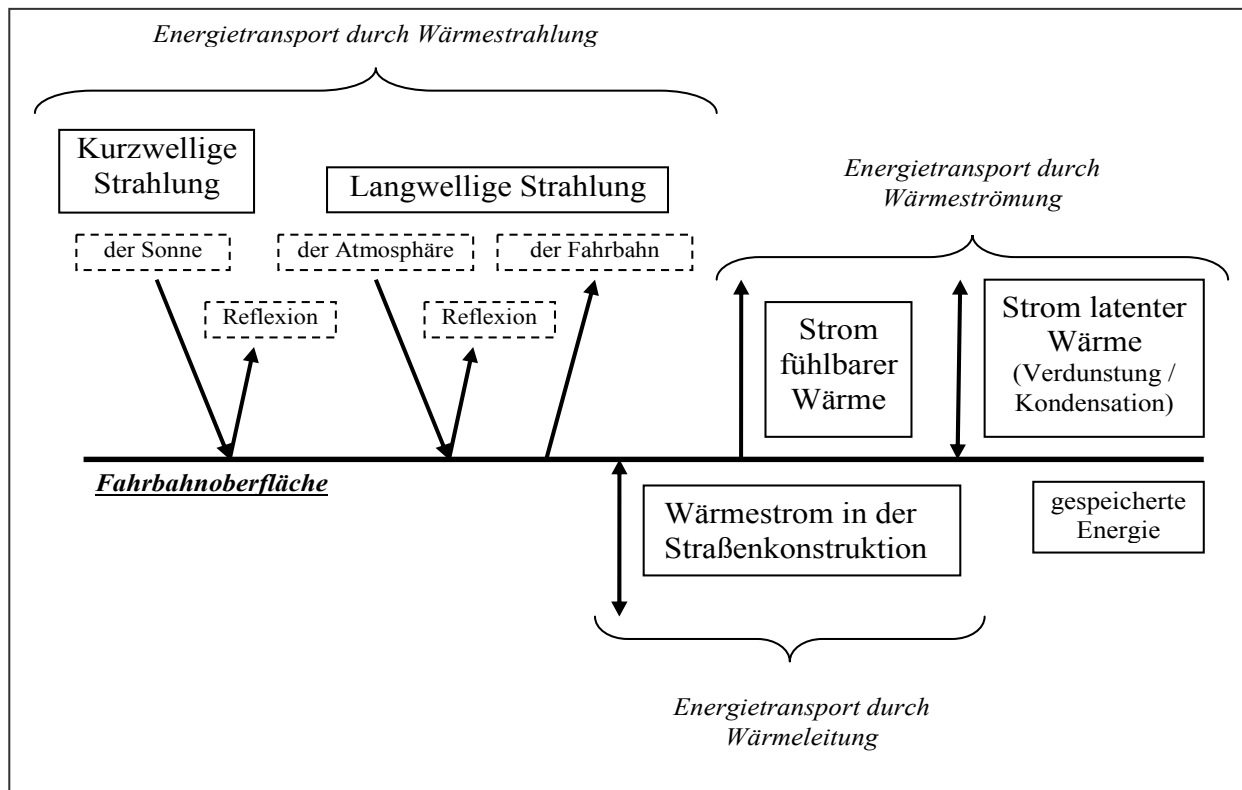


Bild 1: Schematische Darstellung der Energien bzw. Wärmeströme bezogen auf eine Fahrbahnoberfläche

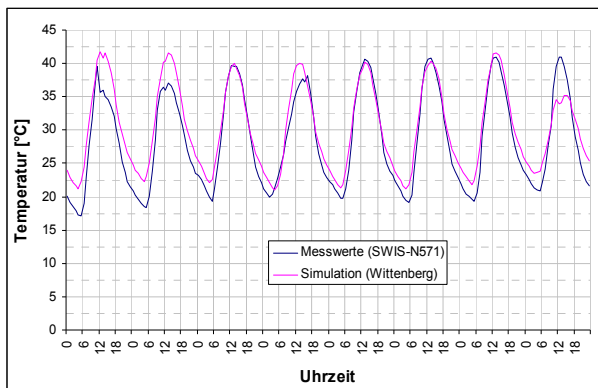
## 2 Untersuchungsmethodik

Die angewandte Untersuchungsmethode zur Berücksichtigung der Temperaturbeanspruchung beruht neben der im Betonstraßenbau üblichen Verfahrensweise der kritischen

Plattenlänge auf theoretischen Untersuchungen auf Grundlage der numerischen Simulation der Temperaturen in der Betondecke mithilfe der Wärmebilanzgleichung. In Bild 1 sind die Energien bzw. Wärmeströme bezogen auf die Fahrbahnoberfläche dargestellt. Die Beziehungen für die Globalstrahlung, den reflektierten Anteil der Globalstrahlung, die atmosphärische Gegenstrahlung, den reflektierten Anteil der atmosphärischen Gegenstrahlung, die Abstrahlung der Fahrbahnoberfläche, der fühlbare Wärmestrom, der latente Wärmestrom, der Bodenwärmestrom und die innere Energie wurden aufgabenspezifisch formuliert. Es wurde eine Klimadatenbank für 53 Stationen des Deutschen Wetterdienstes angelegt, die auf Bild 3 dargestellt sind.

Die numerischen Temperatursimulationen, die im Rahmen dieses Projekts als Grundlage zur Bestimmung der maßgebenden Temperaturgradienten dienen, basieren auf gemessenen Klimaparametern dieser Stationen. Es wurden die notwendigen Festlegungen bezüglich der zugrunde zu legenden Straßenkonstruktion und der thermophysikalischen und spektralen Materialeigenschaften getroffen. Der Verlauf der im Rahmen des SWIS gemessenen und der mit den Daten des DWD berechneten Oberflächentemperaturen wurde verglichen. Bild 2 zeigt ein Beispiel hierfür.

Des Weiteren wurde anhand von Sensitivitätsrechnungen in zwei Schritten der Einfluss des kurzwelligen und langwelligen Reflexionsvermögens, sowie der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärmekapazität und der Dichte ermittelt. Das war notwendig, weil in der Literatur für diese thermo-physikalische Materialparameter sehr unterschiedliche Werte angegeben werden.



**Bild 2: Vergleich gemessener (SWIS) und berechneter (DWD) Oberflächentemperaturen für 8 aufeinanderfolgende Tage im August**

Besonders wurde der Einfluss der Deckendicke auf die Temperaturgradienten analysiert und eine neue Dicken-/Gradientenfunktion abgeleitet. Dabei wurde der prozentuale Anteil der positiven Gradienten an der Gesamtzahl der auftretenden Gradienten herausgearbeitet und bei der für die erforderliche Neuformulierung der Überschreitungshäufigkeiten unter Beibehaltung der bisher ohne Kenntnis umfassender Daten angesetzten Häufigkeiten berücksichtigt.

Die neuen Gradientenfunktionen wurden unter Beachtung der weiter unten beschriebenen ebenfalls eingeführten Überlagerung der Verteilungen von Dicke und Festigkeit in die Dimensionierung kalibriert. Parallel zur dargestellten Verfahrensweise erfolgte eine theoretische Untersuchung zur Entwicklung der

Temperaturspannungen in Abhängigkeit von der Deckendicke mit dem Ziel einer Begründung für die nahezu gleichbleibende Temperaturspannung in bestimmten Dickenbereichen und die Gradientenunabhängigkeit für bestimmte Parameterkombinationen. Für die Überlagerung der Verteilungen von Spaltzugfestigkeit und Dicke als voneinander unabhängigen Größen wurde die Integrationsmethode als exakteste und zugleich einfachste Methode herausgearbeitet. Um die Streuung der Einflussgrößen mathematisch zu beschreiben, wurden zunächst zahlreiche Stichproben recherchiert und ausgewertet. Deren Verteilungen wurden unter Testung der Genauigkeit der Anpassung mathematisch formuliert. Die Lösung der Überlagerung beider Verteilungen erfolgte mit dem Doppelintegral:

$$P = \int_0^{\infty} \int_0^{g(x)} f_x(x) \cdot f_y(y) dy dx ,$$

das die Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten aller Versagensfälle liefert. Als Grundlage der Beurteilung und Gewichtung der im Zuge der Vorhabensbearbeitung durchgeführten Entwicklungen und Präzisierungen wurden wiederholt interne Zwischenlösungen programmiert und umfassende Plausibilitätsuntersuchungen durchgeführt, um die Ergebnissicherheit zu gewährleisten.

## 3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Ein präzisiertes und in Grundsätzen weiterentwickeltes Dimensionierungssystem für Betondecken von Verkehrsflächen wurde erarbeitet.

Dabei wurden:

- theoretische Zusammenhänge, die über die Abhängigkeit der Temperaturgradienten von den Amplituden der Lufttemperatur hinausgehen, entwickelt,
- die Temperaturgradienten auf Basis der Daten von 56 Wetterstationen in ganz Deutschland als Grundlagen für theoretische Untersuchungen verwendet,
- Anpassungsfaktoren  $m_{13}$  (nach System / Programm AWDSTAKO) abgeleitet, in das System übernommen und der Erarbeitung einer Straßentemperaturzonenkarte (Beton) zugrunde gelegt, die nunmehr zur Verfügung steht,
- eine aktualisierte Dicken-Gradienten-Funktion abgeleitet und eingeführt,
- die Überschreitungshäufigkeiten der den einzelnen Nachweisfällen des Systems nach Grenzzuständen zugeordneten Gradienten durch weiterführende Untersuchungen präzisiert,
- die der Dickendimensionierung zugrunde liegenden Ausfallraten durch Berücksichtigung der statistischen Verteilung der Deckendicke weiterentwickelt,
- eine genauere Ergebnisdifferenzierung in Abhängigkeit von den einwirkenden und aufnehmbaren Momenten geschaffen sowie
- die künftige Gegenüberstellung von zu erwartenden und zulässigen Ausfallraten eingeführt.

Das Endergebnis wurde in eine dem Forschungsbericht zunächst intern zugeordnete Programmversion AWDSTAKO eingearbeitet. Da noch eine Weiterentwicklung des Dimensionierungssystems unter Einbeziehung der Verteilungen der Belastung aus Verkehr und Temperatur vorgesehen ist, handelt es sich hierbei um keine Praxisversion.



**Bild 3: Straßentemperaturzonenkarte (Beton)**

#### 4 Folgerungen für die Praxis

- Es wurden entscheidende Schritte zur Verbesserung der Aussage- und Differenzierbarkeitssicherheit geschaffen.
- Lücken im Eingabebereich des Dimensionierungssystems/-programms wurden geschlossen.
- Eingabemöglichkeiten für die Streuungen von Dicke und Festigkeit wurden geschaffen.
- Das DV-Programm wurde in Grundlagen sowie in den Ein- und Ausgabemöglichkeiten entscheidend vorangebracht.
- Es stehen nunmehr Straßentemperaturzonenkarten (Beton) und weitere Eingabemöglichkeiten zur Verfügung.
- Für den Nutzer sind Verdeutlichungen in Form der Straßentemperaturzonenkarte (Beton) und grafischer Darstellungen entstanden.

#### 5 Literatur

- Villaret, S. ; Kayser, S. ; Kiehne, A. (u.a.). (2007): Weiterentwicklung der Bemessungsmethoden für Verkehrsflächen – Teil Betonstraßen, (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 976).
- Pfeifer, L. ; Kiehne, A. ; Villaret, S. (2008/2009): Bemessungsprogramm AWDSTAKO Versionen 1.5 und 1.6.
- Deutsches Institut für Normung (DIN) (2001): DIN EN 206-1: Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (DIN) (2008): DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Berlin.

Kayser, S. (2007): Grundlagen zur Erfassung klimatischer Einflüsse für Dimensionierungsrechnungen von Asphaltbefestigungen, TU Dresden, Professur für Straßenbau, Dissertation.

Kayser, S ; Wellner, F. (2008): Grundlagen zur Erfassung der Temperaturbedingungen für eine analytische Bemessung von Asphaltbefestigungen. (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; Heft 996), Bonn.

Joint Committee of Structural Safety (JCSS) (2007): Probabilistic Model Code, 2001-2007.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2006): Arbeitsanleitung zur Bestimmung der charakteristischen Spaltzugfestigkeit an Zylinderscheiben als Eingangsgröße, in: die Bemessung von Betondecken für Straßenverkehrsflächen (AL Sp-Beton), Köln.

Pfeifer, L. ; Kiehne A. ; Villaret, S. (2002): Bemessungsverfahren für Betonoberbau (inklusive fachtechnischem Handbuch). (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik ; 856).