

Weiterentwicklung der Bemessungsmethoden für Verkehrsflächen – Teil Betonstraßen, Komplex 2: Grundlagen zur Erarbeitung von bemessungsrelevanten Temperaturgebieten

FA 4.194

Forschungsstelle: Villaret Ingenieurgesellschaft mbH, Hönow

Bearbeiter: Kayser, S.

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

Abschluss: März 2007

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Forschungsprojekts FA 4.194 wurden seitens des Bearbeiters der Technischen Universität Dresden umfangreiche Untersuchungen zur Temperaturproblematik in Straßenbefestigungen aus Beton durchgeführt. Am Schluss stand die Erarbeitung einer Temperaturzonenkarte für die freie Bemessung von Straßenbefestigungen aus Beton. Für die bei der freien Dimensionierung von Betonstraßen mit dem Bemessungsverfahren AWDSTAKO durchgeführten Nachweise werden maßgebende Temperaturgradienten herangezogen, welche den Temperatureinfluss auf die Dauerhaftigkeit von Straßenbefestigungen aus Beton berücksichtigen. Zu bemerken ist, dass die im Bericht verwendeten Termini "Bemessung" und "Dimensionierung" die gleiche Bedeutung haben; der Ausdruck Bemessung wurde in der zitierten Literatur verwendet. Seit

2006 gilt laut FGSV-Beschluss die Bezeichnung "Dimensionierung" für Befestigungsdicken.

Die Temperaturgradienten werden in Abhängigkeit des Nachweises hinsichtlich ihrer Überschreitungshäufigkeit maßgebend. Den geographischen Unterschieden dieser Temperaturgradienten mit beeinflussenden klimatischen Randbedingungen wird durch eine Temperaturzonenkarte Rechnung getragen. Grundlage für die Erarbeitung der Temperaturzonenkarte bildete die Überprüfung des bisher verwendeten Zusammenhangs zwischen Temperaturgradient und Dicke der Betondecke sowie dem Zusammenhang der drei maßgebenden Temperaturgradienten untereinander.

Die Berechnung der maßgebenden Temperaturgradienten erfolgte aus Messwerten der Lufttemperatur bzw. aus der Intensität der täglichen Änderung dieser. Der Zeitraum, den diese Berechnungen umfassten, beträgt 15 Jahre.

2 Analyse der bisher maßgebenden Temperaturgradienten

Umfangreiche numerisch durchgeführte Temperaturberechnungen und die daraus abgeleiteten Temperaturgradienten ergaben, dass die drei bisher im Bemessungsprogramm AWDSTAKO zur Nachweisführung verwendeten Temperatur-

gradienten zum Teil unterhalb der im Rahmen dieses FA-Komplexes ermittelten Gradienten lagen. Diese Unterschiede wurden anhand von analysierten Messwerten sowie Ergebnissen verschiedener Forschungsprojekte für Einzelobjekte bestätigt. Die Ergebnisse dieses Komplexes zeigten bezüglich des Verhältnisses zwischen Temperaturgradient und Betondeckendicke einen geringeren Zusammenhang beider Elemente auf. Der funktionale Zusammenhang konnte dennoch durch eine Exponentialfunktion dargestellt werden.

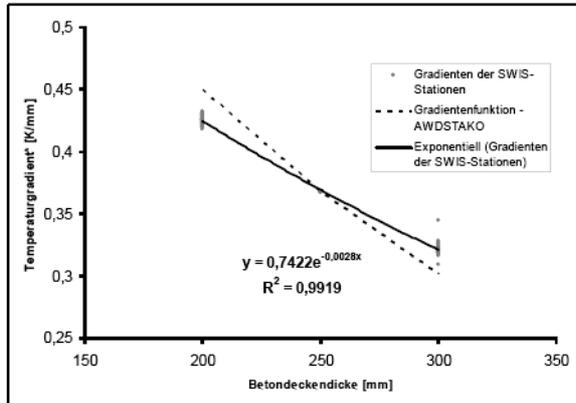


Bild 1: Zusammenhang zwischen Betondeckendicke und Temperaturgradient

Die Beziehungen der drei in Abhängigkeit ihrer Überschreitungshäufigkeiten maßgebenden Temperaturgradienten untereinander, ausgedrückt in AWDSTAKO durch den dimensionslosen Koeffizienten C1, konnten nur teilweise bestätigt werden.

Umrechnungsfaktor	AWDSTAKO	Kronau (Mittelwert) (aus Messwerten)	Kronau (Mittelwert) (aus Rechenwerten)	SWIS (Mittelwert) 200 mm Betondecke	SWIS (Mittelwert) 250 mm Betondecke	SWIS (Mittelwert) 300 mm Betondecke
U ^{10%}	1,54	1,48	1,53	1,48	1,49	1,51
U ^{50%}	2,69	5,44	5,77	5,37	5,42	5,49
s ^{10%}	-	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08
s ^{50%}	-	0,61	0,59	0,70	0,69	0,66

Bild 2: Zusammenhang zwischen dem Temperaturgradienten und der Überschreitungshäufigkeit; der Umrechnungsfaktor U beschreibt das Verhältnis der entsprechenden Koeffizienten C1.

Im Rahmen dieses Projekts durchgeführte Sensibilitätsrechnungen ergaben einen vernachlässigbar geringen Einfluss der materialspezifischen Parameter auf die maßgebenden Temperaturgradienten. Für diese konnte eine größenmäßige Änderung von ca. 1 % bei einer Veränderung der Temperaturleitfähigkeit des Betons um 3 cm²/h festgestellt werden.

3 Berechnung der Temperaturgradienten aus Lufttemperaturen

Ausgehend von den klimatischen Einflüssen auf die Wärmebilanz und somit letztlich auch die Temperaturgradienten von Betondecken sollten die zur Erstellung der Temperaturzonenkarte notwendigen maßgebenden Temperaturgradienten aus

Messwerten der Lufttemperatur der letzten 15 Jahre abgeleitet werden. Hierzu wurden eine Vielzahl von Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Intensität der täglichen Lufttemperaturänderung, sprich der Lufttemperaturamplitude, und dem Temperaturgradienten durchgeführt. Dabei erwies sich als zweckmäßig, die Gradientenberechnungen auf bestimmte Bereiche zu beschränken. Damit lässt sich die Genauigkeit der Gradientenberechnungen erhöhen. So ist es sinnvoll, Gradienten lediglich für eine vorher definierte Betondeckendicke aus Lufttemperaturamplituden zu berechnen. Die Gradienten anderer Betondeckendicken lassen sich zweckmäßigerweise mithilfe des in Bild 1 dargestellten mathematischen Zusammenhangs zwischen Betondeckendicke und Temperaturgradient berechnen. Gleiches gilt für die drei notwendigen Überschreitungshäufigkeiten. Aus einer speziell für den Zusammenhang zwischen Lufttemperaturamplitude und maßgebenden Temperaturgradienten einer 300 mm dicken Betondecke und einer Überschreitungshäufigkeit von 0,3 % abgeleiteten Regressionsfunktion konnten für 36 Stationen des Deutschen Wetterdienstes die maßgebenden Temperaturgradienten der letzten 15 Jahre ermittelt werden.

Die Analyse der tendenziellen jährlichen Veränderung der maßgebenden Temperaturgradienten zeigte geographisch sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die mittlere jährliche Gradientenänderung reicht von -0,0006 K/(mm*a) für die Station Magdeburg bis hin zu +0,0007 K/(mm*a) für die Station Augsburg.

Die Einteilung der berechneten Temperaturgradienten in Temperaturzonen erfolgte auf Basis einer Gleichverteilung der Gradientenbandbreite für jede Zone. Insgesamt wurden 3 Varianten, die sich hinsichtlich der Anzahl an Temperaturzonen unterscheiden, aufgezeigt. Die Berücksichtigung geographischer Unterschiede bezüglich der maßgebenden Temperaturgradienten wird im Bemessungsprogramm AWDSTAKO durch den Anpassungsfaktor m_{t3} realisiert. Der Maximalwert dieses Anpassungsfaktors ist mit dem Wert Eins definiert. Die einzelnen Temperaturzonen geben somit keine direkte Auskunft über die Temperaturgradienten, sondern vielmehr zum Verhältnis dieser zueinander. Dieses Verhältnis wird aus den repräsentativen Temperaturgradienten der einzelnen Zonen gebildet.

Welche Temperaturgradienten als repräsentativ und welche Anzahl von Temperaturzonen anzusetzen sind, können nur umfangreiche Serienrechnungen in Zusammenhang mit Komplex 3 dieses Forschungsprojekts zeigen. Als Repräsentativwert ist neben dem Zonenmittelwert auch das Zonenmaximum bzw. das 95 %-Quantil einer Zone ansetzbar.

4 Zusammenfassung

Gradientenfunktion:

$$\delta_T(x_h; m_{t3}) = \frac{f(x_h) \cdot m_{t3} \cdot \hat{\delta}_T}{U^{(\hat{U}-H/k)}}$$

Deckendickenfunktion:

$$f(x_h) = 2,40718 \cdot e^{-0,00293 \cdot x_h}$$

Umrechnungsfaktoren für Überschreitungshäufigkeiten:

$$U^{(0,3\%)} = 1, U^{(10\%)} = 1,5, U^{(50\%)} = 5,4$$

Bezugsgradient:

Tabelle 1: Bezugstemperaturgradienten in Abhängigkeit der Anzahl der Temperaturzonen sowie der statistischen Fragestellung

Bezugsgradient $\hat{\delta}_T$ [K/mm]			
Anzahl Temperaturzonen	Gradientenmittelwert der Zone	Gradientenmaximum der Zone	95 %-Quantil der Zone
2	0,0779	0,0879	0,0796
3	0,0801	0,0879	0,0879
4	0,0879	0,0879	0,0879

Anpassungsfaktor:

Tabelle 2: Anpassungsfaktoren m_{t3} in Abhängigkeit der Anzahl der Temperaturzonen sowie der statistischen Fragestellung

Anpassungsfaktor - m_{t3} [-]				
Anzahl Temperaturzonen	Zonen-Nr.	m_{t3} für Gradientenmittelwert	m_{t3} für Gradientenmaximum	m_{t3} für 95 %-Quantil
2	1	0,865	0,829	0,911
	2	1,000	1,000	1,000
3	1	0,807	0,774	0,762
	2	0,899	0,862	0,862
	3	1,000	1,000	1,000
4	1	0,718	0,750	0,750
	2	0,791	0,830	0,825
	3	0,876	0,906	0,900
	4	1,000	1,000	1,000

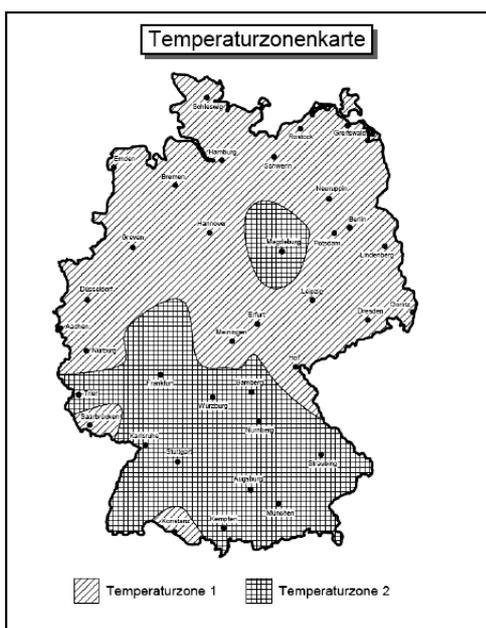


Bild 3: Temperaturzonenkarte bei Verwendung von 2 Temperaturzonen

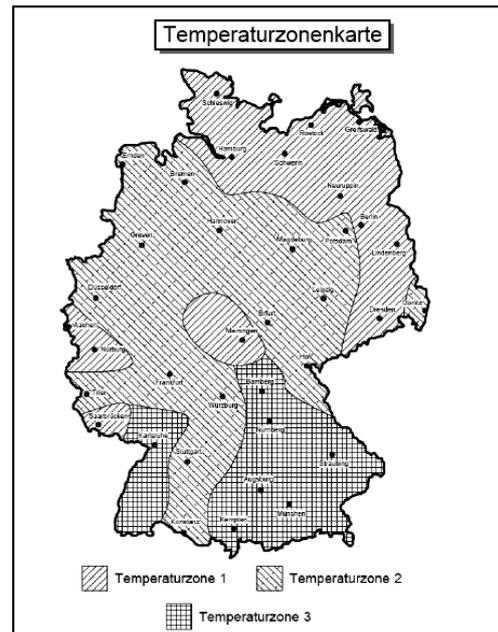


Bild 4: Temperaturzonenkarte bei Verwendung von 3 Temperaturzonen

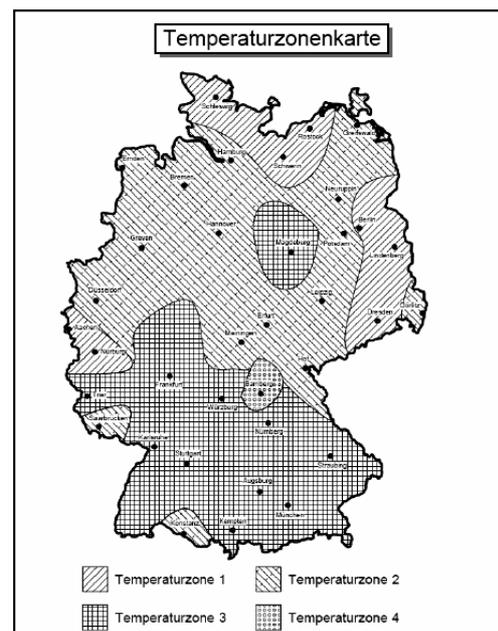


Bild 5: Temperaturzonenkarte bei Verwendung von 4 Temperaturzonen