

*Was passiert beim Einbringen des Gussasphalts?
Es handelt sich um ein Problem instationärer Temperaturfelder,
die von verschiedenen Randbedingungen beeinflusst werden:
Querschnittsgeometrie, Bauwerkslänge, Asphaltierungsgeschwindigkeit,
tatsächlicher Asphalttemperatur, klimatischen Bedingungen ...*

18

Temperaturerhöhung nicht überschätzen

Asphaltieren integraler Stahlbrücken

Was passiert beim Einbringen eines Gussasphalts beispielsweise bei Fußgängerbrücken?

Die unterschiedlichen Temperaturfelder, die es zu beachten gilt, können Einfluss auf das Vorhaben nehmen und erschweren einen realistischen Anhaltspunkt für die Temperaturverteilung. | [Uwe Kaßner](#)

Die integrale Bauweise von Brücken, Überbau und Widerlager monolithisch zu verbinden, hat sich in den vergangenen Jahren immer mehr durchgesetzt. Auch bei stählerne Fußgängerbrücken wird – meist aus wirtschaftlichen oder baupraktischen, bei geometrisch komplexen Tragwerken auch aus rein statischen Gründen – oft auf den Einbau von Lagern verzichtet und der stählerne Überbau mit den Stahlbetonwiderlagern durch GEWI- oder angeschweißte Bewehrungsstähle starr verbunden. Bei dieser Bauweise stellt sich regelmäßig die Frage nach der statischen Bewertung des Gussasphalteinbaus, für den – nach Kenntnis des Verfassers – keine gesicherten Daten über die beim Überbau zu erwartende Temperaturverteilung vorliegen.

Ein Problem: instationäre Temperaturfelder

Die Problemstellung ist nicht neu: Der Ingenieur entwirft und konstruiert – oft im Rahmen eines Wettbewerbs – eine stählerne Fußgängerbrücke, spannt sie in die Widerlager ein, um den Überbau-Querschnitt zu minimieren, oft mit

geschwungenem Grundriss zur optimalen Anbindung der Uferwege. Die Berechnungen – mit Schwingungsanalysen und Dämpferauslegung, vielleicht mit aufwendigen Strömungsuntersuchungen – sind abgeschlossen, die Pläne gezeichnet, die Brücke wird gebaut. Bis der Bauleiter die Frage stellt: Was passiert eigentlich beim Einbringen des Gussasphalts?

Hier verlässt den Ingenieur, nicht ganz ohne Grund, sein mittlerweile recht umfangreiches Regelwerk. Handelt es sich doch um ein Problem instationärer Temperaturfelder, die von verschiedenen Randbedingungen beeinflusst werden: Querschnittsgeometrie, Bauwerkslänge, Asphaltierungsgeschwindigkeit, tatsächlicher Asphalttemperatur, klimatischen Bedingungen ...

Statik-Software ist für die Klärung dieser Fragestellung ebenso wenig geeignet wie die meisten auf dem Markt befindlichen Programme, die zur Berechnung zwei- und dreidimensionaler Wärmebrücken im Hochbau eingesetzt werden.

Messtechnische Begleitung eines Neubaus

Um einen realistischen Anhaltspunkt für die Temperaturverteilung zu erhalten, wurde daher der Asphalteinbau beim Neubau einer stählernen Fußgängerbrücke messtechnisch begleitet.

Das Gesamtbauvorhaben – der Ausbau der Nordtangente Ingolstadt – umfasste die Unterführung einer innerstädtischen vierspurigen Straße mit dem Ziel, die vorhandene stark befahrene Kreuzung zu entlasten. Zu diesem Zweck wurde im vorhandenen begrünten Mittelstreifen eine zweispurige Unterführung von 10,5 m Breite und maximal 5,2 m Höhe angeordnet, über die das sechsspurig ausgebaute Brückenbauwerk von insgesamt 23 m Breite verlief. Auf beiden Seiten der Straßenbrücken sind eigenständige Fußgängerstege von jeweils 4,8 m Breite vorgesehen (Abb. 1).

Neben den Herausforderungen, die der Bau bei laufendem Verkehr (Die Kreuzung wird täglich von 45.000 Fahrzeugen befahren.) mit sich brachte, bestand eine Aufgabe darin, angesichts der hohen Spattendichte im Straßenbereich möglichst auf eine Verankerungen des Verbaus zu verzichten. Als Verbau wurden Bohrpfahlwände eingesetzt; sie dienten gleichzeitig als Rahmenstiele bzw. Gründung für die Stahlbeton-Platte der Straßenbrücke. Die

Ausführung erfolgte in geschlossener Bauweise, sodass sich unter dem Überbau temporäre Steifen oder Anker erübrigten. In den nicht überbauten Abschnitten der Unterführung wurden die Bohrpfahlwände bis 4 m Höhe frei auskragend ausgeführt, sodass lediglich ca. 16 m lange Bereiche neben der Straßenbrücke zu lösen waren. Hier erfolgte die Stabilisierung des Verbaus über Pfahlkopfbalken, die durch die Stahltragwerke der Fußgängerstege ausgesteift wurden. Dieses statische System ermöglichte auch hier den Verzicht auf Anker mit äußerst geringem konstruktivem Aufwand.

Fußgängerstege: Der Überbau bestand im Wesentlichen aus einer 15 mm starken orthotropen Platte, die beidseits luftdicht verschweißte Hohlkästen als Hauptträger und Druckriegel erhielt. Alle Rippen wurden ohne Untergurt ausgeführt; in den Querträgern wurden Aussparungen für Medienüberführungen angeordnet (s. Abb. 2). Als Oberflächenschutz wurde eine fünflagige Epoxidharzbeschichtung vorgesehen; der Gehwegbereich erhielt darüber hinaus eine Schweißbahn als Abdichtung sowie einen Gussasphaltbelag von insgesamt 6 cm Stärke. Im Zuge des Aushubs wurden unter den Hauptträgern temporäre Steifen angeordnet.

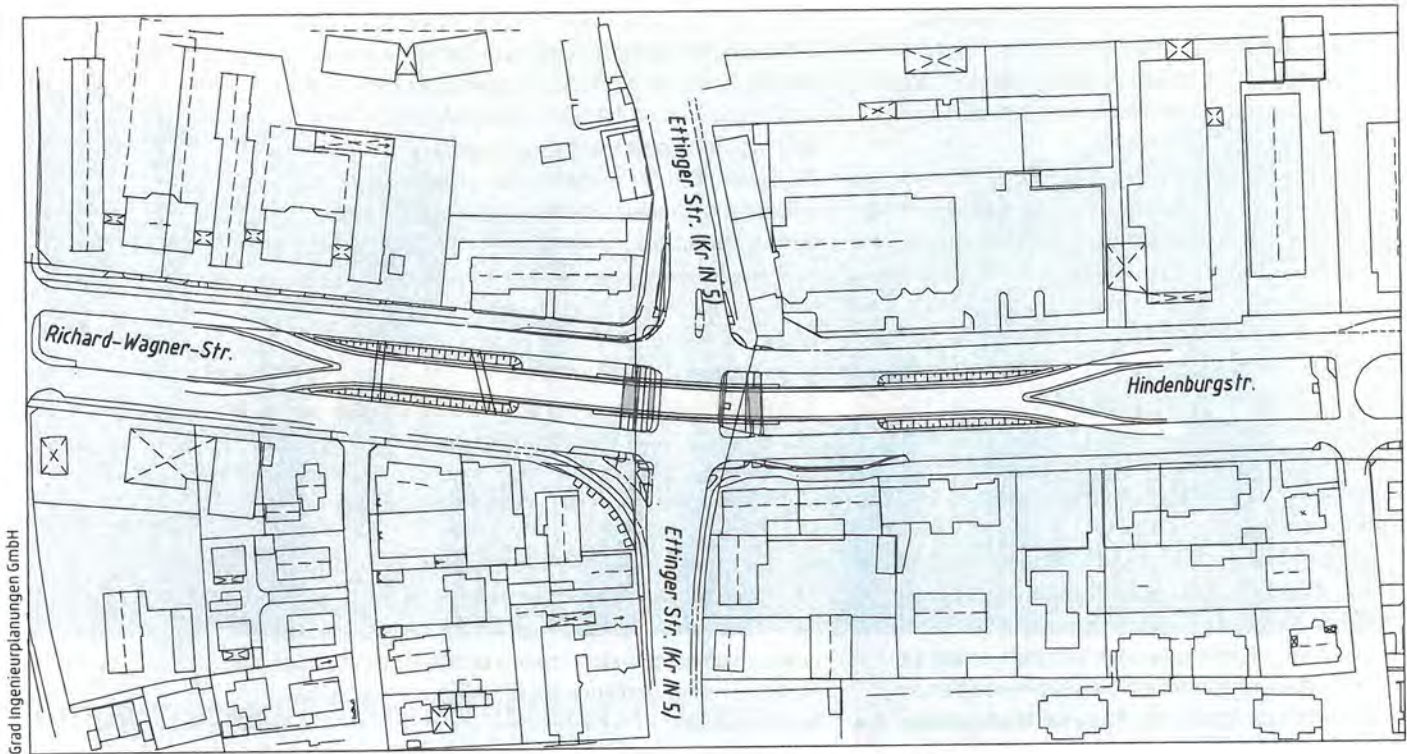


Abb. 1: Auf beiden Seiten des Straßenbrücken werden eigenständige Fußgängerstege von jeweils 4,80 m Breite vorgesehen.

Verschiedene Messpunkte

Die statische Berechnung des Haupttragwerks erfolgte als Rahmensystem. Eine Vergleichsrechnung an einem Trägerrost aus elastisch gebetteten Pfählen und Pfahlkopfbalken ergab, dass jeweils vier bewehrte Pfähle als Rahmenstiele angesetzt werden konnten, die als Ersatz-Rechteckquerschnitt definiert wurden. Die seitliche Bettung der Pfähle wurde durch Einzelfedern mit Zugversagen simuliert. Die Hilfssteifen wurden erst nach Anschluss der Asphaltierung ausgebaut, sodass der Rahmenriegel bei Aufbringen des Gussasphalts keine zusätzlichen Normalkräfte aus Erd- bzw. Wasserdruck erhielt. In Abstimmung mit den Prüfingenieuren Zilch und Müller wurde für den Lastfall

Asphalteinbringung eine Temperaturerhöhung des Hauptträgers um $\Delta T = 120 \text{ K}$ angesetzt in Anlehnung an die Richmannsche Mischungsregel. Die Berechnung zeigte, dass die Beanspruchung des Hauptträgers aus ΔT geringer ausfiel als aus Erd- und Wasserdruck, sodass der Lastfall Gussasphalt-Einbringung hier nicht maßgebend wurde; für die Querrippe wurde bei $\Delta T = 120 \text{ K}$ dagegen die Streckgrenze lokal nahezu erreicht.

Zur nachträglichen Überprüfung des Lastansatzes ΔT wurde die Temperatur der Stahlkonstruktion an verschiedenen Punkten während des Asphalteinbaus festgestellt (s. Abb. 3). Gemessen wurde jeweils die Temperatur an UK Platte und UK Querrippe. Auf eine Temperaturmessung des Hauptträgers wurde verzichtet, da die einzelnen Querschnittsfasern aufgrund ihrer unterschiedlichen Entfernung zum Asphalt keine repräsentativen Ergebnisse erwarten ließen. Außerdem wurden die Überbauverformungen zum Abgleich mit einer Nachrechnung aufgenommen.

Die Messung erfolgte mit dem Laserliner ThermoSpot Plus. Während der Messungen am 26.08.2015 zwischen 9.00 und 11.00 Uhr herrschten sonnige, nahezu windstille Verhältnisse, die Lufttemperatur betrug $25 \text{ }^\circ\text{C}$; die Asphalttemperatur bei Entnahme aus dem Mischer $210 \text{ }^\circ\text{C}$, wobei sie bei Einbringung (Transportweg max. 15 m) bereits auf $180 \text{ }^\circ\text{C}$ abgesunken war. Die Ausgangstemperatur der Stahlkonstruktion lag einheitlich bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Der Gussasphalt wurde in zwei Schichten zu 3 cm mittels Schubkarre aufgebracht; für jeden Arbeitsschritt wurden ca. 60 Minuten benötigt.

Die Ergebnisse der Temperaturmessungen sind in Abb. 4 dargestellt. Demnach steigt die Temperatur des

Querschnitt

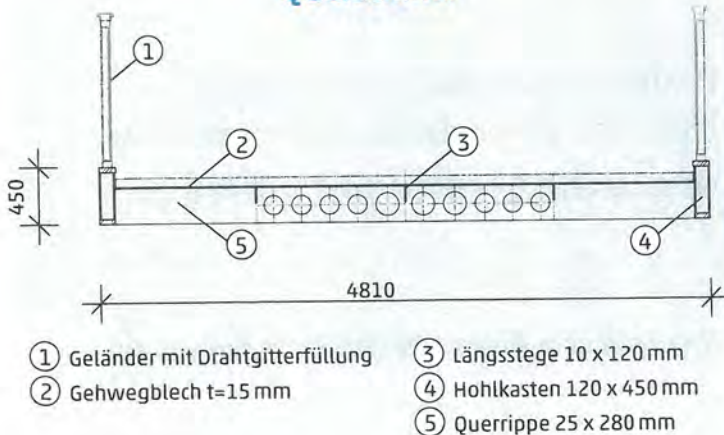
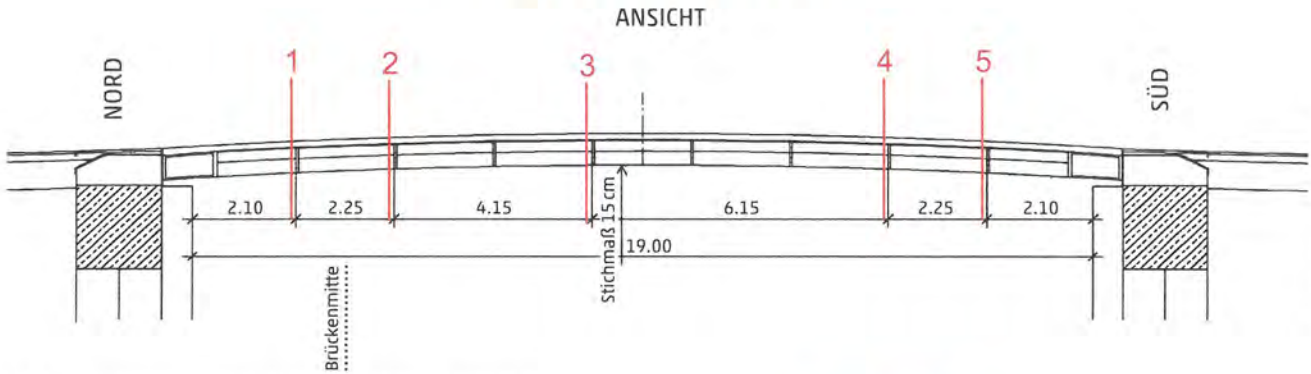


Abb. 2: Alle Rippen wurden ohne Untergurt ausgeführt; in den Querträgern wurden Aussparungen für Medienüberführungen angeordnet.

Lage der Messpunkte

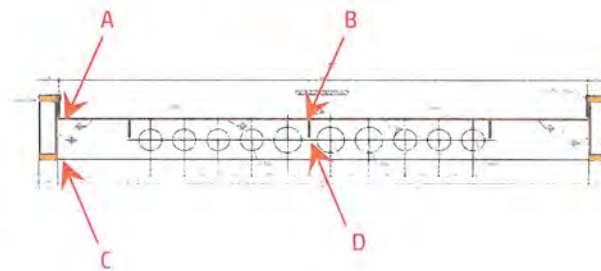


Grad Ingenieurplanungen GmbH

Abb. 3: Zur nachträglichen Überprüfung des Lastansatzes ΔT wurde die Temperatur der Stahlkonstruktion an verschiedenen Punkten während des Asphaltbaus festgestellt.

offenen Brückenquerschnitts um $\Delta T = 50 \text{ K}$ auf ca. $T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ an. Aufgrund der geringen Überbaumlänge konnten keine unterschiedlichen Temperaturzonen über die Brückenlänge festgestellt werden. Zum Abschluss des Asphaltierens nach einer Stunde lag die Querschnittstemperatur am Startpunkt bei $68 \text{ }^\circ\text{C}$ und damit nahe des Maximums; nach 1 h:45 min. wurde nur eine geringe Abkühlung auf ca. $60 \text{ }^\circ\text{C}$ gemessen. Setzt man eine – allerdings nicht realistische – gleichbleibende Asphaltiergeschwindigkeit voraus, läge bei einer Brückenlänge von ca. 18 m die Temperatur am Startpunkt bei $60 \text{ }^\circ\text{C}$, sodass praktisch eine über die Brückenlänge durchgehenden Temperaturdifferenz von $\Delta T = 50 \text{ K}$ angesetzt werden könnte. Die 2. Asphaltlage,

Querschnitt



Grad Ingenieurplanungen GmbH

die 2 h:15 min. nach der ersten aufgebracht wurde – Die Pause wurde erzwungen, um die Begehrbarkeit der ersten Lage zu gewährleisten. – brachte trotz der vorhandenen Restwärme aus der 1. Lage geringfügig niedrigere Maximaltemperaturen. Insgesamt sind die gemessenen Werte

Temperaturverlauf beim Einbringen des Asphaltes

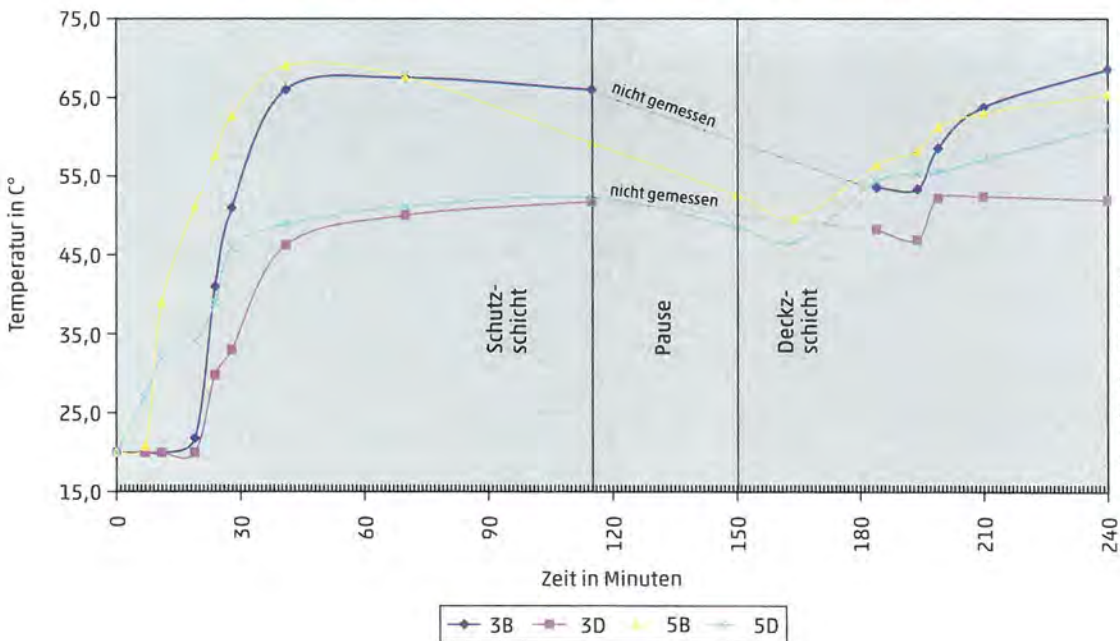


Abb. 4: Die Ergebnisse der Temperaturmessungen

Grad Ingenieurplanungen GmbH

Einbringung Schutzschicht

Punkt	Zeitverlauf in Minuten									
	07	11	19	24	28	41	70	120		
3A	20,0	20,0	20,0	20,0	32,4	35,2	44,6	53,6	44,6	
3B	20,0	20,0	20,0	21,8	41,0	51,0	68,0	46,4	66,0	
3C	20,0	20,0	20,0	20,2	20,0	20,0	22,2	50,6	29,8	
3D	20,0	20,0	20,0	20,0	29,8	33,0	46,2	67,8	51,8	
5A	20,0	22,0	41,2	32,6	44,2	52,0	50,0	53,8	52,6	
5B	20,0	20,8	39,0	51,0	57,6	62,6	69,0	67,6	59,2	
5C	20,0	22,9	22,4	33,6	34,0	42,6	42,6	42,4	42,2	
5D	20,0	20,0	32,0	34,2	47,8	46,0	49,0	51,2	52,4	
f (mm)	00149				15				21	24

Die Ergebnisse der Temperaturmessungen

Einbringung Deckschicht

Punkt	Zeitverlauf in Minuten							
	150	164	184	194	199	210	240	
3A			48,0	44,8	51,8	39,6	51,6	
3B			53,6	53,4	58,6	63,8	68,6	
3C			52,2	42,4	44,0	26,2	41,6	
3D			48,2	46,9	52,2	52,4	52,0	
5A	44,2	42,0	51,0	52,6	58,2	57,8	63,0	
5B	52,6	49,6	56,4	58,2	61,2	63,0	65,4	
5C	40,0	41,8	52,2	43,6	44,2	46,2	49,8	
5D	48,6	46,8	54,4	55,4	55,6	57,2	61,4	
f (mm)	87789					12		16

Grad Ingenieurplanungen GmbH

Auflagerkräfte und Verformung - Lastfall 12

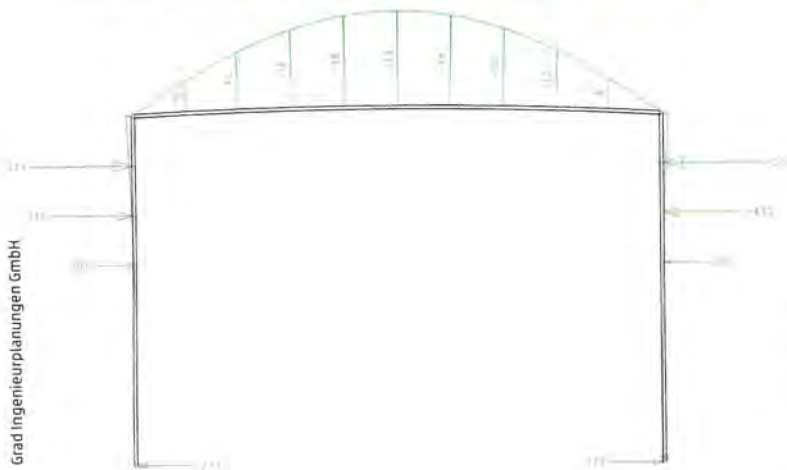


Abb.5: Die Verformungen des maßgebenden Lastfalls 12

m1,m2: wirksame Einzelmassen (Stahl, Asphalt)
 T1,T2: Temperaturen der Einzelmassen
 Tm: mittlere Temperatur der Gesamtmasse
 c1,c2: spezifische Wärmekapazität der Baustoffe

ergeben sich folgende Temperaturen für die Stahlkonstruktion (oC):

Bauzustand/Ansatz	Rechenwert	Messwert
(1) Bauphase 1 : 3 cm Gussasphalt Deckblech allein	105	70
(2) Bauphase 1 : 3 cm Gussasphalt + Deckblech + Rippen	88	68
(3) Bauphase 2 : 6 cm Gussasphalt Deckblech allein	102	61
(4) Bauphase 2 : 6 cm Gussasphalt + Deckblech + Rippen	96	60

plausibel. Beachtenswert ist der Temperaturunterschied zwischen Deckblech und Rippenunterkante, der ein - allerdings uneinheitliches - Gefälle von 15 bis 20 K aufweist.

Deutlich niedriger als rechnerisch ermittelt

In der statischen Berechnung wurde die Einbringung des Gussasphalts in einem Arbeitsgang angenommen. Das liefert wesentlich ungünstigere Ergebnisse als die tatsächliche Einbringung in zwei Lagen. Nachfolgend werden die rechnerischen Temperaturen sowie die gemessenen Temperaturen gegenübergestellt. Dabei werden die einzelnen Bauphasen unterschieden, zusätzlich wird das Deckblech allein betrachtet sowie die gesamte Stahlkonstruktion einschließlich der abliegenden Rippen, die nicht in direktem Kontakt mit der erwärmenden Masse stehen. Für den Asphalt wurde die reale Einbringtemperatur von T=180 K angesetzt.

Nach der Richmannschen Mischungsregel

$$T_m = \frac{(m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2)}{(m_1 c_1 + m_2 c_2)}$$

Die Messwerte in (2) und (4) beziehen sich auf den Masseschwerpunkt der Stahlkonstruktion unter Annahme eines linearen Temperaturgefälles von UK Deckblech bis UK Rippe. Für Bauphase 2 wurde die Temperatur der ersten Asphaltlage gleich der Temperatur des Deckblechs gesetzt.

Erwartungsgemäß fallen die gemessenen Temperaturen deutlich niedriger aus als die rechnerisch ermittelten, da ungeachtet weiterer Einflussfaktoren die in der Berechnung vorausgesetzte Durchmischung der Stoffe praktisch nicht gegeben ist; der Wärmeabfluss findet lediglich über Kontaktflächen statt. Für die ingenieurtechnische Praxis, die Ermittlung von Zwangsspannungen bzw. -kräften, ist vorrangig die Temperaturerhöhung des Gesamtquerschnitts interessant. Hier liefert die durchgeführte Messung für den Lastfall Asphalteinbringung, Phase 1, eine maßgebende Temperaturdifferenz $\Delta T = 68 - 20 = 48$ K gegenüber dem rechnerischen Wert $\Delta T = 88 - 20 = 68$ K. Für Bauphase 2 wurden geringere Maximaltemperaturen des Stahlquerschnitts gemessen; die Differenz zum Rechenwert lag dagegen höher, was angesichts des Dreiphasenaufbaus des Gesamtquerschnitts nicht überrascht.

Mit den gewonnenen Daten wurden die rechnerische Verformungen des Haupttragwerks überprüft. Es wurde in einem Lastfall 11 eine gleichmäßige Temperaturerhöhung von $\Delta T = 50 \text{ K}$ über die gesamte Überbaulänge angesetzt, die in LF12 mit einer zusätzlichen Temperaturdifferenz $\Delta T_{o-u} = 15 \text{ K}$ überlagert wurde. Abb. 5 zeigt die Verformungen des maßgebenden Lastfalls 12. Die maximale gemessene Verformung von 2,4 cm weicht zwar etwas von dem errechneten Wert von 1,9 cm ab, angesichts der Modellunsicherheiten (Streuung des Bettungsmoduls und der mitwirkenden Breite der Pfahlwand, massivere Stützung durch den dahinterliegenden Straßenerbau) kann das Ergebnis dennoch als gute Näherung angesehen werden.

Fazit

Die Messungen zeigen, dass die beim Aufbringen des Gussasphalts auf einen Stahlüberbau verursachte Temperaturerhöhung zweifellos berücksichtigt werden muss, jedoch nicht überschätzt werden sollte. Eine allgemeine Empfehlung für die rechnerische Berücksichtigung des Wärmeeintrags kann angesichts der Vielzahl der Brückenquerschnitte und -formen nicht gegeben werden; der naheliegende Ansatz einer „Mischtemperatur“ zwischen Gußasphalt und

Überbau scheint allerdings deutlich auf der sicheren Seite. Der praktisch tätige Ingenieur ist gut beraten, den Lastfall Gussasphalteinbau rechtzeitig zu betrachten; eine Messung der Temperaturverläufe zur Bestätigung der Ansätze liefert mit wenig Aufwand aufschlussreiche Ergebnisse. ◀

BAUTAFEL

- › Bauherr: Stadt Ingolstadt
- › Objektplanung: Goldbrunner Ingenieure Ingolstadt
- › Tragwerksplanung: Grad Ingenieurplanungen Ingolstadt
- › Prüfingenieur: Zilch + Müller Ingenieure München

UWE KASSNER

- › Dipl.-Ing. (TU); Geschäftsführer Grad Ingenieurplanungen GmbH