

Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 158

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a bold, green, lowercase sans-serif font. The letters are thick and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags

von

Heinz Friedrich
Manfred Eilers
Bert Quaas
Frederik Robrecht
Dmitri Schamne
Michael Staeck

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 158

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Berichte der **Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 2216012
Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags

Referat
Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-95606-538-5

Bergisch Gladbach, September 2020

Kurzfassung – Abstract

Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags

Bei der ersten Bauwerksprüfung nach dem Austausch des Brückenbelags wird bei Stahlbrücken häufig eine überproportional hohe Anzahl an Schweißnahttrissen in der orthotropen Fahrbahnplatte festgestellt. Die naheliegende Vermutung ist, dass diese Schäden im Zusammenhang mit den Beanspruchungen stehen, die beim Austausch des Brückenbelags entstehen.

Relevante Beanspruchungen können beim Entfernen des alten Brückenbelags, z. B. durch die dynamischen Belastungen beim Fräsen oder beim Einbau des neuen Brückenbelags, durch die thermische Belastung beim Einbau des Gussasphaltes oder ggf. beim Walzen, z. B. durch die dynamischen Belastungen beim Verdichten von Walzasphalt-Deckschichten auftreten.

Verschärft wird die Problematik durch die Entwicklung von immer leistungsfähigeren Maschinen wie Hochleistungsfräsen oder Asphalt-Fertiger mit immer breiteren Einbaubohlen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden Grundlagen für weiterführende Untersuchungen zum Thema „Beanspruchung von Stahlbrücken beim Austausch des Brückenbelags“ erarbeitet und dargestellt. Im Mittelpunkt steht dabei die Temperaturbelastung der Stahlkonstruktion infolge des „Einbaus des neuen Brückenbelags“.

Zu diesem Zweck wurden verschiedene Erneuerungsmaßnahmen fachtechnisch begleitet, um den Prozessablauf zu dokumentieren und um exemplarische Temperaturverteilungen in der orthotropen Fahrbahnplatte während des Asphalteinbaus zu ermitteln. Dabei handelt es sich um folgende Bauwerke:

- Rheinbrücke Leverkusen
Einbau einer Deckschicht aus Gussasphalt am 20.05.2016.
- Wiehltalbrücke
Fräsen, Einbau einer Deckschicht aus lärmreduziertem Porous Mastix Asphalt (PMA), Walzen am 17.07.2017.

- Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp
Einbau einer Deckschicht aus Gussasphalt am 15.08.2017.
- Hochmoselbrücke
Einbau einer Schutzschicht aus Gussasphalt am 28.06.2019.

Die daraus ermittelten Ergebnisse bilden eine erste Grundlage für weitergehende numerische Parameterstudien. Darüber hinaus werden Empfehlungen für zukünftige Baumaßnahmen gegeben.

Stress in orthotropic decks caused by the replacement of mastic asphalt layers

During the first bridge inspection after the replacement of the bridge surface, a disproportionately high number of weld cracks in the orthotropic deck is often detected in steel bridges. The obvious assumption is that these damages are related to the stresses that occur when the bridge surface is replaced.

Relevant stresses can occur when removing the old pavement, e.g. due to the dynamic loads during milling or when paving the new bridge surface, e.g. due to the thermal load during paving of the mastic asphalt or if applicable when rolling asphalt wearing courses e.g. due to the dynamic loads during compacting.

The problem is aggravated by the development of increasingly powerful machines such as high-performance milling machines or asphalt pavers with wider paving screeds.

Within the framework of the research project, the basics for further investigations on the subject of „Stress on steel bridges due to pavement renewal“ will be developed and presented. The focus is on the temperature load on the steel structure as a result of the „application of the new bridge surface“.

For this purpose, various replacement measures were technically accompanied in order to document the process and to determine exemplary temperature distributions in the orthotropic bridge decks. These are the following structures:

- Rheinbrücke Leverkusen
Paving of a top layer with mastic asphalt on 20.05.2016.
- Wiehltal Bridge
Milling, paving of a top layer with noise-reduced Porous Mastix Asphalt, rolling on 17.07.2017.
- Rheinbrücke Duisburg Neuenkamp
Paving of a top layer with mastic asphalt on 15.08.2017.
- Hochmosel Bridge
Paving of a protective layer with mastic asphalt on 28.06.2019.

The results obtained form a first basis for further numerical parameter studies. In addition to that, recommendations for future construction measures are given.

Inhalt

1	Erneuerung des Brückenbelags auf Stahlbrücken	7	5.4	Temperaturverteilung	16
1.1	Allgemein	7	5.4.1	Allgemein	16
1.2	Entfernen des alten Belags	7	5.4.2	Vertikale Temperaturverteilung	18
1.3	Einbau des neuen Belags	8	6	Hochmoselbrücke	20
1.4	Walzen der Deckschicht	9	6.1	Allgemein	20
2	Ziel und Aufgabenstellung	9	6.2	Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt	20
2.1	Ziel	9	6.3	Temperaturverteilung	20
2.2	Aufgabenstellung	9	6.3.1	Allgemein	20
3	Rheinbrücke Leverkusen	10	6.3.2	Vertikale Temperaturverteilung	23
3.1	Allgemein	10	7	Empfehlungen	24
3.2	Fräsen	10	7.1	Allgemein	24
3.3	Einbau der Deckschicht aus Gussasphalt	10	7.2	Entfernen des alten Belags	24
3.4	Temperaturverteilung	11	7.3	Einbau des neuen Belags	25
3.4.1	Allgemein	11	7.4	Walzen	26
3.4.2	Horizontale Temperaturverteilung	12	8	Zusammenfassung und Ausblick	26
3.4.3	Vertikale Temperaturverteilung	12	Literatur	26	
4	Wiehltalbrücke	13	Bilder	27	
4.1	Allgemein	13	Tabellen	28	
4.2	Fräsen	13			
4.3	Einbau der Deckschicht aus Porous Mastix Asphalt (PMA)	13			
4.4	Temperaturverteilung	14			
4.5	Walzen der Deckschicht	16			
5	Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp	16			
5.1	Allgemein	16			
5.2	Fräsen	16			
5.3	Einbau der Deckschicht aus Gussasphalt	16			

1 Erneuerung des Brückenbelags auf Stahlbrücken

1.1 Allgemein

Brückenbeläge auf Brücken müssen viel leisten. Sie müssen die Belastungen aus dem Verkehr aufnehmen, an das Tragwerk weitergeben und dabei verformungsbeständig, eben und griffig bleiben. Gleichzeitig müssen sie das Brückenbauwerk gegen Oberflächenwasser abdichten, das im Winter korrosionsförderndes Tausalz enthält [1].

Der etwa acht Zentimeter dicke Brückenbelag besteht aus einer Deckschicht, einer Schutzschicht und einer Dichtungsschicht (Bild 1). Schutz- und Deckschicht bestehen in der Regel aus Gussasphalt. Für die Dichtungsschicht sind auf Stahlbrücken verschiedene Bauarten zugelassen:

- Bauart 1: Reaktionsharz-Dichtungsschicht,
- Bauart 2: Bitumen-Dichtungsschicht,
- Bauart 3: Reaktionsharz/Bitumen-Dichtungsschicht.

Die Erneuerung des kompletten Brückenbelags erfolgt im Zyklus von etwa 30 bis 40 Jahren, wobei dazwischen i. d. R. einmal die Deckschicht ausgetauscht wird. Zunächst gilt es, den alten Asphalt zu entfernen, bevor der Einbau der neuen Deckschicht bzw. des neuen Brückenbelags erfolgen kann. Abhängig vom eingesetzten Asphalt muss die Deckschicht ggf. nach dem Einbau noch gewalzt werden. In allen drei Phasen (Entfernen des vorhandenen Belags, Einbau des neuen Belags und ggfs. Walzen der Deckschicht) wird die orthotrope Fahrbahnplatte nicht unerheblichen Beanspruchungen ausgesetzt, die bei der Bemessung meist keine Berücksichtigung finden.

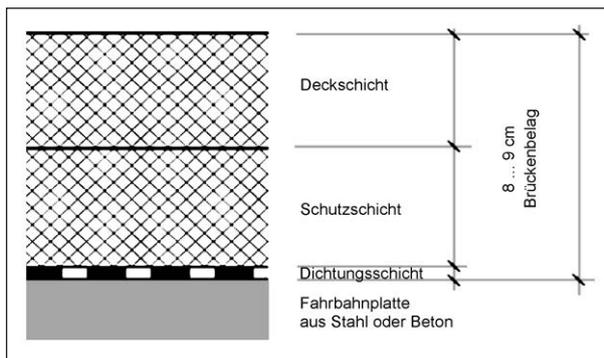


Bild 1: Aufbau Brückenbelag [1]

1.2 Entfernen des alten Belags

Der alte Brückenbelag wird in der Regel mit einer Großfräse (Bild 2) oder mit einem Löffelbagger entfernt. Die auf dem Deckblech verbleibenden Reste werden per Strahlen entfernt.

Beim Fräsen erfolgt der Abtrag des Belages lagenweise mit Hilfe einer rotierenden Fräswalze, die mit Fräsworkzeugen (Meißeln) besetzt ist (Bild 3). Das Fräsgut (Asphaltgranulat) kann unter der Voraussetzung, dass der Ausbauasphalt frei von Fremdstoffen und gesundheitsschädlichen Substanzen ist, nach dem Ausbau wiederverwendet werden. Aus logistischen Gründen werden in Deutschland in der Regel Fräsen mit einer Arbeitsbreite von maximal 2,2 m eingesetzt.

Vorteile des FräSENS sind:

- Die hohe Vortriebsgeschwindigkeit (je nach Gerät sind bei einer Frästiefe von 75 mm bis zu 20 m/min möglich [2]),
- die hohe Qualität des Fräsguts erlaubt eine hochwertige Wiederverwendung (bei lageweisem Abtrag keine Verunreinigung durch die Baustoffe der Dichtungsschicht).

Demgegenüber können sich die folgenden Punkte als problematisch erweisen:

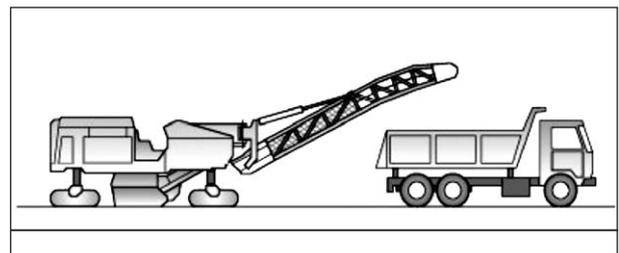


Bild 2: Großfräse [2]



Bild 3: Fräswalze [3]

- Hohe Beanspruchung der Brückenkonstruktion infolge der eingebrachten Energie (Vibrationen) in Kombination mit dem Eigengewicht der Fräsen.
- Gefahr von Schäden im Deckblech der orthotropen Fahrbahnplatte (Deckblechriefen) durch zu große Frästiefe (bedingt durch Unebenheiten im Deckblech).

Als Alternative kann der Abtrag der Asphaltsschichten auch per Löffelbagger erfolgen, wobei die Dichtungsschicht als Sollbruchstelle fungiert. Um das Trennen zu vereinfachen, gibt es ein japanisches Verfahren zur Erwärmung des Deckblechs mit elektromagnetischen Wellen, was aber bisher in Deutschland und auch bei den hier erläuterten Brücken jedoch nicht zur Anwendung kam.

Die Vorteile beim Einsatz eines Löffelbaggers sind:

- Keine Vibrationsbeanspruchung der Brückenkonstruktion,
- Vermeidung von Deckblechriefen bedingt durch Unebenheiten.

Demgegenüber stehen die folgenden Nachteile:

- Geringere Flächenleistung,
- anhaftende Bestandteile der Dichtungsschicht können die Qualität des Ausbaus asphalt beeinträchtigen,
- ein getrennter Ausbau von unterschiedlichen Schutz- und Deckschichten (sortenreines Asphaltgranulat) ist nicht möglich.

Bei verbleibenden Anhaftungen der Dichtungsschicht auf der Stahloberfläche können diese am wirtschaftlichsten durch Hochdruck-Wasserstrahlen entfernt werden. Abschließend wird die Stahloberfläche durch Strahlen mit festen Strahlmitteln auf den Oberflächenvorbereitungsgrad Sa 2½ gestrahlt, um die erforderliche Reinheit und Rauheit für den Einbau der Dichtungsschicht zu erreichen.

1.3 Einbau des neuen Belags

Auf Stahlbrücken wird sowohl für die Schutzschicht als auch für die Deckschicht in der Regel Gussasphalt verwendet. Verglichen mit anderen Asphalten erreicht der porenfreie Gussasphalt ein Höchstmaß an Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit. In einigen Fällen (z. B. aufgrund lärmtechnischer Anforderun-

Asphalt	Einbautemperatur
Gussasphalt (vor 2008)	240 °C – 260 °C
Gussasphalt (temp.-red.)	210 °C – 230 °C
Porous Mastix Asphalt	180 °C – 200 °C
Splittmastixasphalt	150 °C – 180 °C

Tab. 1: Einbautemperaturen für verschiedene Asphalte

gen) kommen bei der Deckschicht auch andere Asphalte zum Einsatz, wie z. B. Splittmastixasphalt (SMA) oder Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche (Porous Mastix Asphalt (PMA)). Daraus ergeben sich Einbautemperaturen gemäß Tabelle 1.

Seit 2008 ist die Einbautemperatur von Gussasphalt aus Gründen des Arbeitsschutzes auf maximal 230 °C begrenzt. Daher werden dem Asphaltmischgut in der Regel Zusätze beigemischt, die den Einbau des Gussasphaltes auch bei den reduzierten Einbautemperaturen ermöglichen.

Im Rahmen der Projekte [4] und [5] wurden die Temperaturverläufe beim Einbau von Asphaltsschichten auf Stahlbrücken untersucht. Die maximalen Temperaturen T_{max} , die an der Unterseite des Deckblechs beim Einbau von Schutz- und Deckschicht auftreten können, lassen sich für 12 mm dicke Deckbleche folgendermaßen abschätzen:

Schutzschicht [4]:

$$T_{max} = T_A + \beta (T_E - T_A)$$

Deckschicht [5]:

$$T_{max} = T_A + \gamma (T_E - T_A)$$

wobei

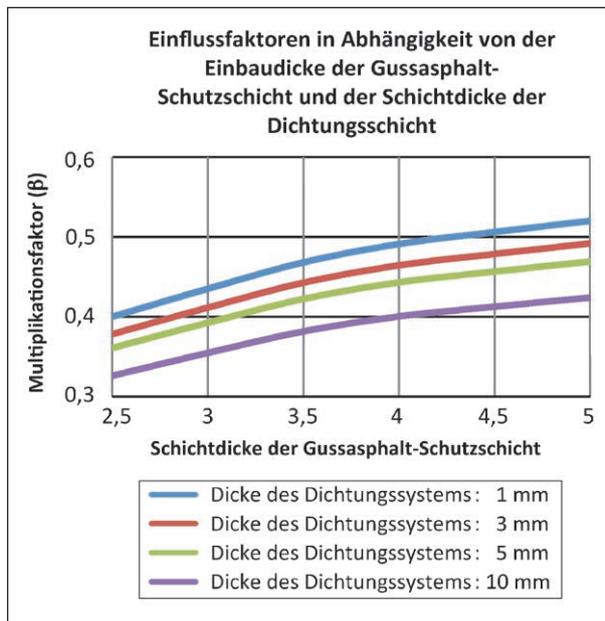
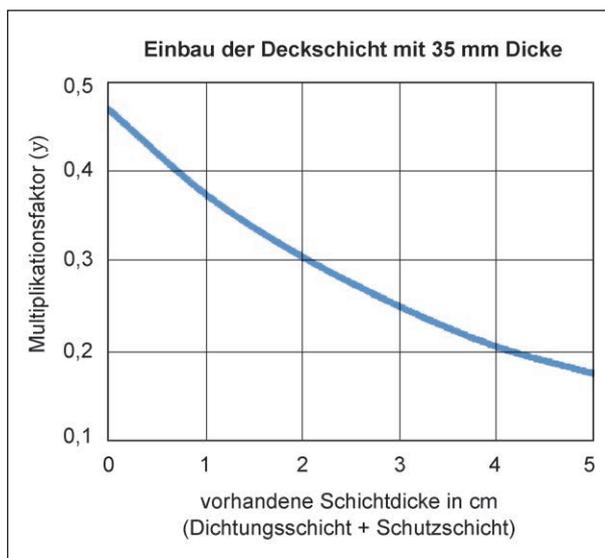
T_E Einbautemperatur Asphaltmischgut

T_A Ausgangstemperatur Stahl-Deckblech

β Multiplikationsfaktor Schutzschicht (Bild 4)

γ Multiplikationsfaktor Deckschicht (Bild 5)

Zu beachten ist, dass der Multiplikationsfaktor β sowohl die Einbaudicke der Schutzschicht als auch die Dicke der vorhandenen Dichtungsschicht berücksichtigt, während der Multiplikationsfaktor γ von der Regeleinbaudicke der Deckschicht von 3,5 cm ausgeht und nur die Dicke der Dichtungsschicht und der Schutzschicht berücksichtigt.

Bild 4: Multiplikationsfaktor β [4]Bild 5: Multiplikationsfaktor γ [5]

Bei üblichen Schichtdicken zwischen 2 cm und 4 cm ergeben sich erwartungsgemäß beim Einbau der Schutzschicht höhere Temperaturen an der Unterseite des Deckblechs als beim Einbau der Deckschicht. Der Grund dafür ist die isolierende Wirkung der Schutzschicht, was sich auch bei den Multiplikationsfaktoren widerspiegelt ($\beta > \gamma$).

Beim Einbau einer Schutzschicht aus temperaturreduziertem Gussasphalt mit 220 °C Einbautemperatur mit einer Einbaudicke von 3 cm, einer Ausgangstemperatur von 15 °C und einer 5 mm dicken Dichtungsschicht liegt die rechnerische Wärmebelastung des Deckblechs unter 95 °C.

In der Praxis können aufgrund von anderen Randbedingungen, wie z. B. Wind oder größeren Deckblechdicken, auch deutlich niedrigere Werte auftreten. Einen sehr großen Einfluss auf die tatsächlich auftretende Maximaltemperatur haben außerdem die Vorschubgeschwindigkeit der Gussasphaltbohle und die Menge des vor der Gussasphaltbohle vorgelegten Gussasphaltes.

1.4 Walzen der Deckschicht

Wenn – z. B. aus Gründen des Lärmschutzes – die Deckschicht nicht aus Gussasphalt, sondern aus Splittmastixasphalt o. Ä. hergestellt wird, ist eine Verdichtung durch Walzen erforderlich. Ähnlich wie beim Fräsen können hier – durch die eingebrachte Energie in Kombination mit dem Eigengewicht der Maschinen – hohe Beanspruchungen der Brückenkonstruktion auftreten. Die Größe der Beanspruchung hängt sehr stark davon ab, ob das Walzen statisch, oszillierend oder mit Vibration erfolgt.

2 Ziel und Aufgabenstellung

2.1 Ziel

Das Ziel des Forschungsprojekts besteht darin, Grundlagen für anknüpfende Untersuchungen zum Thema „Belagserneuerung auf Stahlbrücken“ zu erarbeiten und darzustellen. Im Mittelpunkt steht dabei die Temperaturbelastung der Stahlkonstruktion infolge des „Einbaus des neuen Fahrbahnbelags“. Die Ergebnisse dienen u. a. der Kalibrierung von FE-Modellen für weiterführende Parameterstudien. Das „Entfernen des alten Fahrbahnbelags“ und das „Walzen“ können im Rahmen des Projekts lediglich oberflächlich betrachtet werden. Gleichwohl sollen neben der Präzisierung des weiteren Forschungsbedarfs auch erste Empfehlungen abgeleitet werden.

2.2 Aufgabenstellung

Verschiedene Erneuerungsmaßnahmen werden fachtechnisch begleitet, um den Prozessablauf zu dokumentieren und um die Temperaturverteilung in der orthotropen Fahrbahnplatte zu ermitteln. Dabei handelt es sich um folgende Bauwerke:

- Rheinbrücke Leverkusen
Einbau einer Deckschicht aus Gussasphalt am 21.05.2016.
- Wiehltalbrücke
Fräsen, Einbau einer Deckschicht aus lärmreduziertem Porous Mastix Asphalt (PMA), Walzen am 17.07.2017.
- Rheinbrücke Duisburg Neuenkamp
Einbau einer Deckschicht aus Gussasphalt am 15.08.2017.
- Hochmoselbrücke
Einbau einer Schutzschicht aus Gussasphalt am 27.06.2019.

3 Rheinbrücke Leverkusen

3.1 Allgemein

Die Rheinbrücke Leverkusen ist eine Autobahnbrücke im Zuge der BAB A 1 im Norden von Köln. Sie wurde 1965 fertiggestellt und für den Verkehr freigegeben. Es handelt sich um eine 688 m lange zweihüftige Schrägseilbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte. Der 37,6 m breite Überbau besteht aus einem rechteckigen zweigeteilten Hohlkasten und beidseitig mit Schrägstreben abgestützten Kragarmen. Die Aussteifung des Hohlkastens erfolgt durch Fachwerkstäbe, die etwa alle 13 m angeordnet sind. Der Querträgerabstand beträgt etwa 2,5 m, die Dicke des Deckblechs 12 mm, die Längsrippen sind als Sektkelchprofil ausgeführt. Der Querträgersteg weist eine Höhe von 0,5 m und Dicke von

10 mm bis 12 mm auf, der Querträgeruntergurt eine Breite von 0,15 m und eine Dicke von 10 mm.

Im Frühjahr/Sommer 2016 wurde in beiden Richtungsfahrbahnen die Deckschicht erneuert. Diese Maßnahmen hat die BAST fachtechnisch begleitet und u. a. am 20.05.2016 Temperaturmessungen durchgeführt (Fahrtrichtung Köln). Im Zusammenhang mit dieser Maßnahme wurde auch eine Bachelorarbeit erstellt [6].

3.2 Fräsen

Planmäßig sollten die 30 mm dicke Deckschicht sowie 10 mm der Schutzschicht abgefräst werden, so dass nach dem Fräsen an jeder Stelle mindestens 20 mm der Schutzschicht verblieben wären. Aufgrund von Unebenheiten im Deckblech und stark schwankender Belagsdicken war nach dem Fräsen jedoch an einzelnen Stellen bereits das Deckblech sichtbar.

Während der Fräsarbeiten (zum Einsatz kam eine Großfräse mit einer Arbeitsbreite von mehr als 2 m) wurden extreme und hochfrequente Schwingungen des gesamten Bauwerkes spürbar. Dies hat den Bauherrn veranlasst, bei weiteren Asphaltbaumaßnahmen an dieser Brücke nur noch Fräsen mit einer Arbeitsbreite von 1,00 m bis 1,50 m Arbeitsbreite einzusetzen. Dadurch wurde eine spürbare Reduktion der Schwingungen erreicht, wobei jedoch kein messtechnischer Nachweis vorliegt.

3.3 Einbau der Deckschicht aus Gussasphalt

Der Einbau der Deckschicht am 21.05.2016 erfolgte in einer Breite von 4 m auf dem innen liegenden

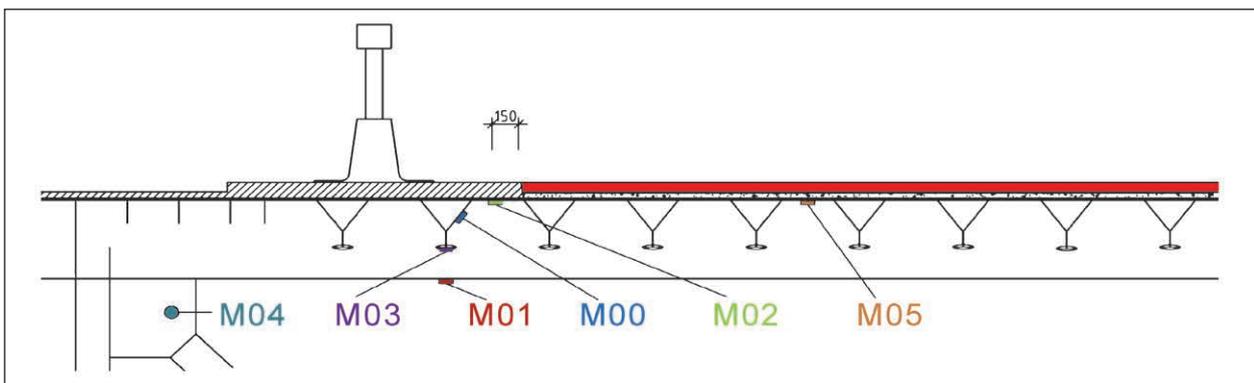


Bild 6: Anordnung der Sensoren bei Querrahmen Nr. 43 (Abstand von Sensor 2 zum Rand des Einbaubereichs: ca. 15 cm)

Fahrstreifen in einem Zeitraum von drei Stunden über eine Länge von knapp 266 m. Daraus ergibt sich eine mittlere Einbaugeschwindigkeit von 1,47 m pro Minute. Die gemessene Einbautemperatur lag bei etwa 230 °C. Die Ausgangstemperatur der Brücke betrug etwa 15 °C (Temperatursensoren M00, M01, M02 und M04 um 8:28 Uhr).

Bei Querrahmen Nr. 43 wurden Temperaturmess-Sensoren angebracht und Temperaturmessungen durchgeführt. Dabei befinden sich vier Sensoren (M00 bis M03) unmittelbar neben dem Einbaubereich, ein Sensor (M04) am Knotenblech in der oberen Rahmenecke und ein Sensor (M05) am Deckblech direkt unter dem Einbaubereich (Bild 6).

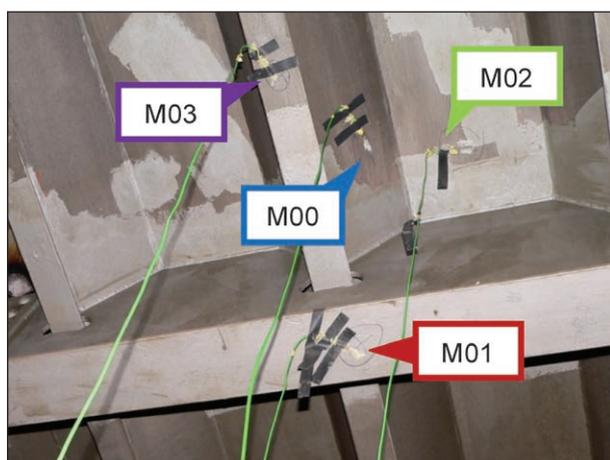


Bild 7: Sensoren M00 bis M03

Die Sensoren unmittelbar neben dem Einbaubereich befinden sich am Deckblech (M02), am Längsrippenuntergurt (M03) an der Schräge der Längsrippen (M00) und am Querträgeruntergurt (M01) (Bild 7).

3.4 Temperaturverteilung

3.4.1 Allgemein

Die aufgezeichneten Temperaturverläufe zeigen während der ersten 12 Stunden einen deutlichen Unterschied zwischen dem Bereich, der unmittelbar durch den Einbau des Gussasphaltes beansprucht wird (M05) und dem Bereich daneben (M00 bis M04). An der Messstelle M02, die am Deckblech etwa 15 cm neben dem Einbaubereich des Gussasphaltes liegt, ist jedoch auch eine geringfügige Temperaturerhöhung aufgrund des Gussasphalteinbaus zu erkennen. Im weiteren Verlauf gleichen sich die Temperaturen an und verhalten sich entsprechend Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung (Bild 8).

Die bei Sensor M05 maximal an der Unterseite des Deckblechs gemessene Temperatur beträgt 64 °C. Aufgrund eines Sensorausfalls konnte die Messung an dieser Stelle erst verspätet gestartet werden. Die Temperaturverläufe der Messstellen M05 und M02 lassen vermuten, dass die tatsächliche Maximaltemperatur geringfügig höher liegt.

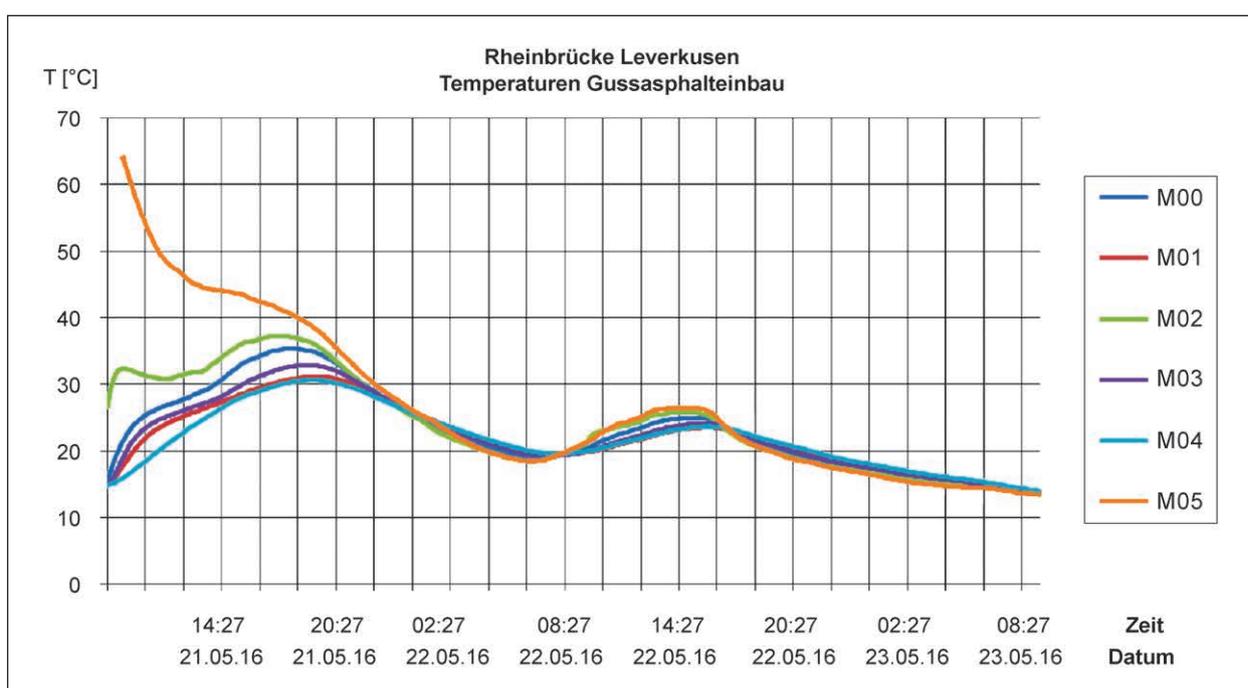


Bild 8: Temperaturverläufe bei allen Messpunkten

3.4.2 Horizontale Temperaturverteilung

Eine Abschätzung der horizontalen Temperaturverteilung erfolgt anhand der mit den Sensoren M02 und M05 erfassten Temperaturverläufe am Deckblech (Bild 9).

Wegen des verspäteten Starts der Messung bei Sensor M05 kann lediglich das Abkühlverhalten beurteilt werden. Die maximal gemessene Temperatur von 64 °C fällt innerhalb von 3,25 Stunden auf 46 °C ab. In den darauf folgenden sechs Stunden sinkt die Temperatur dann auf 40 °C.

Bei Sensor M02, der sich etwa 15 cm neben dem Einbaubereich befindet, steigt die Temperatur innerhalb der ersten 40 Minuten nach Beginn der Messung von 26,6 °C auf 32,3 °C. Anschließend bleibt die Temperatur über mehrere Stunden relativ konstant (die Abkühlung wird durch die Erwärmung der Lufttemperatur bzw. die Sonneneinstrahlung aufgehoben), bevor sie dann infolge der Erwärmung der Lufttemperatur bzw. Sonneneinstrahlung weiter ansteigt.

Die größte Temperaturdifferenz zwischen den beiden Sensoren ergibt sich 45 Minuten nach Beginn der Messung und beträgt um 09:13 Uhr 31,7 °C. Vermutlich werden kurz vorher noch etwas höhere Werte erreicht (vor Beginn der Aufzeichnung der Daten von Sensor M05).

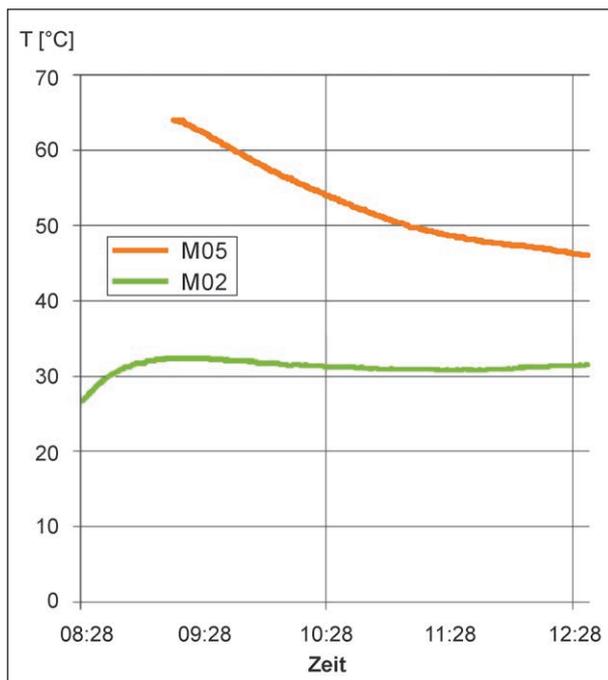


Bild 9: Temperaturverläufe M02 und M05 21.05.2016

3.4.3 Vertikale Temperaturverteilung

Aufgrund der geringen Anzahl an Messpunkten ist die Aussagekraft beschränkt. Zudem liegen die Messpunkte nicht in dem Bereich, in dem die orthotrope Fahrbahnplatte direkt durch den Gussasphalteinbau beansprucht wird.

Die Temperaturen an Längsrippenuntergurt (M03), Längsrippensteg (M00) und Querträgeruntergurt (M01) verlaufen sehr ähnlich. Die Kurven steigen ausgehend von einer Bauwerkstemperatur von 15 °C zu Beginn deutlich und flachen dann etwas ab. Infolge der Erwärmung der Lufttemperatur bzw. Sonneneinstrahlung nehmen die Temperaturen weiter zu.

Die Temperaturunterschiede betragen innerhalb der ersten Stunden nie mehr als 4 °C. Die Abstufung entspricht dem Abstand zur Wärmequelle auf dem Deckblech (Bild 10). Die Temperatur an der Schräge der Längsrippe (M00) ist höher als die am Längsrippenuntergurt (M03) und diese ist wiederum höher als die am Querträgeruntergurt (M01).

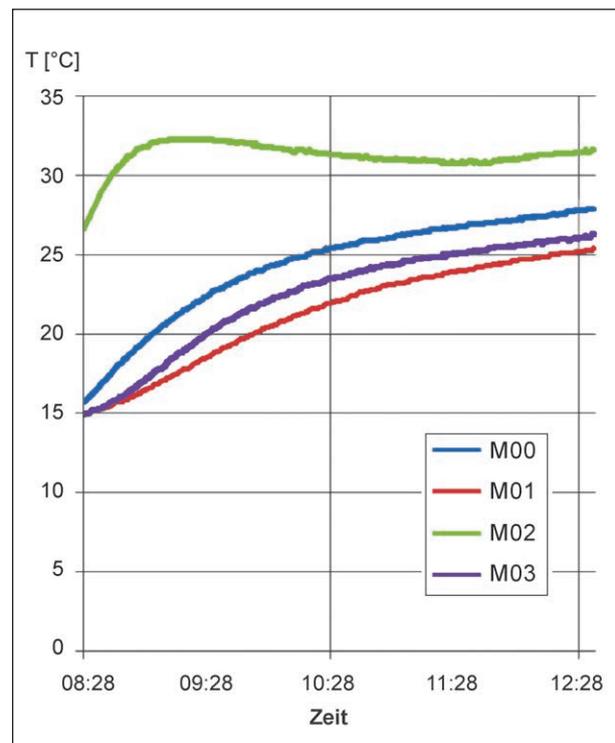


Bild 10: Temperaturverläufe M00 bis M03 am 21.05.2016

4 Wiehltalbrücke

4.1 Allgemein

Die Wiehltalbrücke ist eine Autobahnbrücke im Zuge der BAB A 4 zwischen Köln und Olpe über das Wiehltal bei Gummersbach. Sie wurde 1971 fertiggestellt und für den Verkehr freigegeben. Es handelt sich um eine 705 m lange Balkenbrücke als Durchlaufträger über 8 Felder auf Betonstützenpaaren mit Feldweiten von 65 m bis 100 m. Der 30,25 m breite offene Querschnitt der Brücke besteht aus zwei Hauptträgern mit orthotroper Fahrbahnplatte. Die Querträgerabmessungen am Messort (Querträger 172) lassen sich aus den zur Verfügung stehenden Unterlagen nicht exakt ermitteln. Es geht daraus hervor, dass Querträger mit unterschiedlichen Abmessungen eingebaut wurden. Wahrscheinlich weist der Querträgersteg eine Höhe von 1,0 m und eine Dicke von 15 mm auf, der Querträgeruntergurt eine Breite von 0,35 m und eine Dicke von 12 mm (die Maße gelten für den Querträger Nr. 172).

Im Sommer 2017 wurde in beiden Richtungsfahrbahnen die Deckschicht erneuert. Da es sich um eine im Grundriss gekrümmte Brücke auf hohen Pfeilern mit besonderen Lagerungsbedingungen handelt, sind bei diesem Bauwerk auch während des Asphalteinbaus symmetrische Lagerwege erforderlich. Aus diesem Grund erfolgte der Einbau des Asphalts auf beiden Richtungsfahrbahnen parallel (Bild 12). Diese Maßnahmen hat die BAST

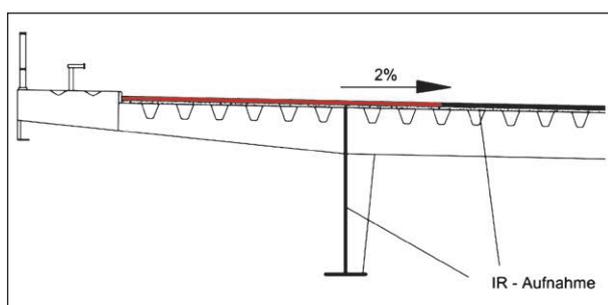


Bild 11: Querschnitt der Wiehltalbrücke, Ausschnitt

fachtechnisch begleitet und u. a. am 17.07.2017 Temperaturmessungen mit einer Infrarot-Kamera durchgeführt (Fahrtrichtung Köln).

4.2 Fräsen

Für die Fräsarbeiten wurde eine Fräse mit einer Fräsbreite von etwa 2 m, einer Frästiefe von 4 cm und einer Fräsgeschwindigkeit von 7 m/min. eingesetzt (Bild 13). Während des Fräsens waren starke Vibrationen der Stahlkonstruktion spürbar. Diese Thematik wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes jedoch nicht genauer untersucht, hierzu wären gesonderte Untersuchungen sinnvoll.

4.3 Einbau der Deckschicht aus Porous Mastix Asphalt (PMA)

Aus lärmschutz-technischen Gründen kam ein Porous Mastix Asphalt (PMA) zum Einsatz.

Der Einbau der Deckschicht erfolgt über die komplette Länge von 705 m. Die Einbautemperatur lag zwischen 180 °C und 200 °C. Die Ausgangstemperatur der Brücke (Deckblech) lag bei etwa 30 °C.

Im Bereich von Querrahmen Nr. 172 wurden Infrarot-Aufnahmen direkt unter dem Einbaubereich durchgeführt. Die Kameraposition wurde so ge-



Bild 13: Fräsarbeiten

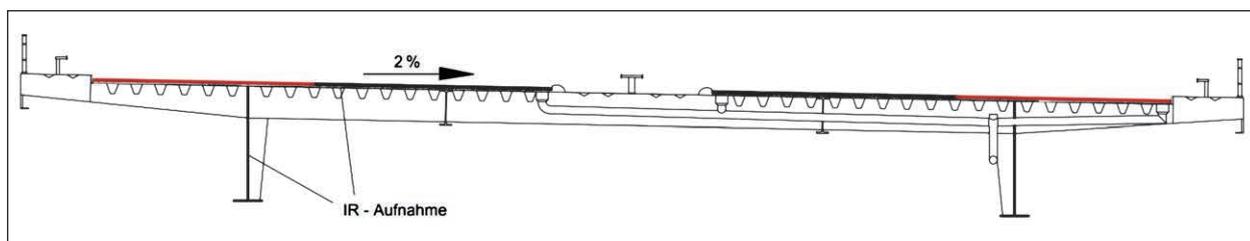


Bild 12: Querschnitt der Wiehltalbrücke, Übersicht (Richtung Olpe)

wählt, dass sowohl die Temperaturentwicklung an der Unterseite der orthotropen Fahrbahntafel incl. der Längssteifen, als auch die Temperaturentwicklung in der Rahmenecke zwischen Haupt- und Querträger dargestellt wird (Bild 12).

4.4 Temperaturverteilung

Anhand der Infrarotbilder (Bilder 14 bis 21) lässt sich erkennen, dass die Temperaturerhöhung insbesondere im Deckblech erfolgt und bei den Längs-



Bild 14: Einbau der Deckschicht 20:15 Uhr: Fertiger vor dem Messfeld (links); Messfeld von unten bei QT Nr. 172 (rechts)



Bild 15: Einbau der Deckschicht 20:18 Uhr: Der Fertiger befindet sich auf dem Messfeld (links); IR-Aufnahme von unten (rechts)



Bild 16: Einbau der Deckschicht 20:30 Uhr: Der Fertiger hat das Messfeld verlassen (links); IR-Aufnahme von unten (rechts)

rippen, Querträgern und am Hauptträger deutlich geringer ausfällt.

Die Deckblechtemperatur steigt in den ersten 40 Minuten nach dem Einbau von 31 °C auf 61 °C. In

der darauf folgenden halben Stunde ist noch ein leichter Anstieg bis auf maximal 64,5 °C zu verzeichnen, bevor das Deckblech dann langsam abkühlt (Bild 22).



Bild 17: Einbau der Deckschicht 20:45 Uhr: IR-Aufnahme

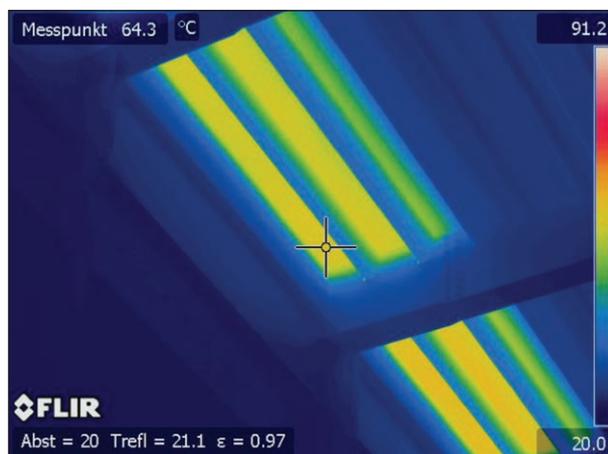


Bild 20: Einbau der Deckschicht 21:30 Uhr: IR-Aufnahme

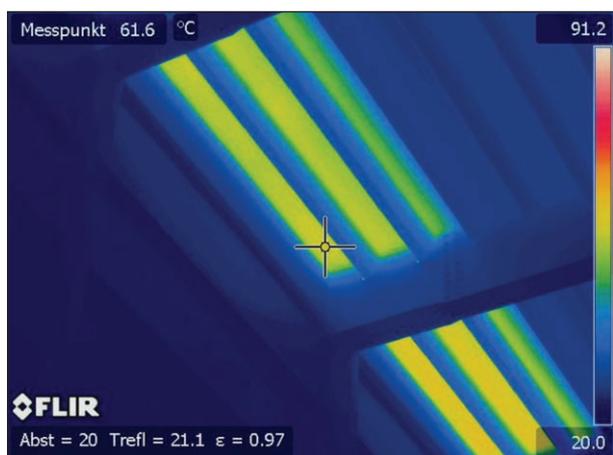


Bild 18: Einbau der Deckschicht 21:00 Uhr: IR-Aufnahme

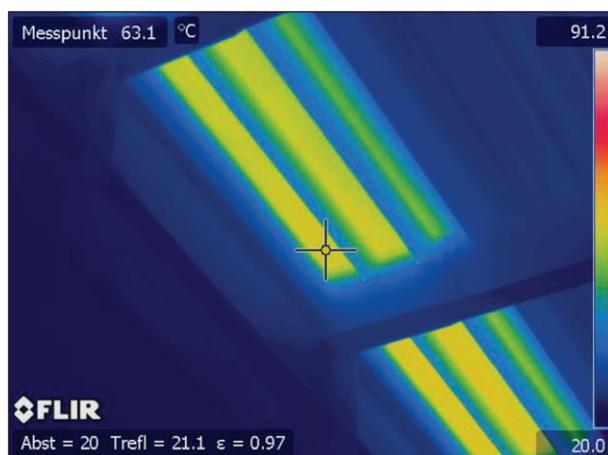


Bild 21: Einbau der Deckschicht 21:45 Uhr: IR-Aufnahme

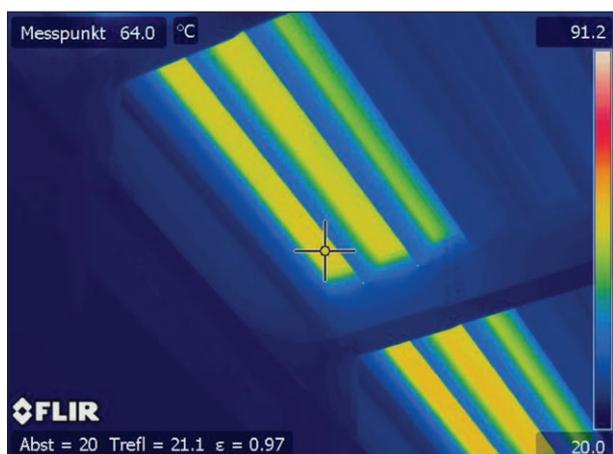


Bild 19: Einbau der Deckschicht 21:15 Uhr: IR-Aufnahme

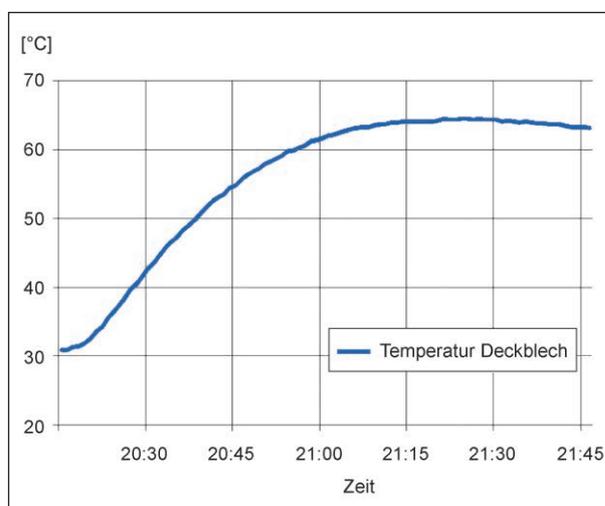


Bild 22: Deckschichteinbau: Temperaturgradient aus IR-Bildern

Bei Bedarf können weitere Temperaturgradienten aus den digital vorliegenden IR-Bildern abgeleitet werden. Es liegen 208 Aufnahmen aus dem Zeitraum zwischen 20:03 Uhr und 21:46 Uhr vor (2 Aufnahmen pro Minute).

4.5 Walzen der Deckschicht

Der lärmreduzierte Porous Mastix Asphalt (PMA) wurde nach dem Einbau per Walze geglättet. Diese Thematik wird hier jedoch nicht weiter verfolgt und bedarf gesonderter Untersuchung.

5 Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp

5.1 Allgemein

Die Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp ist eine Autobahnbrücke im Zuge der BAB A 40 über den Rhein und verbindet das Ruhrgebiet mit dem linken Niederrhein. Sie wurde 1970 fertiggestellt und für den Verkehr freigegeben. Ihre Gesamtlänge beträgt 777,40 m bei einer maximalen Spannweite von 350 m. Konstruiert ist das Bauwerk als zweihöfliche Mittelträger-Schrägseilbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte und zwei begehbaren 50 Meter hohen Stahlpylonen in der Fahrbahnmitte. Die Schrägseile sind in zwölf Seilgruppen zu je neun Seilen aufgeteilt. Der 36,30 m breite Querschnitt der Brücke besteht aus einem zweizelligen Stahlhohlkasten und weit auskragenden Fahrbahnplatten, die durch Schrägstreben abgestützt werden. Der Querträgerabstand beträgt etwa 2,5 m, die Dicke des Deckblechs 12 mm, und die Längsrippen sind als Sektelchprofil ausgeführt. Der Querträgersteg hat eine Höhe von 0,677 m und eine Dicke von 8 mm, der Querträgeruntergurt eine Breite von etwa 0,15 m und eine Dicke von 12 mm.

Wegen der Zunahme des Verkehrs wurde die Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp bereits Anfang der 1970er Jahre ohne bauliche Maßnahmen auf sechs Fahrstreifen erweitert, indem der Seitenstreifen zum Fahrstreifen umgewandelt wurde. Die gegenüber den ursprünglichen Annahmen überproportional gestiegene Verkehrsbelastung führte zu so umfangreichen Ermüdungsschäden in der Stahlkonstruktion, dass ein Ersatzneubau zwingend erforderlich ist [7]. Die Fertigstellung soll 2023 (Teil-

ausbau) bzw. 2026 (Vollausbau) erfolgen. Um den Betrieb bis dahin aufrecht erhalten zu können, ist die Brücke seit 2014 wieder auf vier Fahrstreifen beschränkt.

Im Sommer 2017 wurde in beiden Richtungsfahrbahnen jeweils die Deckschicht im Bereich der Lkw-Fahrstreifen erneuert. Dabei hat die BAST am 15.08.2017 Temperaturmessungen sowohl im Hohlkasten als auch im Kragarmbereich durchgeführt (Fahrtrichtung Venlo). Im Zusammenhang mit dieser Maßnahme wurde auch eine Bachelorarbeit erstellt [8].

5.2 Fräsen

Die Fräsarbeiten wurden streifenweise mit einer Gesamtbreite von etwa 4,17 m und einer Tiefe von 3 bis 4 cm durchgeführt. Die stichprobenweisen Messungen der Restschichtdicke ergaben Werte zwischen 32 mm und 44 mm. Das Deckblech wurde an keiner Stelle durch die Fräsarbeiten beschädigt.

5.3 Einbau der Deckschicht aus Gussasphalt

Der Einbau der Deckschicht erfolgte in einem Zeitraum von 6 Stunden mit einer Breite von 4,17 m über die komplette Länge von 777 m. Daraus ergibt sich eine mittlere Einbaugeschwindigkeit von 2,16 m pro Minute. Die Messung der Einbautemperatur ergab Werte von 190 °C bis 206 °C. Die Ausgangstemperatur der Brücke lag bei etwa 19 °C.

Bei Querrahmen Nr. 66 wurden Sensoren angebracht (Bilder 23 und 24) und Temperaturmessungen sowohl direkt unter als auch neben dem Einbaubereich durchgeführt. Die Sensoren M10 und M18 hatten sich gelöst und sind daher für die Auswertung nicht weiter relevant. Gleichzeitig erfolgten Infrarot-Aufnahmen von diesem Bereich (Bilder 26 bis 33).

5.4 Temperaturverteilung

5.4.1 Allgemein

Die aufgezeichneten Temperaturverläufe zeigen zunächst einen deutlichen Anstieg, der im weiteren

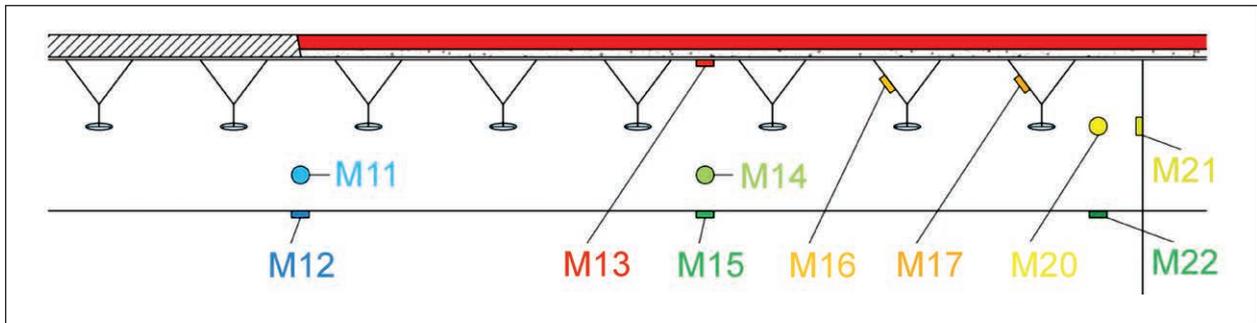


Bild 23: Position der Sensoren und der Gussasphalt Deckschicht

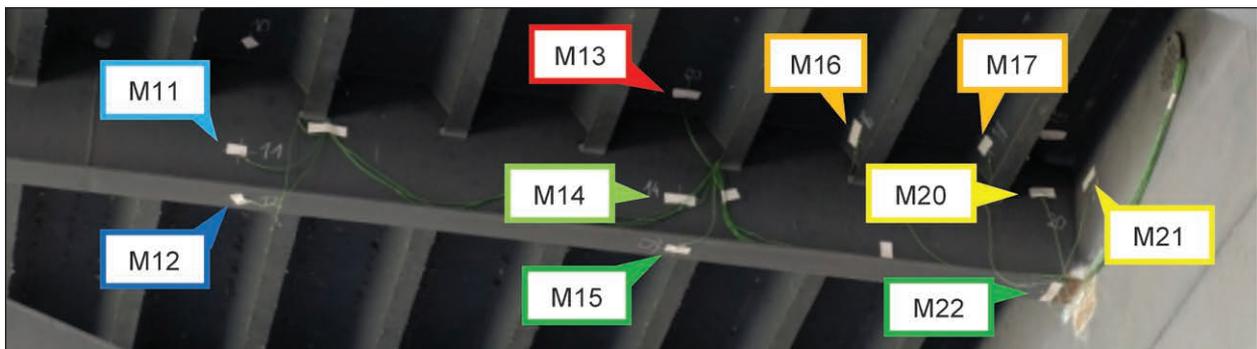


Bild 24: Position der Sensoren

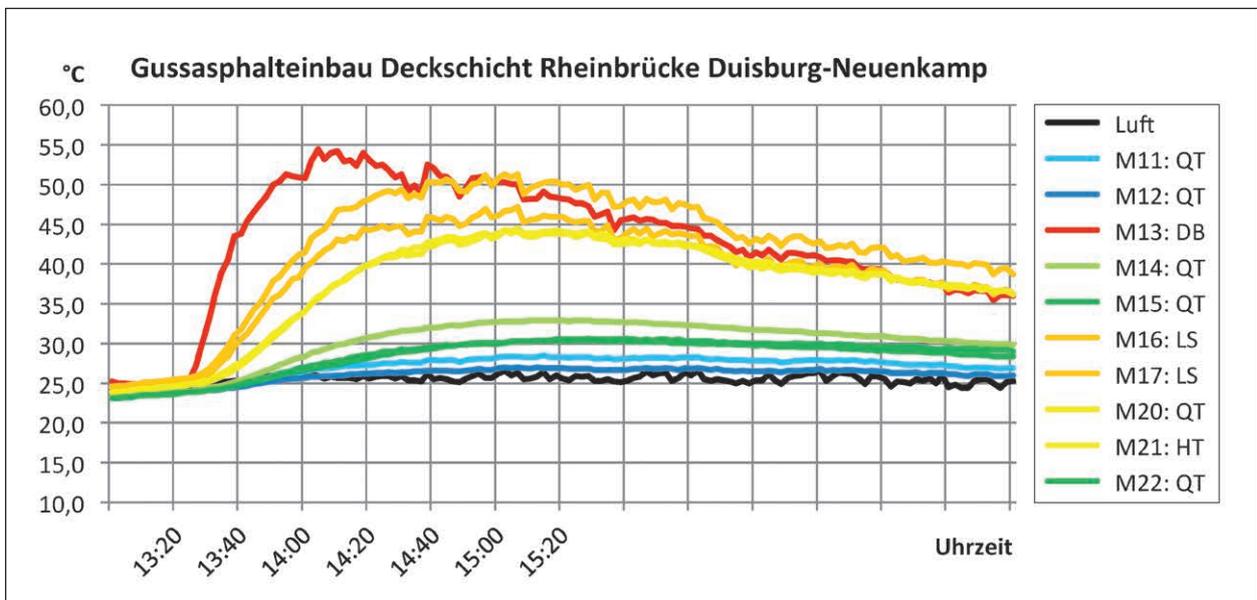


Bild 25: Temperaturverläufe basierend auf den Daten der Sensormessung

Verlauf abflacht. Nach Überschreiten des Scheitelpunkts folgt ein vergleichsweise langsamer Temperaturrückgang (Bild 25). Quantitativ unterscheiden sich diese Verläufe in Abhängigkeit von der jeweiligen Sensorposition. Je geringer der Abstand zur Wärmequelle desto steiler und höher verlaufen die Temperaturkurven.

Die Deckblechtemperatur steigt in den ersten 20 Minuten von 25 °C auf 46 °C. In den folgenden 20 Minuten ist ein weiterer Anstieg bis auf knapp 55 °C zu verzeichnen, bevor das Deckblech dann langsam abkühlt. Bei den Infrarot-Aufnahmen liegt die maximal aufgezeichnete Temperatur bei 56,6 °C um 14:20 Uhr (Bild 30).

5.4.2 Vertikale Temperaturverteilung

Die Bewertung der vertikalen Temperaturverteilung erfolgt anhand der mit den Sensoren erfassten Temperaturverläufe (Bild 25). Infolge des Gussasphalteinbaus erwärmen sich neben dem Deckblech (M13) auch die Längsrippen (M16, M17), der Quer-

trägersteg (M14, M20) und -untergurt (M15) sowie der Hauptträgersteg (M21). Je geringer der Abstand zur Wärmequelle desto steiler und höher verlaufen die Temperaturkurven.

Aufgrund von deutlichen Schwankungen im Temperaturverlauf ist eine exakte zeitliche Zuordnung

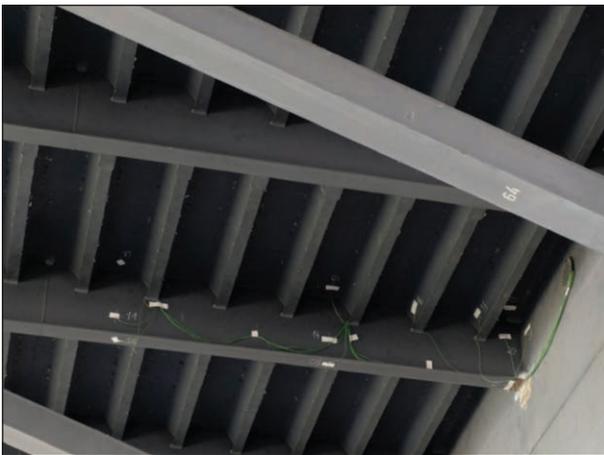


Bild 26: Messfeld von unten bei QT Nr. 66



Bild 29: Einbau der Deckschicht 14:00 Uhr: IR-Aufnahme



Bild 27: Einbau der Deckschicht 13:20 Uhr: IR-Aufnahme



Bild 30: Einbau der Deckschicht 14:20 Uhr: IR-Aufnahme



Bild 28: Einbau der Deckschicht 13:40 Uhr: IR-Aufnahme

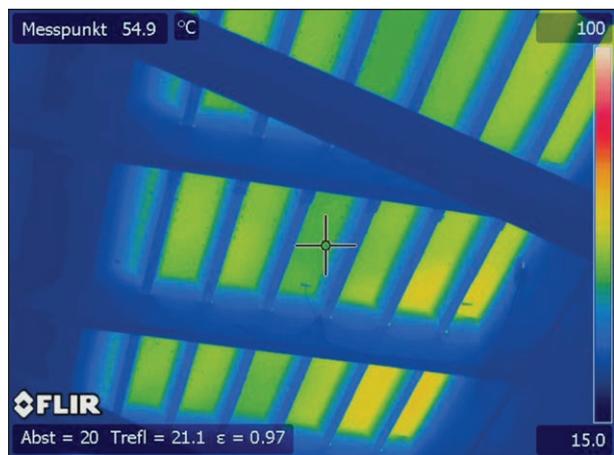


Bild 31: Einbau der Deckschicht 14:40 Uhr: IR-Aufnahme

der jeweils maximal erreichten Temperaturen nicht möglich. Daher werden alternativ die Zeiträume betrachtet, in denen die Temperaturen weniger als ein Grad unter dem jeweiligen Maximalwert liegen (Tabelle 2). Die daraus generierten Mittelwerte zeigen, dass die Temperaturentwicklung dem Abstand zur Wärmequelle auf dem Deckblech entspricht. Der zeitliche Versatz der Mittelwerte zwischen Deckblech (M13) und Längssteifen (M16, M17) beträgt eine knappe Stunde, der zwischen Längssteifen und Querträgersteg (M20) bzw. Hauptträgersteg (M21) eine knappe Viertelstunde. Darauf folgen im Abstand von 10 Minuten bis 30 Minuten die Mittelwerte für die weiter unten am Querträger angeordneten Sensoren (M14, M15 und M22).

Der maximale Temperaturunterschied zwischen dem Deckblech und den direkt anschließenden Blechen (Längssteifen M16, M17, Querträgersteg M20, Hauptträgersteg M21) beträgt knapp 20 °C (Bild 34). Dabei ist der Temperaturunterschied ge-

genüber dem Querträger- bzw. Hauptträgersteg größer als der Temperaturunterschied gegenüber den Schrägblechen der Trapezsteifen.

Dieses Verhalten liegt sowohl an den unterschiedlichen Sensorabständen (M16 und M17 sind näher am Deckblech als M20 und M21) als auch an dem stärkeren Wärmeabfluss über die Stege.

Auffällig ist der Unterschied zwischen den jeweils an den Schrägblechen der Längssteifen M16 und M17 gemessenen Temperaturen von bis zu über 4 °C. Ab 15:00 Uhr unterschreitet die Deckblechtemperatur (M13) die Temperatur an den Schrägblechen der Längssteife M17 (aber nicht die an den Schrägblechen der Längssteife M16). Dieses Verhalten lässt sich anhand der Infrarot-Bilder 29 bis 33 nachvollziehen. Hier ist erkennbar, dass das Deckblech im Bereich von Sensor M17 eine höhere Temperatur aufweist als im Bereich der Sensoren M16 und M13.

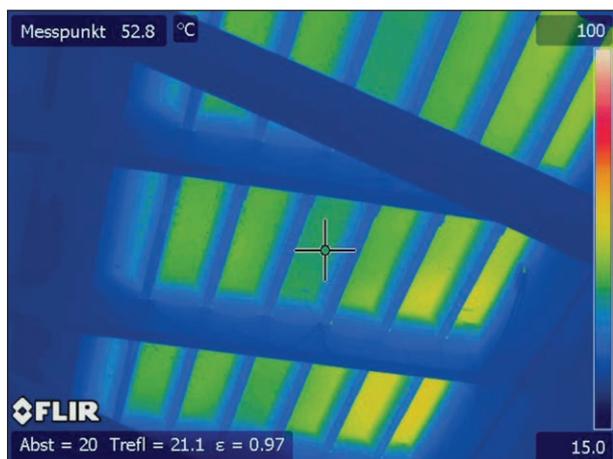


Bild 32: Einbau der Deckschicht 15:00 Uhr: IR-Aufnahme

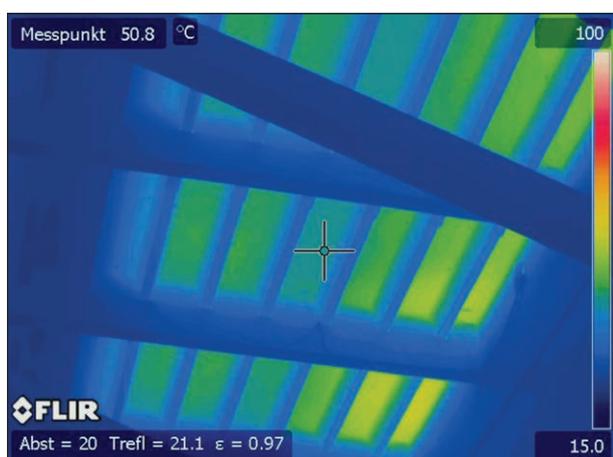


Bild 33: Einbau der Deckschicht 15:20 Uhr: IR-Aufnahme

Sensor	T_{\max} [°C]	Zeitraum	Mittel
M13	54,5	14:04 h – 14:18 h	14:11 h
M17	51,3	14:56 h – 15:06 h	15:02 h
M16	47,2	14:56 h – 15:06 h	15:02 h
M21	44,5	14:54 h – 15:34 h	15:14 h
M22	44,2	14:56 h – 15:30 h	15:17 h
M14	32,9	14:38 h – 16:12 h	15:25 h
M22	30,6	14:42 h – 17:10 h	15:56 h
M15	30,4	14:38 h – 16:32 h	15:35 h

Tab. 2: Zeiträume, in dem die gemessenen Temperaturen weniger als 1 °C unter der Maximaltemperatur T_{\max} liegen (geordnet nach abnehmender Maximaltemperatur T_{\max})

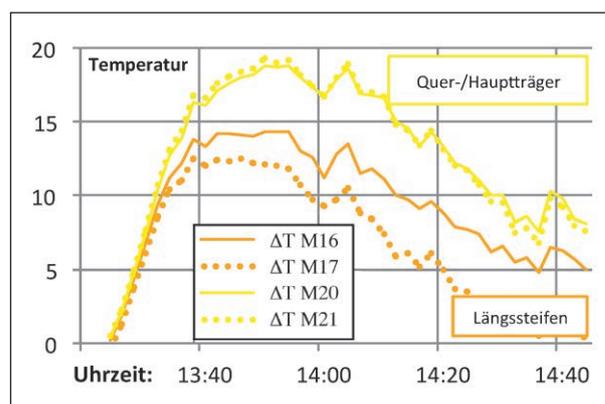


Bild 34: Verlauf der Temperaturdifferenzen zwischen dem Quer-/Hauptträgersteg bzw. den Längssteifen und dem Deckblech (Sensor M13)

6 Hochmoselbrücke

6.1 Allgemein

Die Hochmoselbrücke führt die Bundesstraße B 50 über das Moseltal (Bild 35). Es handelt sich um eine 1702 m lange Balkenbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte als Durchlaufträger auf 10 Stahlbetonpfeilern mit einer Höhe von bis zu 150 m.

Der 29,0 m breite Überbau besteht aus einem rechteckigen Hohlkasten und beidseitig mit Schrägstreben abgestützten Kragarmen. Die Aussteifung des Hohlkastens erfolgt durch Fachwerkstäbe, die an



Bild 35: Hochmoselbrücke



Bild 36: Einbau Gussasphalt-Schutzschicht am 28.06.2019



Bild 37: Einbau Gussasphalt-Schutzschicht am 28.06.2019

jedem dritten Querträger angeordnet sind. Der Querträgerabstand beträgt 4,365 m, die Dicke des Deckblechs 14 mm und die Blechdicke der als Trapezprofil ausgebildeten Längssteifen 6 mm. Der Querträgersteg weist eine Höhe von 0,912 m und eine Dicke von 30 mm auf, der Querträgeruntergurt eine Breite von 0,35 m und eine Dicke von 24 mm.

Im Sommer 2019 wurde der komplette Fahrbahnbelag eingebaut (Bilder 36 und 37). Dabei hat die BAST am 28.06.2019 beim Einbau der Schutzschicht Temperaturmessungen im Hohlkasten durchgeführt bzw. veranlasst.

6.2 Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt

Der Einbau der Schutzschicht erfolgte über mehrere Tage im Sommer 2019. Je Richtungsfahrbahn wurde der Gussasphalt in zwei Streifen mit einer Breite von jeweils 6 m eingebaut. Die Einbaugeschwindigkeit lag im Bereich der Temperaturmessungen bei etwa 1,5 m pro Minute. Die Messung der Einbautemperatur des Asphaltmischguts ergab Werte zwischen 205 °C und 210 °C. Die Ausgangstemperatur der Brücke lag bei etwa 17 °C (Lufttemperatur im Hohlkasten um 07:11 Uhr).

Bei den Querträgern Nr. 5 und Nr. 6 wurden Sensoren angebracht (Bild 38) und Temperaturmessungen direkt unter dem Einbaubereich durchgeführt. Gleichzeitig erfolgten Infrarot-Aufnahmen von diesem Bereich (Bilder 39 bis 44).

6.3 Temperaturverteilung

6.3.1 Allgemein

Die Bewertung der Temperaturverteilung erfolgt anhand der mit den Sensoren erfassten Temperaturverläufe (Bilder 45 und 47). Dabei zeigt sich zunächst ein deutlicher Anstieg, der im weiteren Verlauf immer geringer wird. Nach Überschreiten des Scheitelpunkts folgt ein vergleichsweise langsamer Temperaturrückgang. Quantitativ unterscheiden sich diese Verläufe in Abhängigkeit von der jeweiligen Sensorposition. Je geringer der Abstand zur Wärmequelle desto steiler und höher verlaufen die Temperaturkurven.

Die maximale an der Unterseite des Deckblechs gemessene Temperatur beträgt 88,0 °C.

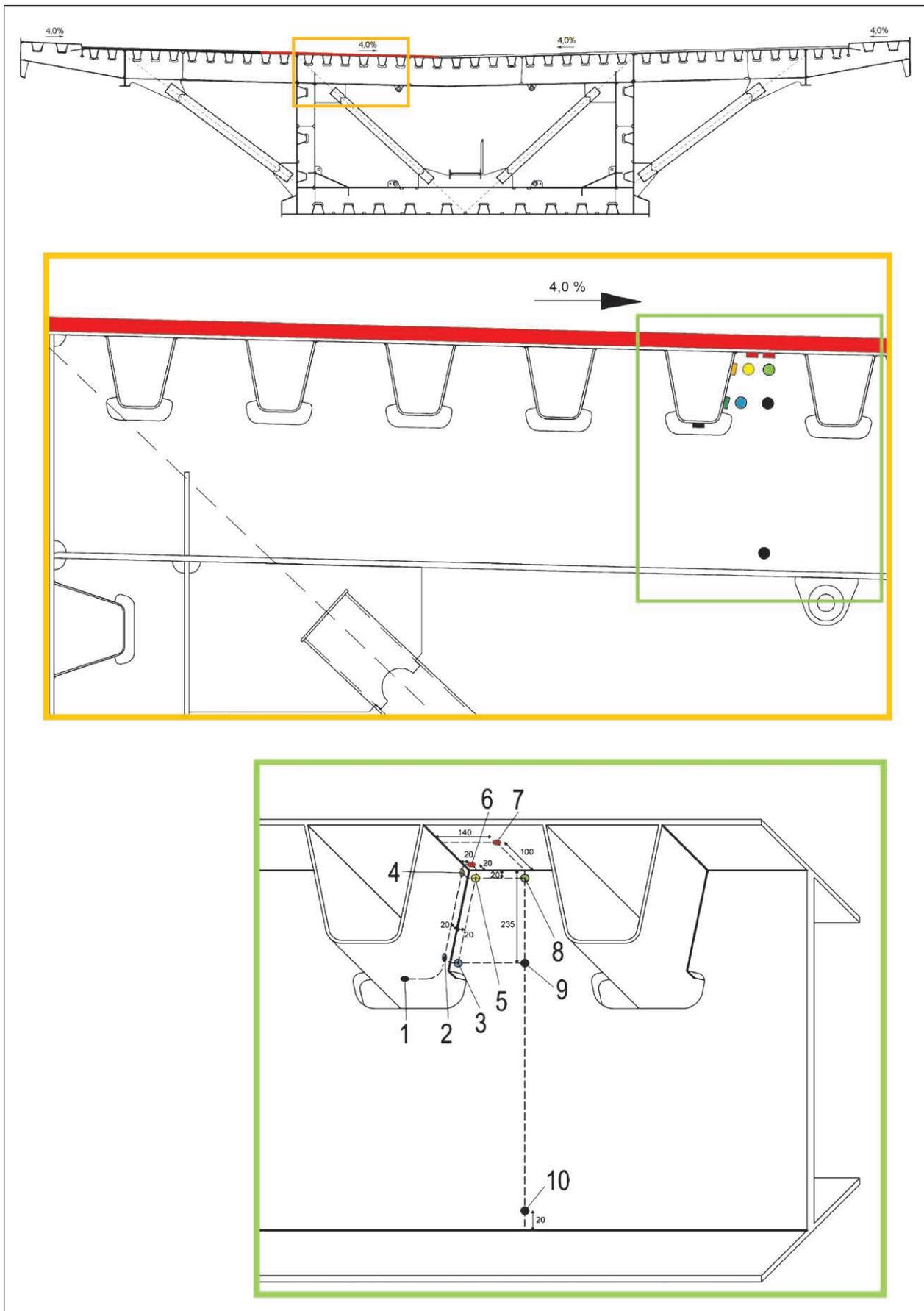


Bild 38: Sensorpositionen Querschnitt QT Nr. 6 (bei QT Nr. 5 entsprechend)



Bild 39: Messfeld von unten bei QT Nr. 6

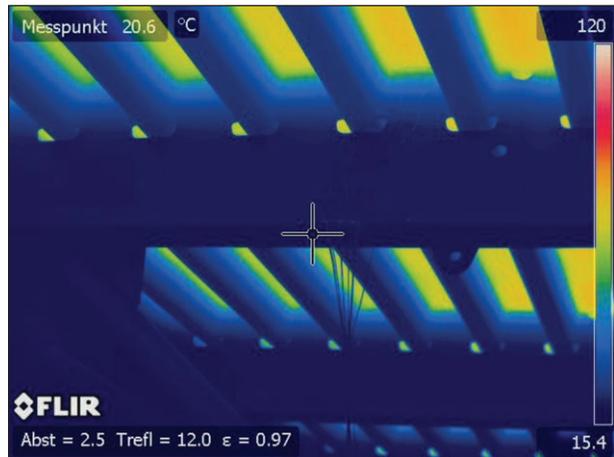


Bild 42: Schutzschichteinbau 07:41 Uhr: IR-Aufnahme



Bild 40: Schutzschichteinbau 07:21 Uhr: IR-Aufnahme

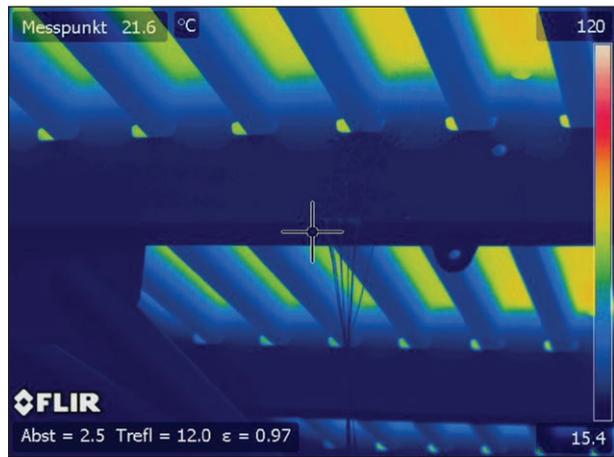


Bild 43: Schutzschichteinbau 07:51 Uhr: IR-Aufnahme



Bild 41: Schutzschichteinbau 07:31 Uhr: IR-Aufnahme



Bild 44: Schutzschichteinbau 08:31 Uhr: IR-Aufnahme

6.3.2 Vertikale Temperaturverteilung

Infolge des Gussasphalteinbaus erwärmen sich neben dem Deckblech auch die Längssteifen sowie der Querträgersteg und -untergurt.

Abgesehen von dem zeitlichen Versatz von knapp 5 Minuten verhalten sich die Temperaturen am Querträger Nr. 5 (Bild 45) und am Querträger Nr. 6 (Bild 46) sehr ähnlich, wobei die Maximalwerte bei Querträger Nr. 5 etwas höher liegen. Die Deckblechtemperatur bei den Sensoren 6 und 7 steigt in den ersten 10 Minuten auf über 70 °C an. In den folgenden 20 Minuten ist noch ein leichter Anstieg bis auf 75 °C (bei Sensor 6 am Querträger 6) und bis auf 88 °C (bei Sensor 7 am Querträger 5) zu verzeichnen, bevor das Deckblech dann langsam ab-

kühlt. Die gemessenen Maximalwerte liegen bei Sensor 7 um etwa 10 °C höher als bei Sensor 6, der jeweils unmittelbar neben dem Stoß von Hauptträgersteg und Querträgersteg positioniert ist.

Die maximalen Temperaturen bei den deckblechnahen Sensoren 4, 5 und 8 an Haupt- und Querträgersteg werden in einem Zeitraum von 10 Minuten bis 18 Minuten nach den maximalen Deckblechtemperaturen erreicht. Die Temperaturen liegen hier zwischen 61 °C (bei Sensor 8 am Querträger 6) und 70 °C (bei Sensor 4 am Querträger 5). Die Temperatur an der Schräge der Trapezsteife (Sensor 4) ist dabei höher als die Temperaturen am Querträgersteg (Sensoren 5 und 8). Der maximale Temperaturunterschied zwischen dem Deckblech (Sensor 6) und

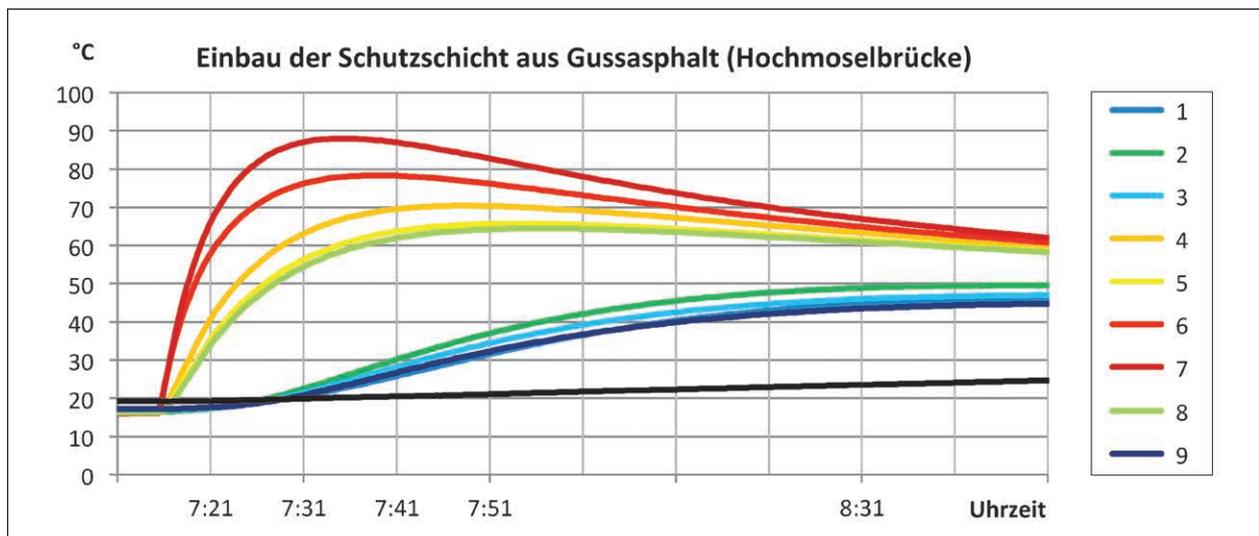


Bild 45: Temperaturverlauf QT Nr. 5

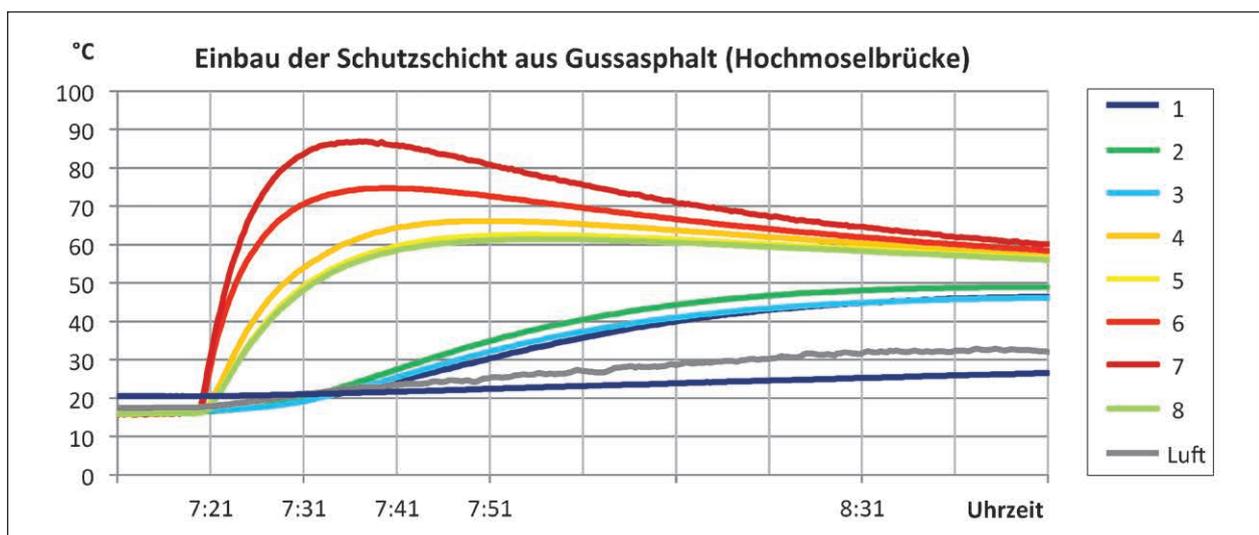


Bild 46: Temperaturverlauf QT Nr. 6

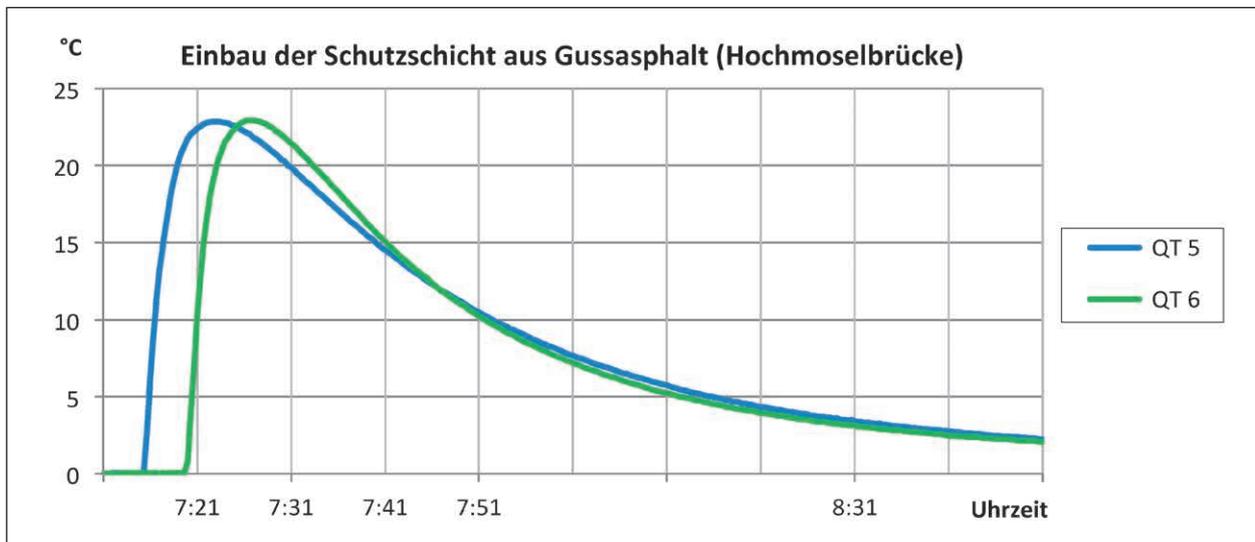


Bild 47: Verlauf der Temperaturdifferenzen zwischen Deckblech (Sensor M6) und Querträger (Sensor M5)

und dem Querträgersteg (Sensor 5) beträgt etwa 23 °C (Bild 47).

Bei den weiter unten positionierten Sensoren 2, 3 und 9 werden die maximalen Temperaturen von bis zu 50 °C erst über eine Stunde später erreicht.

7 Empfehlungen

7.1 Allgemein

Aus den ermittelten Ergebnissen lassen sich erste Empfehlungen für zukünftige Baumaßnahmen ableiten. Gleichzeitig wird deutlich, dass noch umfangreicher Forschungsbedarf besteht.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, die Erneuerung des Fahrbahnbelags auf Stahlbrücken mit einer statisch-konstruktiven Prüfung der Gegebenheiten zu verknüpfen. Diese könnte zum Beispiel eine Überprüfung der Deckblechstöße im Hinblick auf hervorstehende Verbindungsmittel (z. B. Nietköpfe) beinhalten oder eine Überprüfung der Lagerung incl. tolerierbarer Lagerwege.

7.2 Entfernen des alten Belags

Die spürbar starken Vibrationen sind ein Indiz für die Beanspruchung der Stahlkonstruktion während der Fräsarbeiten. Den Autoren sind keine Untersu-

chungen bekannt, die im Zusammenhang mit einer Quantifizierung dieser Beanspruchungen stehen.

Unabhängig davon wird seitens der Straßenbauverwaltungen der Länder immer wieder über Deckblechriefen durch Fräsarbeiten berichtet. Es ist sicherzustellen, dass nach dem Entfernen der Schutzschicht eine gezielte Untersuchung des Deckblechs auf Riefen erfolgt. Für den Fall, dass Deckblechriefen identifiziert werden, sind entsprechende Reparaturmaßnahmen vorzusehen [9]. Grundsätzlich gilt es, die Entstehung von Riefen von vornherein möglichst auszuschließen (z. B. durch entsprechend engmaschige Schichtdickenmessungen im Vorfeld).

Im Rahmen weitergehender Forschung sollte sich der Fokus primär auf Möglichkeiten richten, die Beanspruchungen des Bauwerks durch das Fräsen zu minimieren. Darüber hinaus wäre auch eine Betrachtung möglicher Alternativen wünschenswert. Folgende Themen sind daher von besonderem Interesse:

- Zusammenstellung von Stahlbrücken mit Deckblechriefen infolge von Fräsarbeiten.
- Parameterstudie zur Beurteilung der Ermüdungsbeanspruchung bei Fräsarbeiten.
- Gegenüberstellung unterschiedlicher Möglichkeiten zum Entfernen des alten Fahrbahnbelags (in Japan wird z. B. ein Induktionsgerät zur Erwärmung des Deckblechs eingesetzt, um den Asphalt besser lösen zu können).

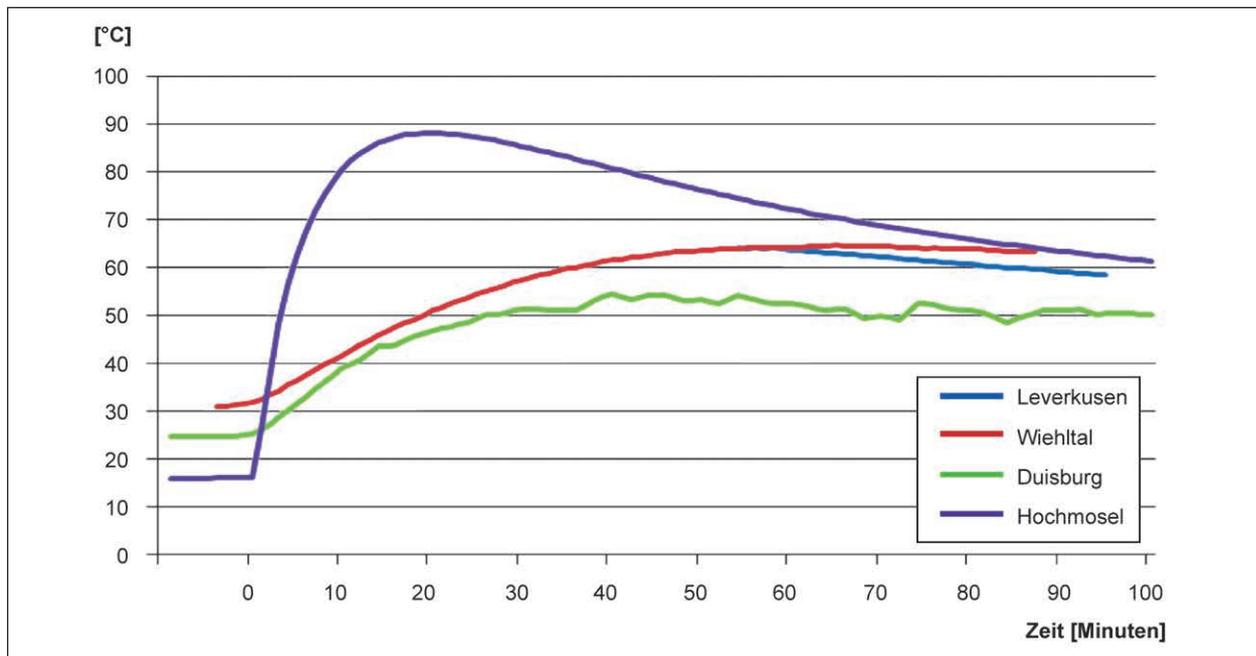


Bild 48: Deckblechtemperaturen im Vergleich

7.3 Einbau des neuen Belags

Die Stahlkonstruktion wird sowohl durch die lokalen Temperaturdifferenzen als auch durch die eingesetzten Baumaschinen beansprucht. Dabei sind die Beanspruchungen beim Einbau der Schutzschicht größer als beim Einbau der Deckschicht. Dies wird auch beim Vergleich der maximalen Deckblechtemperaturen der durchgeführten Messungen deutlich (Bild 48). Die maximale Deckblechtemperatur beim Einbau der Schutzschicht auf der Hochmoselbrücke liegt deutlich über den maximalen Deckblechtemperaturen beim Einbau der Deckschichten auf den anderen drei Brücken.

Die folgenden theoretisch zu empfehlenden Maßnahmen auf der Baustelle zielen darauf ab, den Temperatureintrag und damit die Temperaturunterschiede und die lokalen Beanspruchungen zu minimieren:

- Verwendung von temperaturreduziertem Gussasphalt bei gleichzeitig hoher Bauwerkstemperatur (Sommer).
- Verringerung der Einbaudicke des Gussasphalts der Schutzschicht, d. h. Abstufung der Schichtdicken: Schutzschicht mit 2,5 cm – 3,0 cm und Deckschicht mit 4,0 cm – 4,5 cm (in Abweichung

zu den Festlegungen in den gültigen Regelwerken für Brückenbeläge).

- Minimierung der Menge sowie schnelles Verteilen des vor die Gussasphaltbohle vorgelegten Gussasphalts, hohe Vorschubgeschwindigkeit.
- Bei global symmetrischem Einbau auf ausreichenden lokalen Versatz der beiden Fertiger achten, um die Belastung durch die Einbaugeräte auf unterschiedliche Querträger zu verteilen.

Aufbauend auf den im Rahmen des vorliegenden Projekts gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich insbesondere die folgenden Forschungsthemen:

- Parameterstudie zur Beurteilung der Ermüdungsbeanspruchung beim Einbau des Fahrbahnbelags mit Variation der Temperaturen, der Fertigerbreiten und der Einbaugeschwindigkeit (erfolgt im Rahmen des Ressort-Forschungsprojekts FE 15.0655 „Untersuchungen zum Einbau des Fahrbahnbelags auf Stahl- und Verbundbrücken“).
- Objektstudie: Lokale Bauwerksprüfung (Schweißnähte) vor, während und nach dem Austausch des Fahrbahnbelags bei gleichzeitiger Erfassung der relevanten Einbaudaten.

7.4 Walzen

Die sich aus dem Walzen von Walzasphalt-Deckschichten ergebenden Beanspruchungen waren nicht Gegenstand der hier vorgestellten Untersuchungen. Allerdings konnten beim Glätten des PMA der Deckschicht auf der Wiehltalbrücke die Beanspruchungen beobachtet werden.

In Abhängigkeit von dem Gewicht der verwendeten Walzen und dem Verdichtungsverfahren (statisch, mit Vibration oder oszillierend) kann die resultierende Beanspruchung sehr stark schwanken. Daraus ergeben sich zwei mögliche Forschungsthemen:

- Quantifizierung der tatsächlichen Beanspruchungen beim Walzen in Abhängigkeit der oben genannten Faktoren (Marktanalyse und numerische Auswertung unter Berücksichtigung der für die Verdichtung der verwendeten Deckschichten notwendigen Verdichtungsenergie).
- Gegenüberstellung der Beanspruchungen durch das Walzen in Relation zu den Beanspruchungen durch a) das Fräsen und b) den Gussasphalteinbau).

8 Zusammenfassung und Ausblick

Bei vier Stahlbrücken wurden die beim Einbau von Fahrbahnbelägen auftretenden Temperaturbeanspruchungen messtechnisch erfasst. Die daraus ermittelten Ergebnisse bilden eine erste Grundlage für weitergehende numerische Parameterstudien. Darüber hinaus werden Empfehlungen für zukünftige Baumaßnahmen gegeben.

Die durch das Entfernen des Fahrbahnbelags bzw. durch das Walzen von Walzasphalt-Deckschichten bedingten Schadenspotenziale wurden im Rahmen des Projekts nicht näher untersucht. Für diese beiden Arten der Beanspruchung besteht daher noch grundlegender Forschungsbedarf.

Literatur

[1] Brückenbeläge, Bundesanstalt für Straßenwesen: Brücken- und Ingenieurbau > Fachthemen, www.bast.de

[2] Grundlagen des Kaltfräsens DAV-Vortragsreihe Herbst 2017, VESF Verband Europäischer Straßenfräsunternehmen e.V., www.vesf-ev.com

[3] Wirtgen Kaltfräsen Handbuch, Technologie und Anwendung, Wirtgen GmbH 2013, www.wirtgen.de

[4] M. EILERS; E. KÜCHLER; B. QUAAS: Temperaturen an der Unterseite orthotroper Fahrbahntafeln beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft B 4, Wirtschaftsverlag NW 2003

[5] D. E. LEBEK; H. KNABENSCHUH: Untersuchungen über Temperaturbelastungen von Stahlbrücken mit orthotroper Fahrbahnplatte und ihrer Korrosionsschutzsysteme beim Einbau von bituminösen Fahrbahnbelägen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Juni 1976

[6] K. S. KUTZ: Untersuchungen zu den Auswirkungen des Straßenbelag-Asphaltierens und dessen begleitende Arbeiten auf bestehenden älteren Stahlbrücken, Bachelorarbeit RWTH Aachen, Institut für Stahlbau, Oktober 2016

[7] M. PASCHEN; W. HENSEN; M. HAMME: Instandsetzungs- und Sicherungsmaßnahmen bei den Rheinbrücken Leverkusen und Duisburg-Neuenkamp – ein Zwischenbericht, Teil 1: Stahlbau 86 (2017), Heft 7, Teil 2: Stahlbau 86 (2017), Heft 12, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin

[8] S. VOGEL: Zum Einfluss des Asphaltierens auf die Tragfähigkeit von Stahlbrücken am Beispiel der Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp, Bachelorarbeit FH Aachen, Fachbereich Bauingenieurwesen, Oktober 2017

[9] DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe "Schweißen im Bauwesen", Merkblatt DVS 1709, Instandsetzung und Verstärkung orthotroper Fahrbahnplatten, DVS Verlag GmbH, Düsseldorf, Mai 2008

Bilder

- Bild 1: Aufbau Brückenbelag [1]
- Bild 2: Großfräse [2]
- Bild 3: Fräswalze [3]
- Bild 4: Multiplikationsfaktor β [4]
- Bild 5: Multiplikationsfaktor γ [5]
- Bild 6: Anordnung der Sensoren bei Querrahmen Nr. 43 (Abstand von Sensor 2 zum Rand des Einbaubereichs: ca. 15 cm)
- Bild 7: Sensoren M00 bis M03
- Bild 8: Temperaturverläufe bei allen Messpunkten
- Bild 9: Temperaturverläufe M02 und M05 21.05.2016
- Bild 10: Temperaturverläufe M00 bis M03 am 21.05.2016
- Bild 11: Querschnitt der Wiehltalbrücke, Übersicht (Richtung Olpe)
- Bild 12: Querschnitt der Wiehltalbrücke, Ausschnitt
- Bild 13: Fräsarbeiten
- Bild 14: Einbau der Deckschicht 20:15 Uhr: Fertiger vor dem Messfeld (links); Messfeld von unten bei QT Nr. 172 (rechts)
- Bild 15: Einbau der Deckschicht 20:18 Uhr: Der Fertiger befindet sich auf dem Messfeld (links); IR-Aufnahme von unten (rechts)
- Bild 16: Einbau der Deckschicht 20:30 Uhr: Der Fertiger hat das Messfeld verlassen (links); IR-Aufnahme von unten (rechts)
- Bild 17: Einbau der Deckschicht 20:45 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 18: Einbau der Deckschicht 21:00 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 19: Einbau der Deckschicht 21:15 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 20: Einbau der Deckschicht 21:30 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 21: Einbau der Deckschicht 21:45 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 22: Deckschichteinbau: Temperaturgradient aus IR-Bildern
- Bild 23: Position der Sensoren und der Gussasphalt Deckschicht
- Bild 24: Position der Sensoren
- Bild 25: Temperaturverläufe basierend auf den Daten der Sensormessung
- Bild 26: Messfeld von unten bei QT Nr. 66
- Bild 27: Einbau der Deckschicht 13:20 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 28: Einbau der Deckschicht 13:40 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 29: Einbau der Deckschicht 14:00 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 30: Einbau der Deckschicht 14:20 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 31: Einbau der Deckschicht 14:40 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 32: Einbau der Deckschicht 15:00 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 33: Einbau der Deckschicht 15:20 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 34: Verlauf der Temperaturdifferenzen zwischen dem Quer-/Hauptträgersteg bzw. den Längssteifen und dem Deckblech (Sensor M13)
- Bild 35: Hochmoselbrücke
- Bild 36: Einbau Gussasphalt-Schutzschicht am 28.06.2019
- Bild 37: Einbau Gussasphalt-Schutzschicht am 28.06.2019
- Bild 38: Sensorpositionen Querschnitt QT Nr. 6 (bei QT Nr. 5 entsprechend)
- Bild 39: Messfeld von unten bei QT Nr. 6
- Bild 40: Schutzschichteinbau 07:21 Uhr: IR-Aufnahme
- Bild 41: Schutzschichteinbau 07:31 Uhr: IR-Aufnahme

Bild 42: Schutzschichteinbau 07:41Uhr:
IR-Aufnahme

Bild 43: Schutzschichteinbau 07:51Uhr:
IR-Aufnahme

Bild 44: Schutzschichteinbau 08:31 Uhr:
IR-Aufnahme

Bild 45: Temperaturverlauf QT Nr. 5

Bild 46: Temperaturverlauf QT Nr. 6

Bild 47: Verlauf der Temperaturdifferenzen
zwischen Deckblech (Sensor M6) und
Querträger (Sensor M5)

Bild 48: Deckblechtemperaturen im Vergleich

Tabellen

Tab. 1: Einbautemperaturen für verschiedene
Asphalte

Tab. 2: Zeiträume, in dem die gemessenen Tem-
peraturen weniger als 1 °C unter der Ma-
ximaltemperatur T_{\max} liegen (geordnet
nach abnehmender Maximaltemperatur
 T_{\max})

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2015

B 112: Nachhaltigkeitsberechnung von feuerverzinkten Stahlbrücken

Kuhlmann, Maier, Ummenhofer, Zinke,
Fischer, Schneider € 14,00

B 113: Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen

Placzek, Pohl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 114: Intelligente Bauwerke – Anforderungen an die Aufbereitung von Messgrößen und ihrer Darstellungsform

Sawo, Klumpp, Beutler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln

Mayer, Brennberger, Großmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 116: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton

Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 117: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells

Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 119: Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln

Schmidt, Simon, Guder, Juknat,
Hegemann, Dehn € 16,00

B 120: Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem vorgespannten Zweifeldträger

Maurer, Gleich, Heeke, Zilch, Dunkelberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 121: Zerstörungsfreie Detailuntersuchungen von vorgespannten Brückenplatten unter Verkehr bei der objektbezogenen Schadensanalyse

Diersch, Taffe, Wöstmann, Kurz, Moryson
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 122: Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken

Eilers, Friedrich, Quaaas, Rogalski, Staeck
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

B 123: Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung

Geißler, Krohn € 15,50

B 124: Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Fischer, Lechner, Wild, Müller, Kessner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 125: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Mielecke, Kistner, Graubner, Knauf, Fischer, Schmidt-Thrö
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 126: Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur

Mielecke, Graubner, Roth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 127: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden

Kuhlmann, Hubmann € 21,50

B 128: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden

Ungermann, Brune, Giese € 21,00

B 129: Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen

Schmellekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 130: Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags

Tulke, Schäfer, Brakowski, Braun
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 131: Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus

Schmidt-Thrö, Mielecke, Jungwirth, Graubner, Fischer, Kuhlmann, Hauf
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 132: Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke

Graubner, Ramge, Hess, Ditter, Lohmeier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 133: Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Mielecke, Graubner, Ramge, Hess, Pola, Caspari
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 134: Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Erhaltungskonzepte von Straßenbrücken

Gehrlein, Lingemann, Jungwirth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

B 135: Wirksamkeit automatischer Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Kohl, Kammerer, Leucker, Leismann, Mühlberger, Gast
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 136: HANV als Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-1-Schäden

Stranghöner, Lorenz, Raake, Straube †, Knauff
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 137: Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton

Mansperger, Lehmann, Hofmann, Krüger, Lehmann € 14,50

B 138: Rückhaltesysteme auf Brücken – Einwirkungen aus Fahrzeuganprall und Einsatz von Schutzeinrichtungen auf Bauwerken

Mayer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 139: Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie

Sperber, Gößmann, Reget, Müller, Nolden, Köhler, Kremkau € 16,50

B 140: Untersuchungen zum Beulnachweis nach DIN EN 1993-1-5

U. Kuhlmann, Chr. Schmidt-Rasche, J. Frickel, V. Pourostad
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 141: Entwurf von hydrogeothermischen Anlagen an deutschen Straßentunneln

Moomann, Buhmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 142: Einsatz von offenporigen Belägen in Einhausungs- und Tunnelbauwerken

Baltzer, Riepe, Zimmermann, Meyer, Brungsberg, Mayer, Brenberger, Jung, Oeser, Meyer, Koch, Wienecke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

B 143: Analyse des menschlichen Verhaltens bei Aktivierung von stationären Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Mühlberger, Gast, Plab, Probst € 15,50

B 144: Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Neumann, Brauer € 16,50

B 145: 8. BAST-Tunnelsymposium vom 6. Juni 2018 in der Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach – Tagungsband

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2019

B 147: Vorbereitung von Großversuchen an Stützkonstruktionen aus Gabionen

Blosfeld, Schreck, Decker, Wawrzyniak
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

B 146: Beurteilung der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschäden

Paschen, Dürrer, Gronau, Rentmeister
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 148: Übergreifungslängen von Betonstahlbewehrung Maßgebende Einflussparameter in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Maurer, Bettin
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 149: Untersuchungen zum Einfluss von Modellparametern auf die Lebensdauerprognose für Brückenbauwerke

Keßler, Gehlen € 16,00

B 150: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze

Hegger, Herbrand, Adam, Maurer, Gleich, Stuppak, Fischer, Schramm, Scheufler, Zilch, Tecusan
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 151: Verfahren und Modelle zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit von dauerüberwachten Bestandsbrücken

Ralbovsky, Prammer, Lachinger, Vorwagner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 152: Bemessung von Kopfbolzendübeln in Randlage unter Vermeidung eines Versagens infolge Herausziehens

Kuhlmann, Stempniewski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 153: Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn – Pilotprojekt

Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski € 15,00

B 154: Korrosionsschutz von Brückenseilen – Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern

Friedrich € 9,00

B 155: Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

Wirker, Donner in Vorbereitung

B 156: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Monitoringmaßnahmen – Entwicklung eines Konzepts für die Analyse von Nutzen und Kosten

Schubert, Faber, Betz, Straub, Niemeier, Ziegler, Walther, Majka
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 157: 9. BAST-Tunnelsymposium – Tagungsband

in Vorbereitung

B 158: Beanspruchung orthotroper Fahrbahnplatten infolge der Erneuerung des Brückenbelags

Friedrich, Eilers, Quaas, Robrecht, Schamne, Staack
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.