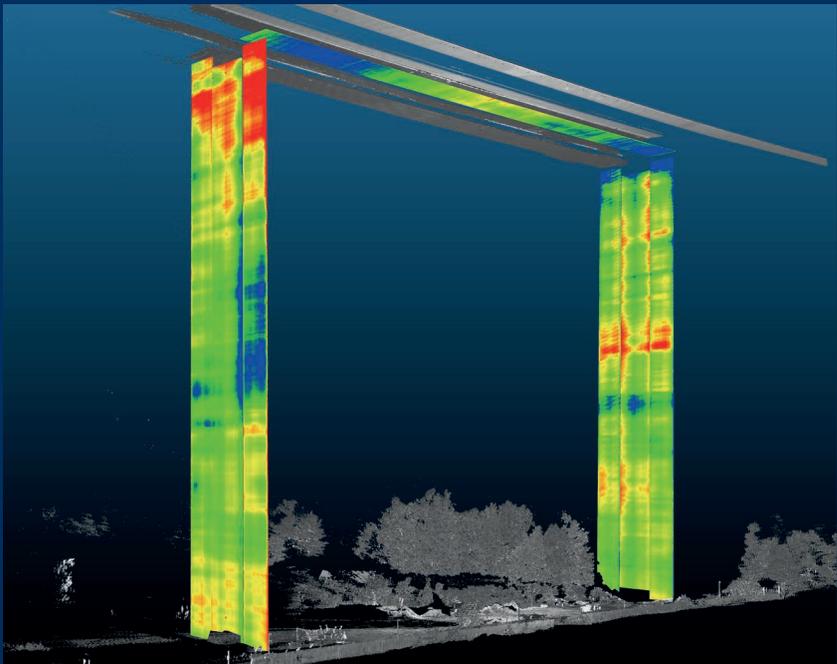




**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 55



Manfred Curbach, Steffen Marx,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**11. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

08. März 2021



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Manfred Curbach, Steffen Marx,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**11. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

08. März 2021

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 55

Herausgeber der Reihe:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden
D - 01062 Dresden

Tel. +49 351 463-3 65 68
Fax +49 351 463-3 72 89

© 2021 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung der Herausgeber. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind. Für die Inhalte sind die Autor*innen verantwortlich.

Herausgeber: Manfred Curbach, Steffen Marx, Silke Scheerer, Torsten Hampel
Redaktion: Silke Scheerer
Layout: Stefan Gröschel und Silke Scheerer
Korrekturen: Silke Scheerer, Sabine Wellner und Theresa Fritsche
Anzeigen: Sabine Wellner
Umschlag und Druckvorbereitung: Stefan Gröschel

Titelbild: 3D-Punktwolke des fünften Feldes der Siegtalbrücke; zur Veranschaulichung wurden bereichsweise unterschiedliche Einfärbungen verwendet: Intensitätswerte (Graustufendarstellung) und Ebenheitsabweichungen (Regenbogendarstellung) | © Dr.-Ing. Florian Schill, Fachgebiet Geodätische Messsysteme und Sensorik, TU Darmstadt Institut für Geodäsie

Der Tagungsband ist open access auf der Homepage des Instituts für Massivbau der TU Dresden verfügbar: <https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb>.

Druck: addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz

Veröffentlicht: Dresden, März 2021

ISSN 1613-6934
ISBN 978-3-86780-665-7

Inhalt

Grußwort	5
Torsten Hampel, Sabine Wellner und Silke Scheerer	
Experimentelle Untersuchung von Balkenreihentragwerken	8
Oliver Steinbock, Olaf Mertzsch und Sabine Wellner	
Experimentell gestützte Nachweise von Eisenbahn-Stampfbetonbrücken	20
Marc Gutermann und Werner Malgut	
Berührungslose Überwachung von Brücken mit großer Stützweite	32
Florian Schill und Gregor Schacht	
Ultraschalluntersuchung von Baukonstruktionen	46
Sebastian Schulze	
Monitoring von Kräften und signifikanten Bauwerksparametern in einer Stahlbetonbrücke zur Analyse von Schädigungsprozessen	54
Jens Kühnapfel, Gunter Hahn, Markus Fischer und Stefan Mortag	
Structural Health Monitoring der Maintalbrücke Gemünden zur Unterstützung einer prädiktiven Instandhaltung	66
Ralf Herrmann, Ronald Schneider, Patrick Simon, Falk Hille, Samir Said und Matthias Baeßler	
Rissweitenmessung mittels nachträglich angebrachten, verteilten faseroptischen Messsystemen	78
Alois Vorwagner, Maciej Kwapisz, Werner Lienhart, Madeleine Winkler und Urs H. Grunicke	
Verbesserte Bestimmung des Chloridgehaltes in Beton durch neues Messverfahren	88
Fritz Binder und Stefan L. Burtscher	
Spanndrahtbruchdetektion mit Schallemissionsmonitoring	96
Max Käding, Gregor Schacht und Steffen Marx	
Ansätze zur objektspezifischen Ermittlung und Bewertung von KKS-Schutzkriterien	106
Ulrich Schneck	
Probebelastung einer mit Carbonbeton verstärkten Plattenbrücke	118
Oliver Steinbock, Nina Josiane Giese und Manfred Curbach	
Experimentelle Tragfähigkeitstests des OML in den Jahren 2019 und 2020	130
Sabine Wellner, Torsten Hampel und Silke Scheerer	

Probelastung einer mit Carbonbeton verstärkten Plattenbrücke

Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Nina Josiane Giese,
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Institut für Massivbau, TU Dresden

KURZFASSUNG

Im Rahmen des Forschungsvorhabens C3-V1.2 „Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen“ wurde das Bauwerk BW 5 im Zuge der Staatsstraße 5 109 in Kleinsaubernitz (LK Bautzen) für die Pilotanwendung einer Ertüchtigungsmaßnahme mit Textilbeton ausgewählt. Es handelt sich dabei um eine schiefwinklige Plattenbrücke, die durch die Erhöhung der Biegetragfähigkeit aus der Brückenklasse BK 30/30 in die Klasse BK 60/30 hochgestuft werden sollte. Die Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahme am Brückenbauwerk erfolgte nach Applikation der Carbonbetonverstärkungsschicht mit Hilfe einer Probelastung in situ. Dieser Beitrag erläutert Konzept sowie Durchführung des Belastungsversuchs und fasst die wichtigsten Erkenntnisse der experimentellen Untersuchung zusammen.

1 Veranlassung und Objektvorstellung

Es ist hinlänglich bekannt, dass ein Großteil des Brückenbestands in Deutschland einen unbefriedigenden Erhaltungszustand aufweist, siehe [1], [2]. Grund dafür ist neben der Altersstruktur auch das stetig gestiegene Verkehrsaufkommen. Durch die kontinuierliche Fortschreibung von Regelwerken ergeben sich zudem bei der Nachrechnung von Bestandsbauwerken häufig rechnerische Defizite bzw. genügen die Brücken nicht mehr heutigen Sicherheitsstandards, siehe [3]. Bauwerksverstärkungen mit Carbonbeton stellen in bestimmten Fällen eine geeignete Alternative dar, um sanierungsbedürftige Brücken bis zum Ende ihrer vorgesehenen Nutzungsdauer wirtschaftlich und zuverlässig im Bestand halten zu können.

Beim untersuchten Tragwerk handelt es sich um eine im Jahr 1951 errichtete Plattenbrücke aus Stahlbeton (Bild 1), die bis dato in die Brückenklasse BK 30/30 nach DIN 1072 [4] eingestuft wurde. Die Staatsstraße 5 109, in deren Zuge die Brücke über das Alte Fließ in Kleinsaubernitz führt, dient als Ausweichroute der Bundesautobahn BAB A 4 und ist aufgrund lokal ansäs-

siger Firmen mit einem vergleichsweise hohen Schwerlastanteil belastet. Vor diesem Hintergrund wurde eine Einstufung in die nächsthöhere Brückenklasse BK 60/30 angestrebt. Da bereits für die Brückenklasse BK 30/30 eine hohe rechnerische Auslastung des Tragwerks vorlag, wurde eine Ertüchtigung notwendig, die im August 2020 an der Unterseite des Überbaus mittels einer flächenhaften Verstärkung aus Carbonbeton zur Steigerung der Biegetragfähigkeit umgesetzt wurde. Da Carbonbeton noch nicht genormt ist, war für die bauliche Umsetzung eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) zu erwirken. Ohnehin im Forschungsvorhaben vorgesehen, aber auch Gegenstand einer Forderung aus der ZiE, war das Bauwerk im Anschluss an die Verstärkungsarbeiten einem Belastungsversuch zu unterziehen.

Die Stützweite des einfeldrigen, schlaff bewehrten Bauwerks beträgt 9,30 m bei einer Schiefe von etwa 65° im Grundriss. Weiter weist das Bauwerk ein Dachgefälle in Längsrichtung auf, welches über eine variable Konstruktionshöhe ausgeführt wurde, siehe Bild 2. In Verbindung mit einem zusätzlichen Quergefälle variiert die Konstruktionshöhe der Platte zwischen 59 cm



Bild 1: Südsicht der Plattenbrücke BW 5 in Kleinsaubertitz nach erfolgreicher Verstärkung

und 78 cm. Sanierungsmaßnahmen im Jahr 2014 gingen einerseits mit einer neuen Fahrbahnplatte und andererseits mit nachträglich angebrachten Kragarmen bzw. Kappen einher.

Der Altbeton wurde auf Grundlage von Bohrkernproben der Festigkeitsklasse C 25/30 zugeordnet, siehe [6]. Bei der im Bestandsbauwerk vorhandenen Bewehrung handelt es sich um glatten Rundstahl niedriger Güte (St I), für den gemäß Nachrechnungsrichtlinie (NRR) [7] eine charakteristische Streckgrenze von $f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden kann. Während in Quer-

richtung Stähle mit einem Durchmesser von 12 mm eingelegt sind, betragen die Durchmesser der in Längsrichtung verbauten Eisen 34 mm. Zur Aufnahme der schrägen Hauptzugspannungen wurden wie damals üblich $\approx 2/3$ der Längseisen zum Auflager hin aufgebogen.

Die Verstärkung mit Carbonbeton kann insbesondere für kleine Brücken eine leistungsfähige und wirtschaftliche Sanierungs- bzw. Ertüchtigungsmethode darstellen. Zwar wurde mit der Erteilung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) Z-31.10-182 „Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton)“ [8] im Jahr 2014 ein Fortschritt

Längsschnitt Bestand – nicht maßstäblich

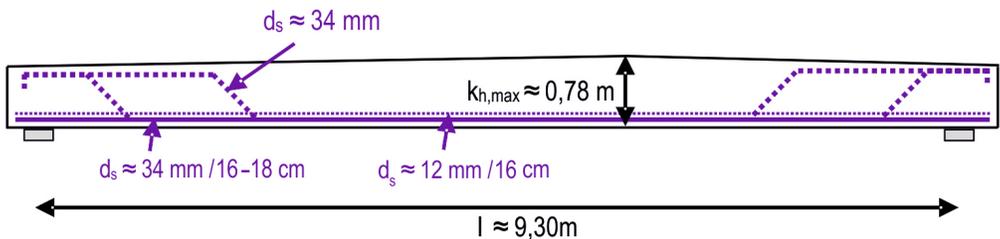


Bild 2: Längsschnitt des Brückenüberbaus

hinsichtlich der Umsetzung von Verstärkungsmaßnahmen mit Textilbeton erreicht, jedoch ist diese auf Anwendungen im Hochbau sowie den Innenbereich beschränkt. Um eine ZiE für die geplante Anwendung im Brückenbau zu erlangen, war neben der Effektivität der Verstärkung im Außenbereich sowie unter vorwiegend nicht ruhender Beanspruchung auch die Wirksamkeit einer von [8] abweichenden Materialkombination nachzuweisen.

2 Versuche zur Erlangung der ZiE

In Anlehnung an das Zulassungsverfahren zur abZ [8], siehe auch [9], wurde ein Versuchsprogramm abgeleitet, welches sich auf der einen Seite aus kleinformatischen Versuchen zur Charakterisierung von Materialeigenschaften und auf der anderen Seite aus Untersuchungen an Großbauteilen zusammensetzte. Im Hinblick auf die Materialkombination wurde auf die Referenztextilien aus dem Forschungsvorhaben C³ – Carbon Concrete Composite [10] zurückgegriffen. Als Gelege wurde das einaxiale Carbongelege SITgrid040 [11] der Firma Wilhelm Kneitz Solutions in Textile GmbH ausgewählt (Bild 3), da dieses, wie auch der vorgesehene Feinkornbeton Pagel TF 10 [12], die Anforderungen hinsichtlich der Anwendung im Außenbereich sowie der Widerstandsfähigkeit bei zyklischer Beanspruchung erfüllte.

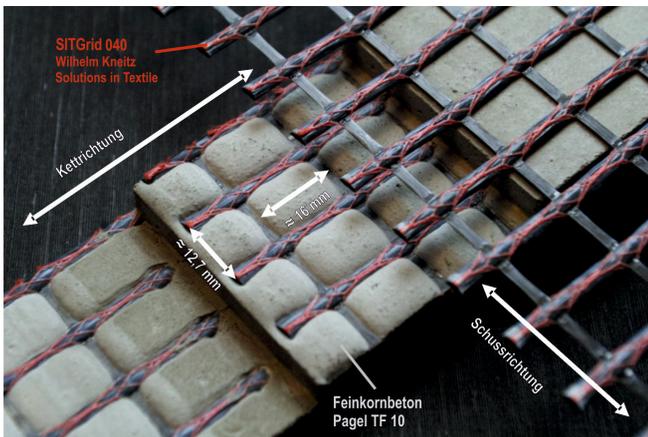


Bild 3: Geometrie des einaxialen Carbongeleges SITgrid040

Insbesondere zur Charakterisierung des Materialverhaltens, basierend auf kleinteiligen Versuchen, lagen aus dem Forschungsvorhaben C3-V1.2 „Nachweis- und Prüfkonzepte für Normen und Zulassungen“ bereits zahlreiche Ergebnisse vor. Für die Erlangung der ZiE war es somit noch erforderlich, die Wirksamkeit der Verstärkungsschicht am Bauteil zu validieren, siehe [13]. Konkret wurden verstärkte Plattenstreifen untersucht, bei welchen die Bewehrungskonfiguration des Bestands aufgegriffen wurde. Weitere Informationen enthalten auch [14] und [15].

Insgesamt wurden vier plattenförmige Prüfkörper mit einem Querschnitt von 20 × 50 cm und einer Spannweite von 5,40 m im 4-Punkt-Biegeversuch getestet, siehe Bild 4. Einer der Probekörper (PK 1) diente als Referenz und blieb unverstärkt. Die Biegebewehrung war aus St37 mit großem Durchmesser ($d_s = 35$ mm) und glatter Oberfläche ausgeführt. Der Plattenstreifen PK 1 diente als Ausgangsbasis, um die Verstärkungswirkung zu erfassen. Die Probekörper 2 und 3 waren analog bewehrt und wurden mit einer bzw. zwei Lagen Carbonbewehrung verstärkt. Abgerundet wurde das Versuchsprogramm durch Probekörper 4, der mit konventionellem, geripptem Betonstahl der Güte BSt500 S ($d_s = 25$ mm) bewehrt war. Damit konnten Unterschiede, die durch das voneinander abweichende Verbund-

verhalten glatter und gerippter Stähle – insbesondere unter Gebrauchslasten – zu erwarten waren, validiert werden.

Vor dem Hintergrund, dass das Bauwerk bereits wieder sieben Tage nach Fertigstellung der Verstärkungsmaßnahme für den Verkehr freigegeben werden sollte, erfolgte die Prüfung der Probekörper ebenfalls sieben Tage nach der Verstärkung. Um auch die Effektivität der Verstärkungsmaßnahme unter vorwiegend nicht ruhender Belastung zu zeigen, wurde ein spezielles



Bild 4: 4-Punkt-Biegeversuch an Plattenstreifen – hier: PK 3

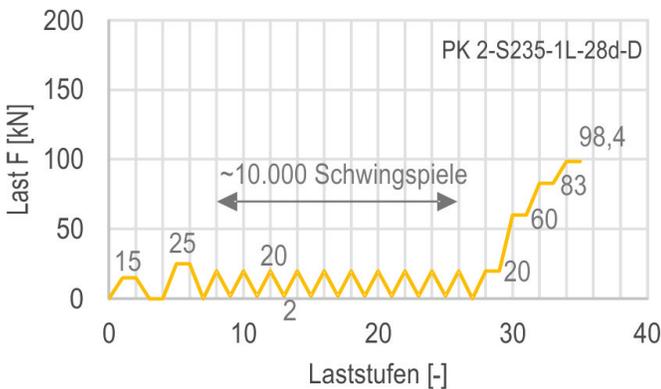


Bild 5: Belastungsregime – hier: PK 2

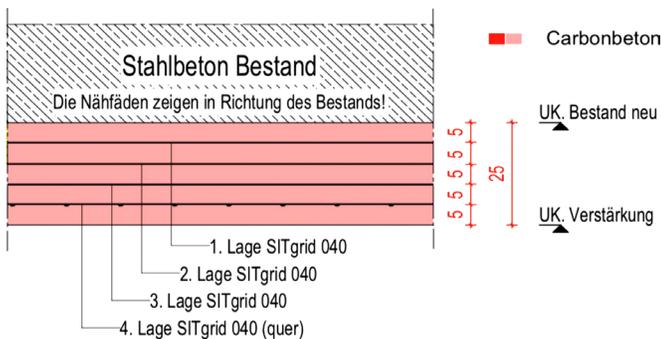


Bild 6: Brückenplatte mit vierlagiger Textilbetonverstärkung im Schnitt

Belastungsregime ausgearbeitet. Zunächst erfolgte eine zweistufige statische Belastung des Probekörpers. In der ersten Stufe verblieb die Prüflast unterhalb des Niveaus der Erstrissbildung. In der anschließenden Stufe wurde eine Last oberhalb des abgeschlossenen Rissbildes

gewählt und somit ein Rissbild in den Probekörper „eingepägt“. Nachfolgend wurde die zyklische Belastung des Probekörpers durchgeführt. Konkret wurden 10.000 Lastwechsel auf Höhe des Niveaus der häufigen Einwirkungskombination und somit analog der Auslastung am Bauwerk ausgeführt, siehe Bild 5. Abschließend wurde die Resttragfähigkeit des zuvor statisch und zyklisch belasteten Prüfkörpers ermittelt. Somit war es möglich, eine Aussage zur Tragfähigkeit von sehr früh belasteten Verstärkungsschichten zu treffen. Letztlich konnten die Wirksamkeit der gewählten Materialkombination bewiesen und entsprechende Eingangsgrößen für die Bemessung abgeleitet werden, siehe [13].

3 Verstärkungskonzept

Zur Herstellung einer rauen Altbetonoberfläche, die die Verzahnung der Verstärkungslage garantiert, wurde die

Plattenunterseite vor der Anbringung der Biegeverstärkung mittels Sandstrahlen aufgeraut. Der Einbau der Textilbetonverstärkung erfolgte nach dem Schema aus [8] im Spritzverfahren. Insgesamt waren vier Lagen Carbongelege notwendig (Bild 6), um die Brückenklasse 60/30

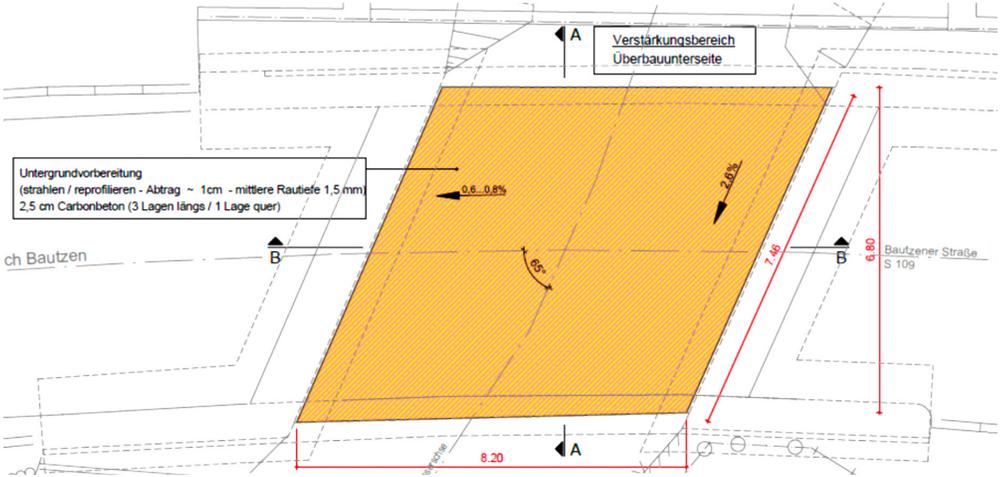


Bild 7: Verstärkungsbereich im Grundriss (Carbonbeton an der Plattenunterseite)

sicherzustellen. Drei Lagen wurden hierbei in Längsrichtung des Tragwerks verlegt und durch eine vierte Lage, die parallel zu den Widerlagern angeordnet wurde, ergänzt. In Verbindung mit der großflächigen Applikation an der Unterseite war somit ein mehraxialer Lastabtrag mit dem einaxial wirkenden Textil gewährleistet (Bild 7). Zur Vermeidung von Erschütterungen während der Baumaßnahme und der Nachbehandlung wurde die Brücke für den Verkehr gesperrt.

4 Probelastung

Die Probelastung des Bauwerks wurde etwa fünf Wochen nach Abschluss der Verstärkungsarbeiten im September 2020 durchgeführt. Im Sinne der neuen Richtlinie für die Belastung von Bauwerken [17] wurde eine Versuchsziellast gewählt, die zwar einerseits über dem zulässigen Belastungsniveau vor der Verstärkung (BK 30/30) lag, andererseits aber unterhalb dem maximal zulässigen Belastungsniveau nach der Verstärkungsmaßnahme (BK 60/30) verblieb. Damit konnte die

Wirksamkeit der Textilbetonverstärkung bestätigt und eine Schädigung des Tragwerks ausgeschlossen werden.

4.1 Versuchsziellast

Die Belastung erfolgte durch zwei dreiachsige Mobilkräne (nachfolgend mit MK 1 und MK 2 bezeichnet) mit einem Gewicht von je 36 Tonnen. Bild 8 stellt eine schematische Übersicht der Laststellungen dar. Während bei den Belastungsbildern A und B nur ein Belastungsfahrzeug zum Einsatz kam, wurden bei den

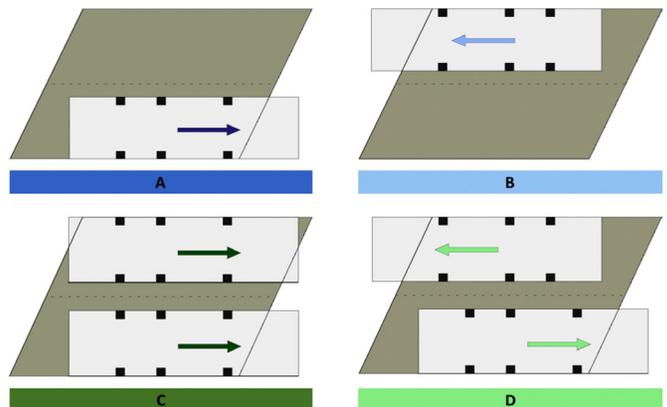


Bild 8: Laststellungen für die statischen und dynamischen Untersuchungen

Varianten C und D beide Fahrzeuge herangezogen, wobei die Befahrung zum einen parallel und zum anderen im Begegnungsverkehr erfolgte. Die Versuchsdurchführung umfasste mehrere Laststellungen und Messschleifen. Um das Tragverhalten der Brücke unter statischer und dynamischer Belastung untersuchen zu können, wurden ausgewählte Laststellungen sowohl in Schrittgeschwindigkeit mit Standzeiten auf der Brücke als auch mit Überfahrten realisiert.

4.2 Messtechnik

Während des Belastungsversuches wurde das Tragverhalten anhand folgender Messgrößen aufgenommen:

- vertikale Verformungen an der Plattenunterseite,
- Dehnungen in Längs- und Querrichtung an der Plattenunterseite sowie den Plattenflanken,
- Dehnungen an einem Längsisen über eine Länge von $\approx 2,5$ m.

Die Erfassung der vertikalen Verformungen sowie der Längs- und Querdehnungen am Überbau erfolgte mit Hilfe von induktiven Wegaufnehmern (IWA).

In Summe wurden neun vertikale Wegaufnehmer auf einer unabhängigen Messbasis aus Aluminium, die auf der Flusssohle platziert wurde, angeordnet (Bild 9). Die Messpunkte wurden an den Stellen angebracht, wo infolge der Bauwerksschiefe die maximalen Verformungen zu erwarten waren. Aus diesem Grund wurden ein IWA in der Plattenmitte (IWA 1) und die beiden äußeren leicht versetzt platziert (IWA 4 und IWA 7). Links und rechts der Feldmitte erfolgte die Anordnung von jeweils drei Wegaufnehmern entlang der Bereiche, in denen der Längsbewehrungsgrad im Altbeton aufgrund der Randaufbiegungen reduziert war.

Des Weiteren wurden zwölf horizontale Wegaufnehmer am Überbau befestigt. Acht davon maßen die Verformungen an der Unterseite



Bild 9: Messbasis unterhalb der Brücke

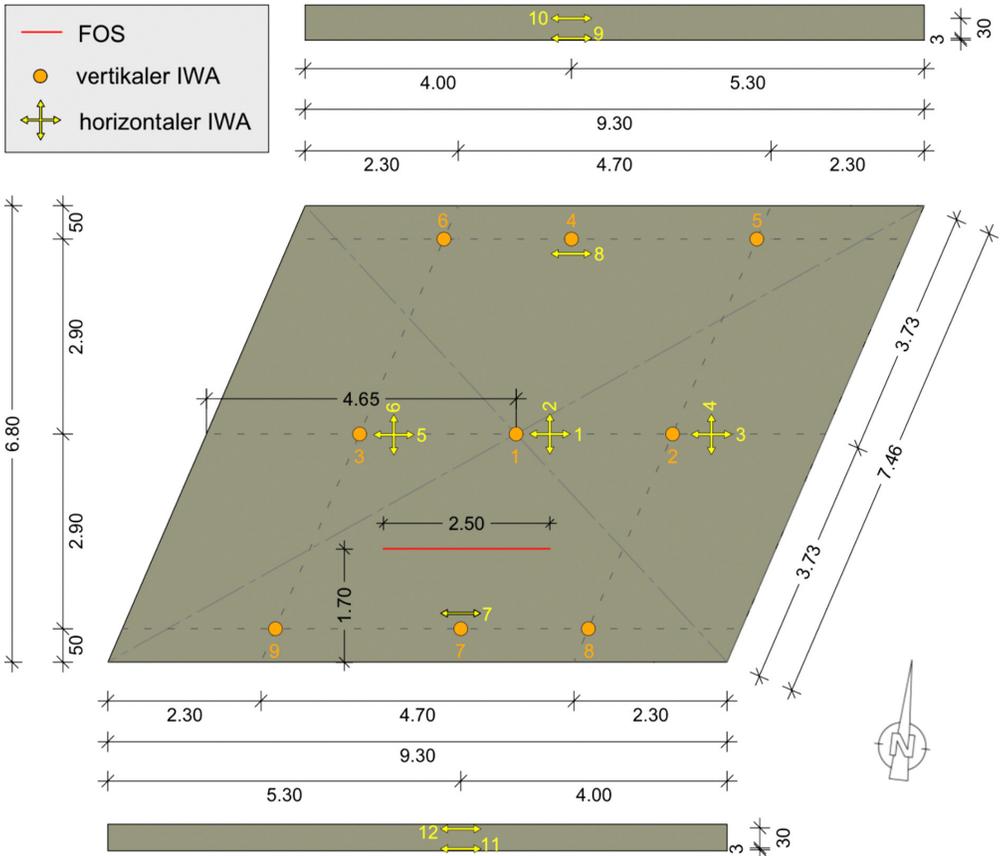


Bild 10: Anordnung der Messtechnik an der Brückenunterseite und den Brückenrändern

und waren aufgrund des biaxialen Lastabtrages in Längs- und Querrichtung orientiert. Die übrigen vier horizontalen Wegaufnehmer wurden an den Flanken der Brückenplatte positioniert, um die Dehnungsverteilung über die Bauteilhöhe zu erfassen. Die genaue Anordnung aller IWA ist in Bild 10 dargestellt. Die Abtastrate betrug bei allen Versuchen 200 Hz.

Neben den konventionellen Messmitteln wurde vor Beginn der Verstärkungsmaßnahme ein faseroptischer Sensor (FOS) an einen Längsbewehrungsstab geklebt, der im Zuge der Sandstrahlarbeiten freigelegt worden war. Konkret wurde hierfür ein vergleichsweise robustes Glasfaserkabel mit Stahlummantelung verwendet. Der etwa 2,5 m lange Messbereich wur-

de so gewählt, dass der Sensor im südlichen Teil der Platte lag (Bild 10), der eine geringere Querschnittshöhe aufweist. Somit sollte sichergestellt werden, dass ein vergleichsweise hoch beanspruchter Bereich untersucht wird. Die freigelegte Bewehrung wurde vor Beginn der Verstärkungsmaßnahme wieder mit Reprofilierungsbeton verschlossen und die Kabelenden der Messfaser bei der Anbringung der Carbonbetonlagen vorsichtig durch das Gelege gefädelt. Der FOS ermöglichte eine quasi-kontinuierliche Dehnungsmessung entlang des Bewehrungsstabs, mit deren Hilfe auf den Spannungszustand der Betonstahlbewehrung geschlossen werden konnte. Für die Dehnungserfassung wurde die Glasfaser an ein Frequenzbereichsreflektometer angeschlossen, welches

Messungen auf Grundlage der Rayleigh-Rückstreuung durchführt. Dieses Messprinzip eignet sich insbesondere für kleine Messlängen und ermöglicht aufgrund der großen Anzahl von Messpunkten innerhalb eines kurzen Bauteilabschnitts eine hohe Dehnungsauflösung, sodass lokale Extremwerte präzise detektiert werden können [18]. Die Messung erfolgte für alle Einzelversuche mit einer Frequenz von 12,5 Hz sowie einer Messweite (Abstand der Messpunkte auf dem Sensor) von 1,3 mm.

4.3 Durchführung und Auswertung

Die Brücke wurde nur für die Umsetzung der Laststellungen kurzzeitig gesperrt, sodass der Verkehr nur kurzfristig beeinträchtigt wurde. Erste Tastversuche erfolgten statisch und unter Verwendung von jeweils einem Mobilkran (Laststellungen A bzw. B mit MK 1 bzw. MK 2). Aufgrund geringer Unterschiede der Achsabstände der Fahrzeuge galt es zunächst, die ungünstigen Laststellungen für das Tragwerk zu lokalisieren. Anhand der in Echtzeit ausgegebenen Messwerte wurde festgestellt, dass die maximalen Durchbiegungen erzielt werden, wenn sich die vordere der hinteren Doppelachse der Mobilkräne auf

Höhe der Brückenmitte befindet. Dabei resultierten aus MK 1 geringfügig höhere Verformungen als aus MK 2 bei gleicher Laststellung bedingt durch die unterschiedliche Anordnung der Achsen. Aufgrund dieser Tatsache wurde MK 1 grundsätzlich auf der südlichen Spur und damit im Bereich der geringeren Konstruktionshöhe der Platte eingesetzt. Die Fahrzeuge verharren bei jedem der statischen Belastungsversuche für etwa ein bis zwei Minuten in ihrer jeweiligen Position. Bild 11 zeigt ein Foto von der Belastungsprobe, wobei hier die Laststellung C zu sehen ist.

Nach der Durchführung des statischen Belastungsprogramms folgten die dynamischen Überfahrten mit einer Geschwindigkeit von etwa 20 km/h. Da die Laststellungen C und D bei den vorhergehenden Messungen annähernd gleiche Ergebnisse lieferten, beschränkten sich die dynamischen Versuche mit beiden Fahrzeugen auf die Variante der Begegnungsfahrt (Lastszenario D). Insgesamt wurden 25 Einzelversuche unter den verschiedenen Lastkonfigurationen (inklusive Wiederholungsmessungen) durchgeführt.

Die größten Vertikalverformungen am Überbau zeigten sich stets an einem der drei IWA, die



Bild 11: Laststellung C (östlich ausgerichtet)

sich rund um die Feldmitte befanden. In Bild 12 sind die maßgebenden Ergebnisse der Durchbiegungsmessungen für vier Lastszenarien an den vertikalen IWA 1, 4 und 7 dargestellt. Bei den Laststellungen A und B spiegelt das Verformungsverhalten die halbseitige Last wider. Die absoluten Verformungen sind im südlichen Teil größer, was wiederum auf die geringe Konstruktionshöhe zurückzuführen ist. Demzufolge zeigt sich auch für die zweispurige Belastung

eine größere Vertikalverformung am südlichen Rand. Außerdem ist zu erkennen, dass die dynamischen Überfahrten geringfügig kleinere Ergebnisse lieferten als die jeweils analoge ruhende Laststellung. Erwartungsgemäß gehen aus den statischen Lastszenarien mit beiden Fahrzeugen die größten Verformungen hervor. Die maximal gemessene Vertikalverformung betrug 0,66 mm und ergab sich infolge der Laststellung C.

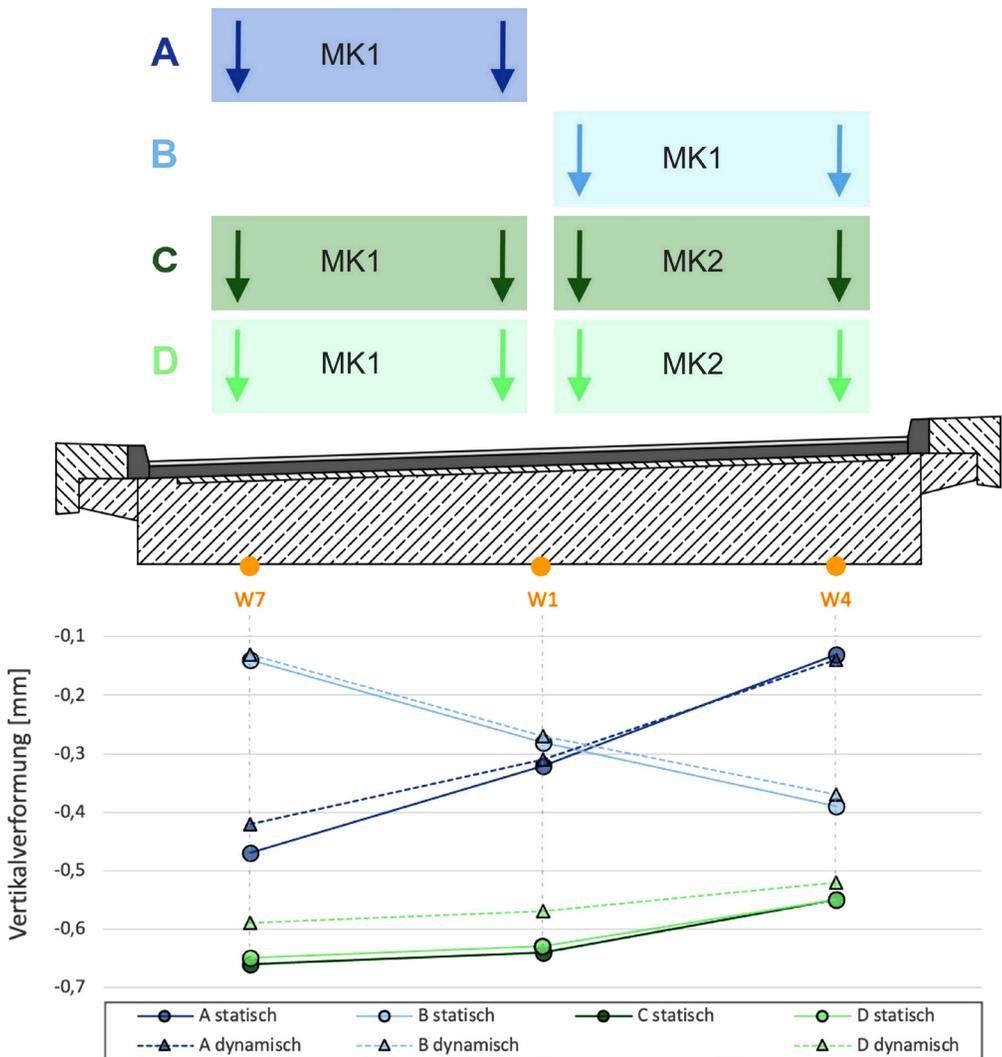


Bild 12: Gegenüberstellung der Ergebnisse der Durchbiegungsmessungen

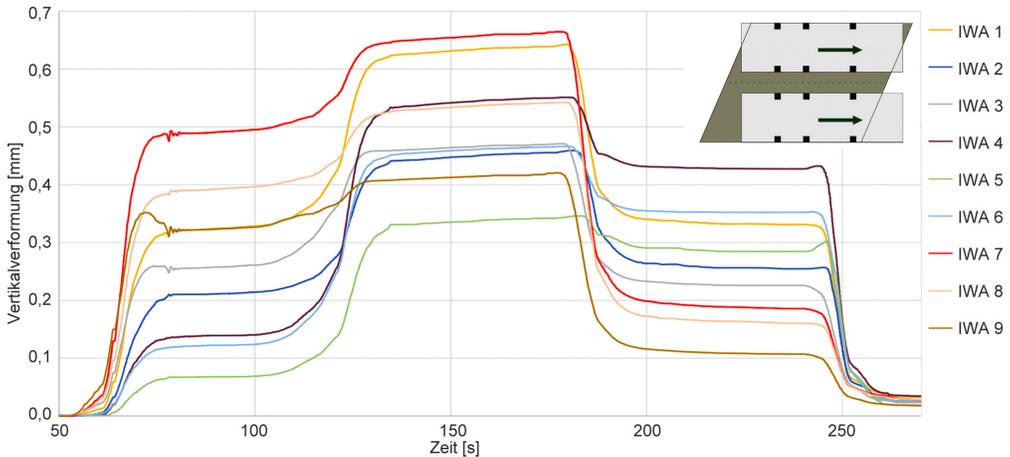


Bild 13: Gemessene Durchbiegungen bei Laststellung C

Im Rahmen dieses Beitrags erfolgt eine exemplarische Auswertung der Messergebnisse unter der maßgebenden Laststellung C. In Bild 13 sind die Durchbiegungskurven aller neun IWA dieser Messung dargestellt. Der stufenartige Verlauf resultiert aus dem zeitversetzten Befahren der Brücke durch die Fahrzeuge. Relevant sind demnach die mittleren Kurvenabschnitte, da sich in diesem Zeitraum beide MK in ihrer entsprechenden Position auf der Brücke befanden.

Neben der maximalen Durchbiegung von $\approx 0,66$ mm an IWA 7 (mittig am südlichen Plattenrand) ergab sich der zweitgrößte Messwert an IWA 1 (Plattenmitte) mit 0,64 mm, gefolgt von IWA 4 (mittig an der Nordseite) sowie IWA 8 (nahe der südlichen stumpfen Ecke), die mit Höchstwerten von 0,55 mm und 0,54 mm sehr ähnliche Ergebnisse aufwiesen. Aufgrund des Lastabtrages, der bei schiefwinkligen Grundrissen vornehmlich über die stumpfen Ecken erfolgt, traten in den spitzen Ecken der Platte bei IWA 5 und IWA 9 erwartungsgemäß die niedrigsten Durchbiegungen mit 0,34 mm beziehungsweise 0,42 mm auf.

Bild 14 zeigt die aus den Daten der horizontalen Wegaufnahme abgeleiteten Dehnungen bei Laststellung C. Die größten Dehnungen traten analog zu den Durchbiegungen in der Mitte der Platte an den in Längsrichtung angebrachten

IWA 1, 7 und 8 auf, wobei sich der maximale Wert auf 0,042 % belief. Eine Betrachtung der Dehnungen auf der Verstärkungsschicht lässt einen ungerissenen Zustand in der Verstärkungsebene vermuten. Es ist jedoch anzumerken, dass es sich hier um lokal begrenzte Messbereiche handelt.

Aufgrund der großen Datenmengen, die sich infolge der Messfrequenz und -weite bei der faseroptischen Dehnungsmessung am Bewehrungsstahl ergaben, erwies es sich als zielführend, die Auswertung jeweils für einen konkreten Zeitpunkt durchzuführen, bei dem das maximale Belastungsniveau erreicht war. Dies war über einen Abgleich mit dem Zeitstempel des Messsystems der induktiven Wegmessung für den maßgebenden Belastungszustand innerhalb eines Versuchs möglich.

Zur Erzielung anschaulicher Kurvenverläufe wurde eine Glättung der Ergebniskurve durchgeführt, um Ausschläge, die sich bei dieser Messmethode zwangsläufig ergeben, zu neutralisieren. In Bild 15 ist der Dehnungsverlauf der Glasfaser im relevanten Messbereich für die Laststellung C mit einem Glättungsintervall von zehn Messwerten dargestellt, bei dem sich lokale Dehnungsspitzen noch gut erkennen lassen. Diese deuten auf bereits bestehende Risse in der Altbetonkonstruktion hin. Der größte Messwert

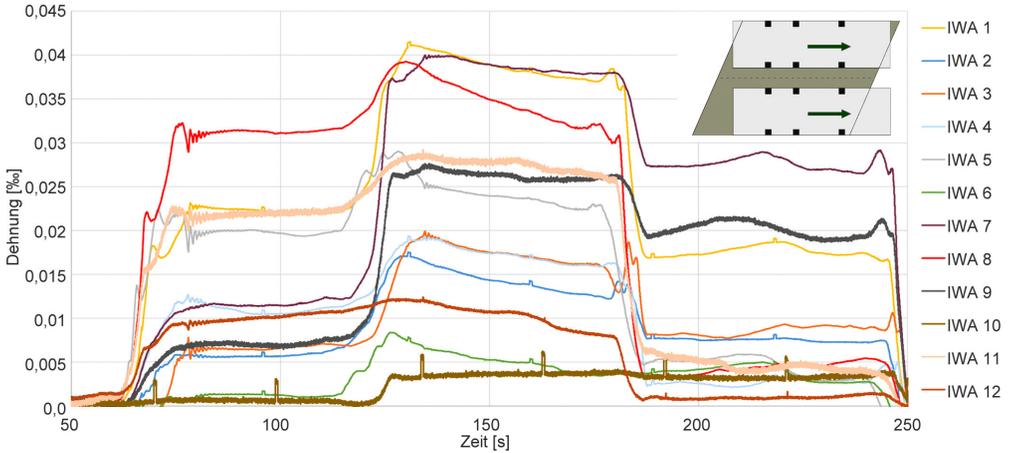


Bild 14: Messwertkurven der Dehnungsmessung unter Laststellung C

betrug $\approx 0,034 \text{ ‰}$. Unter Annahme eines Elastizitätsmoduls des Stahls von $\approx 200.000 \text{ N/mm}^2$ gemäß NRR [7] resultiert daraus eine Spannung von $\approx 6,8 \text{ N/mm}^2$. Für den betrachteten Lastfall betrug die Dehnung im Mittel $\approx 0,025 \text{ ‰}$, woraus eine durchschnittliche Spannung von $\approx 5,0 \text{ N/mm}^2$ abgeleitet werden kann. Im Ergebnis erscheinen diese Spannungswerte zunächst recht gering. Bei der Auswertung gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass diese Dehnungen nur aus dem Verkehr resultieren, da Beanspruchungen aus Eigengewicht bereits im Stahl eingepreßt sind. Aufgrund der kurzen Stützweite des Bauwerks und der Konstruktionshöhe ist zudem mindestens anteilig eine bogenartige Tragwirkung anzunehmen, wodurch die Biege-

beanspruchung geringer als bei einer reinen Platte ausfällt. Weiter ist unter Gebrauchslast von einem Lastabtrag überwiegend über die verbundsteifere Verstärkungsschicht auszugehen, siehe [15]. Die geringen Messergebnisse lassen ebenfalls darauf schließen, dass auch der Fahrbahnaufbau der Brücke maßgeblich an der Lastabtragung beteiligt ist.

5 Zusammenfassung und Dank

Bei den im Herbst 2020 durchgeführten In-situ-Belastungsversuchen an der carbonbetonverstärkten Plattenbrücke in Kleinsaubernitz zeigte das Bauwerk ein gutmütiges Verformungsverhalten und wies geringe Betonstahldehnungen

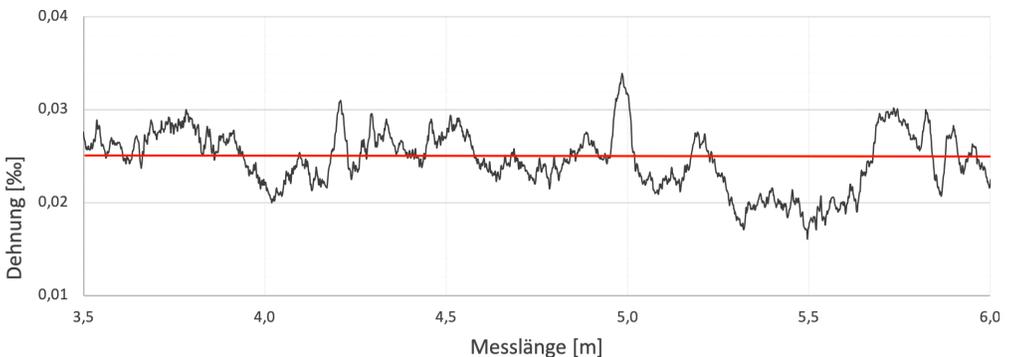


Bild 15: Messwertkurve (schwarz) und Mittelwert (rot) der faseroptischen Dehnungsmessung

auf. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus der Probelastung erfolgte letztlich eine Modellvalidierung, unter deren Berücksichtigung die Brücke als ausreichend tragsicher für die Höherstufung in die angestrebte Brückenklasse BK 60/30 bewertet werden konnte. Die Verstärkungsmaßnahme soll eine Verlängerung der Restnutzungsdauer des Bauwerks bis zum Jahr 2040 gewährleisten. Hinsichtlich des hier erprobten, neuartigen Einsatzes der Carbonbetonverstärkung stellt das Projekt einen wichtigen Entwicklungsschritt für die Etablierung dieser Ertüchtigungsmethode im Brückenbau dar.

Dank gilt an dieser Stelle neben dem Bauherrenvertreter und Projektpartner LISt Gesellschaft für Verkehrswesen und ingenieurtechnische Dienstleistungen mbH insbesondere der Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH für die Bereitstellung der Messtechnik und die gemeinsame Durchführung des Belastungsversuches. Des Weiteren gilt der Dank dem Fördermittelgeber Projektträger Jülich, welcher die Umsetzung und die Untersuchung dieser Pilotmaßnahme ermöglichte.

Literatur

- [1] Marzahn, G.; Maurer, R.; Zilch, K.; Dunkelberg, D.; Kolodziejczyk, A.: Die Nachrechnung von bestehenden Straßenbrücken aus Beton. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): Betonkalender 2013 – Teil 1: Lebensdauer und Instandsetzung, Berlin: Ernst & Sohn, 2013, S. 273–344
 - [2] Fischer, O.; Müller, A.; Lechner, T.; Wild, M.; Kessner, K.: Ergebnisse und Erkenntnisse zu durchgeführten Nachrechnungen von Betonbrücken in Deutschland. Beton- und Stahlbeton 109 (2014) 2, S. 107–127
 - [3] Steinbock, O.; Mertzsch, O.; Hampel, T.; Schmidt, N.; Curbach, M.: Systematische Nachrechnung des Brückenbestands Mecklenburg-Vorpommern – Interaktion zwischen Praxis und Forschung. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018) 4, S. 281–290 (überarbeitete und ergänzte Fassung des Beitrags "Interaktion zwischen Praxis und Forschung – Systematische Nachrechnung des Brückenbestands in M-V" zum 27. Dresdner Brückenbausymposium 2017)
 - [4] DIN 1072:1985-12: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen.
 - [5] Bewehrungsplan der Fahrbahnplatte Stahlbetonplattenbrücke Kleinsaubernitz. Angefertigt von Bau-Union Bautzen VEB, Bautzen, August 1951
 - [6] Prüfbericht 4036 – Ermittlung von Materialkennwerten. Angefertigt von HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Baustofflabor, 2019
 - [7] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Ausgabe 05/2011
 - [8] abZ Z-31.10-182: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton). DIBt, Berlin, 2014, aktueller Gültigkeitszeitraum 01.12.2016–01.06.2021 (online: https://textilbetonzentrum.de/images/AbZ_Z-3110-182.pdf)
 - [9] Verstärken mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau Spezial (2015), Januar
 - [10] Homepage des C³-Projekts: <http://www.bauen-neundenken.de/>.
 - [11] Wilhelm Kneitz Solutions in Textile GmbH: Produktdatenblatt SITgrid040. 2019
 - [12] Produktdaten Pagel TF10: <https://www.pagel.com/de/produkte/betoninstandsetzung/tf10-tudalit-feinbeton/>.
 - [13] Steinbock, O.; Curbach, M.: Gutachten zur Erlangung der ZiE für die Verstärkung der Baumaßnahme Brücke BW 5 im Zuge der S109 in Kleinsaubernitz, ASB-Nr. 4753514. TU Dresden, Institut für Massivbau, Dresden, 2019
 - [14] Steinbock, O.; Curbach, M.; Bösche, T.: Ertüchtigung einer Stahlbetonstraßenbrücke mit Carbonbeton. In: Foster, F.; Gilbert, R.; Mendis, P.; Al-Mahaidi, R.; Millar, D. (Hrsg.): Tagungsband zum 4. Brückenbaukolloquium – Fachtagung für Beurteilung, Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Brücken, 08./09.09.2020 an der Technischen Akademie Esslingen, Expert Verlag GmbH, 2020, S. 651–662
 - [15] Steinbock, O.: Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken unter Verwendung von Carbonbeton. Dissertation in Arbeit, TU Dresden, Fertigstellung geplant in 2021
 - [16] Steinbock, O.; Bösche, T.; Papst, F.: Ausführungsunterlagen BW 5 im Zuge der S109. Angefertigt von Curbach Bösche Ingenieurpartner Beratende Ingenieure PartG mbH, Dresden, 2019
 - [17] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): DAfStb-Richtlinie: Belastungsversuche an Betonbauwerken. Entwurf 08/2019
 - [18] Fischer, O.; Thoma, S.; Crepaz, S.: Quasikontinuierliche faseroptische Dehnungsmessung zur Rissdetektion in Betonkonstruktionen. Beton- und Stahlbeton 114 (2019) 3, S. 150–159
- Alle Internetquellen wurden am 08.02.2021 geprüft.

Bildquellen

Bilder 1, 3–5: O. Steinbock
 Bild 2: O. Steinbock, basierend auf [5]
 Bilder 6, 7: aus [16]
 Bilder 8–13: N. J. Giese

Schriftenreihe Konstruktiver Ingenieurbau Dresden Heft 55

Das 11. Symposium „Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen“ (SEUB) fand am 08. März 2021 als digitale Veranstaltung an der TU Dresden statt. Im vorliegenden Buch sind die schriftlichen Beiträge zusammengestellt.

In der Keynote Lecture wurde über Versuche an einem Brückenbauwerk sowohl in situ als auch im Prüflabor berichtet – eine Verifizierung, die nur selten vorkommt. Danach spannte sich der thematische Bogen über die Tragfähigkeit von Gewölbebrücken, berührungslose Messverfahren im Praxistest, über Monitoring und schwingungsbasierte Messungen an Bauwerken hin zu faseroptischen Messsystemen und ihren Einsatzmöglichkeiten bei der Risserfassung. In weiteren Beiträgen wurde eine neue Methode zur verbesserten Bestimmung des Chloridgehalts im Beton vorgestellt, über ein Verfahren zur Spanndrahtbruchdetektion mittels Schallemission und über das Potential des kathodischen Korrosionsschutzes berichtet. Mit einem Bericht über eine erfolgreiche Probelastung einer mit Carbonbeton verstärkten Plattenbrücke endete die Tagung.

Das 12. SEUB ist für März 2023 geplant.

Der vorliegende Tagungsband ist als digitale Version Open Access auf der Homepage des Instituts für Massivbau der TU Dresden abrufbar.

ISSN: 1613-6934

ISBN: 978-3-86780-665-7