



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



30. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM – ERGÄNZUNGSBAND 2021

**PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN**

8./9. MÄRZ 2021

WIR GESTALTEN AUTOBAHN



Leonhardt, Andrä und Partner
www.lap-consult.com

GESTALTUNGSHANDBUCH • MUSTERENTWÜRFE • AUSFÜHRUNGSPLANUNG

BAB A3, BW 400c
Foto: Hajo Dietz

© 2021 Technische Universität Dresden
Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.
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.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Sabine Wellner
Layout: Ulrich van Stipriaan
Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Die 1950 fertiggestellte Gänstorbrücke in Ulm soll 2024 abgebrochen und durch einen Neubau ersetzt werden. (Foto: Dicleli, 2008)

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

SSN 1613-6934
ISBN 978-3-86780-664-0

Brücken aus Stahl-UHFB

*Prof. Dr. Eugen Brühwiler, dipl. Ing. ETH/SIA/IABSE
ETH Lausanne (EPFL), Schweiz*

1 Einleitung

Im Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium habe ich in meinem Beitrag „Brücken aus bewehrtem UHPC (Stahl-UHFB)“ [1] den neuartigen Baustoff UHFB, seine grundlegenden, besonderen Eigenschaften im Vergleich zu herkömmlichen Betonen sowie sein Potential im konstruktiven Ingenieurbau im Allgemeinen und im Brückenbau im Speziellen vorgestellt. UHFB steht für einen zementgebundenen Ultra-Hochleistungs-Faserverbund-Baustoff, der in der SIA 2052 [2] geregelt ist. Der Begriff Stahl-UHFB wurde in Anlehnung an Stahlbeton gewählt und bezeichnet ein Komposit aus UHFB (mit Fasern) und Bewehrungsstahl. Stahl-UHFB kann sowohl mit schlaffer als auch mit Spannbewehrung ausgeführt werden.

Der Autor und sein Team an der ETH Lausanne (EPFL) forschen und entwickeln diesen neuartigen Baustoff UHFB seit mehr als 20 Jahren. Seit nunmehr 17 Jahren wird er vorwiegend für die Verstärkung und Abdichtung von Brücken-

cken- und Hochbauplatten eingesetzt. In der Schweiz sind mehr als 200 Anwendungen bekannt, zumeist zur Instandsetzung und Verstärkung von bestehenden Betonbauwerken, z. B. [3], [4]. Dass der Baustoff aber auch für neu zu bauende Brückentragwerke geeignet ist, wurde ebenfalls in [1] dargelegt. Ausführlich vorgestellt wurden Entwurf, Projektierung, Bemessung und Ausführung einer 6,0 m spannenden UHFB-Bahnbrücke – wahrscheinlich der ersten weltweit auf einer Hauptlinie, in jedem Fall aber der ersten ihrer Art in der Schweiz (Bild 1), s. a. [5]. Ergänzt wurden diese Ausführungen durch die Beschreibung eines kontinuierlichen, messtechnischen Bauwerksmonitorings zur Überwachung des Tragverhaltens der UHFB-Brücke, welches nach der Inbetriebnahme der Brücke installiert wurde, und eine Kostenbetrachtung.

Am Schluss des Beitrags wurden kurz zwei weitere Stahl-UHFB-Brücken vorgestellt. An dieser Stelle möchte ich im vorliegenden Ergänzungsband anknüpfen.



Bild 1 Straßenunterführung Unterwalden der Schweizer Bundesbahnen SBB Foto: E. Brühwiler (2018)



Bild 2 Stahl-UHFB-Fußgängerbrücke „Martinet“ in Lausanne (2015) mit feingliedrigem „organischem“ Steg, der die Fertigungsmöglichkeiten von UHFB demonstriert Foto: E. Brühwiler

2 Weitere Stahl-UHFB-Brücken

2.1 Drei Fußgängerbrücken in vorgespannter Segmentbauweise

Der Baustoff Stahl-UHFB wurde weltweit schon oft für den Bau von Fußgängerbrücken eingesetzt. In den vergangenen fünf Jahren wurden in der Schweiz drei Fußgängerbrücken nach dem gleichen Tragwerksentwurf, jedoch mit unterschiedlicher Querschnittsausgestaltung, gebaut. Der Brückenbalken ist aus Fertigteilen in Segmentbauweise zusammengesetzt. Die Fertigteile wurden mit geradlinigen Vorspannkabeln in den Unter- und Obergurten zusammengespannt, sodass im Gebrauchszustand der Trogquerschnitt in Längsrichtung unter einer über den Querschnitt gleichmäßigen Druckspannung steht. In Querrichtung ist der Querschnitt mit einzelnen Betonstahlstäben in den Querrippen schlaff bewehrt. Bei den drei Brücken sind die Stege des U-förmigen Trogquerschnitts leicht nach außen geneigt, um die Raum-

wirkung für den Nutzer auf der Brücke zu verbessern.

Bei der Martinet-Fußgängerbrücke in Lausanne (Bild 2) wurde ein asymmetrischer Trogquerschnitt ausgebildet, wobei mit der Gestaltung des „organischen“ Stegs die Möglichkeiten einer feingliedrigen Ornamentierung, die nur mit UHFB machbar ist, demonstriert werden sollte [6]. Der 15,4 m gespannte Brückenbalken ruht auf Lagern und Widerlagern aus Beton.



Bild 3 Stahl-UHFB-Fußgängerbrücke in Le Bouveret (2018): die Gestaltung des Brückenträgers wird durch die länglichen Aussparungen im Steg dominiert, die eine Transparenz und ein Lichtspiel bewirken Foto: Sollertia SA



Bild 4 Stahl-UHFB Fußgängerbrücke „Chaumény“ in Montreux (2020) mit Steggestaltung, nach Montage mit einem Pneukran in der Nacht vom 10. auf den 11. Oktober 2020 Foto: E. Brühwiler

Die Fußgängerbrücke in Le Bouveret (Bild 3) weist einen leicht gebogenen und 26,5 m weit gespannten, einfachen Brückenbalken auf, der aus Fertigteilen in Segmentbauweise zusammengesetzt ist [7]. Dieser Stahl-UHFB-Balken ist mit den Widerlagern monolithisch verbunden, um Lager zu vermeiden.

Die Fußgängerbrücke Chaumény in Montreux überspannt zwei Bahngleise mit einer Spannweite von 22,5 m und stützt sich auf einem UHFB-Pfeiler und einer Betonwiderlagerbank ab (Bild 4). Vom Pfeiler führt eine Treppe, ebenfalls in UHFB-Bauweise, auf das Terrain. Alle Bauwerksteile und Auflagerdetails wurden mit Frisch-UHFB monolithisch vergossen, womit Ausrüstungsteile wie Lager oder Fugen vermieden werden konnten.

2.2 Zwei UHFB-Holz-Verbundbrücken für Forst- und Landwirtschaftsverkehr

Aus heutiger Sicht kann die traditionelle Verbundbauweise in Stahl-Beton und Holz-Beton als veraltet betrachtet werden, denn Stahlbeton ist ein vergleichsweise minderwertiger Partner zu Stahl, aber auch zu Holz. Fahrbahnplatten aus Stahlbeton von Stahl-Beton-Verbundbrü-

cken sind zudem rissanfällig und zeigen häufig bedeutende Schäden infolge Bewehrungskorrosion. Zudem dominiert die relativ schwere Stahlbetonplatte die Bemessung von Verbundbrücken und damit den Verbrauch von Stahl respektive Holz.

Demgegenüber ist der Baustoff UHFB ein wesentlich leistungsfähigerer Partner, insbesondere für den hochleistungsfähigen Baustahl, aber auch für Holz. Mit UHFB lässt sich im Vergleich zur traditionellen Stahlbetonplatte eine etwa 3- bis 4-mal leichtere Fahrbahnplatte bemessen, die zudem keine Risse aufweist und dauerhaft ist. Auch kann der Baustoffverbrauch von UHFB-Stahl- resp. UHFB-Holz-Verbundbrücken im Vergleich z. B. zu herkömmlichen Stahlbetontragwerken stark reduziert und damit die Umweltbilanz deutlich verbessert werden.

Die Gletschersandbrücke wurde 2018 in der Bergregion oberhalb Grindelwald für Forst- und Landwirtschaftsverkehr sowie für einen Hauptwanderweg gebaut. Es handelt sich um die Schweiz-weit erste Holz-UHFB-Verbundbau- brücke (Bild 5) [8], s. a. [1]. Die Verwendung von UHFB (mit Betonstahlstäben in Querrichtung) in Verbindung mit gebogenen Brett-schicht-holzträgern brachte zahlreiche Vorteile der Leichtbauweise mit sich, die eine vereinfachte

Baurealisierung in einem abgelegenen Gebiet ermöglichte. Der UHFB überzeugte durch seine mechanischen Eigenschaften, die eine dünne Fahrbahnplatte ermöglichten, und durch seine Wasserundurchlässigkeit und Befahrbarkeit. Die UHFB-Platte übernimmt neben der statischen Funktion auch die Funktion der Brückenabdichtung und der Fahrbahnoberfläche, die mit einer Splittkieseinstreuung versehen ist und ein natürliches Erscheinungsbild ergibt.



Bild 5 Gletschersandbrücke bei Grindelwald, Schweiz – eine Holz-UHFB-Verbundbaubrücke (2018); das Foto zeigt die Arbeiten der Splittkieseinstreuung Foto: E. Brühwiler

Nach dem gleichen Entwurfsprinzip für die UHFB-Holz-Verbundbauweise wurde im Jahre 2020 die Fruttlibrücke mit einer Spannweite von 10 m gebaut (Bild 6), [9]. Das Tragwerk wurde für das Normlastmodell für Straßenlasten bemessen. Die Oberfläche der 3,5 m breiten und 80 mm dicken UHFB-Fahrbahnplatte ist direkt befahrbar, indem Längsrillen zur Gewährleistung der erforderlichen Griffigkeit eingefräst und hervorstehende Stahlfasern durch Abflämmen entfernt worden waren. Die Baukosten lagen geringfügig tiefer als diejenigen für die Variante einer konventionellen Stahlbetonbrücke; die Bauzeit konnte jedoch deutlich verkürzt werden. Weitere Argumente zur Wahl der UHFB-Holz-Verbundbrücke sind die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit sowie die vorteilhafte Ökobilanz. Ein Großteil des für den verwendeten Zement und Stahl der UHFB-Platte ausgestoßenen CO₂ ist im verbau-

ten Holz enthalten. Die Brückenkonstruktion ist somit beinahe CO₂-neutral.

Diese UHFB-Holz-Verbundbrücken sind aus Sicht der Nachhaltigkeit sehr attraktiv und werden wohl zu einer Regelbauweise werden und dies nicht nur in natürlicher Umgebung. Weitere ähnliche Projekte sind bereits in Planung.

2.3 Erste Straßenbrücke aus Stahl-UHFB in der Schweiz

Im November 2020 wurde in der Schweiz die erste Straßenbrücke aus Stahl-UHFB als zweispurige Zugangsbrücke zu einem Industriegelände gebaut (Bild 7). Die Brücke führt über einen Fluss. Aufgrund der Anforderungen an den Freiraum für das Hochwasser musste die Konstruktionshöhe minimal gehalten werden. Das wichtigste Projektziel bestand darin, eine möglichst unterhaltsame Konstruktion bei möglichst tiefen Baukosten zu realisieren.



Bild 6 Fruttlibrücke in UHFB-Holz-Verbundbauweise (2020) Foto: E. Kälin

Der Brückenbalken ist ein 25,0 m gespannter Plattenbalken mit variabler Trägerhöhe, bestehend aus einem Querschnitt mit vier Fertigteilträgern (Bild 8). In Feldmitte beträgt die Trägerhöhe 1,25 m, die sich im Randbereich auf

0,75 m über dem Auflager verjüngt. Die variable Trägerhöhe ergibt sich aus dem relativ steilen Anstieg der Straßen in den Anschlüssen an die Brücke. Die vier Träger des monolithischen Plattenbalkens weisen einen konventionellen, T-förmigen Querschnitt auf, jedoch mit stark reduzierten Bauteildicken gegenüber traditionellen Stahlbetonträgern (Bild 8).

Die Fertigteilträger wurden auf beiden Betonwiderlagerbänken auf Neoprenauflagern aufgelegt. Dann wurde zur Vervollständigung der Fahrbahnplatte eine 50 mm dicke Stahl-UHFB-Schicht auf die vier Träger aufgebracht. Dabei wurden auch die drei Längsfugen zwischen den Fertigteilträgern vergossen und der Endquerträger an den beiden Brückenden hergestellt, sodass eine monolithische Konstruktion entstand. Durch das Fräsen von Längsrillen wurde die befahrbare, rutschfeste UHFB-Oberfläche erhalten.



Bild 7 Stahl-UHFB-Straßenbrücke: Aufnahme der Montage des Zweiten von vier Fertigteilträgern Foto: L. Boiron

3 Folgerungen und Ausblick

Die Stahl-UHFB-Bauweise beinhaltet die effiziente Kombination von Stahl und Zement als Grundidee. Die Stahl-UHFB-Bauweise im Brückenbau mit einem aus vergleichsweise dünnen Platten und versteifenden Rippen zusammengesetzten Querschnitt ist vom Stahlbau inspiriert, setzt jedoch die Vorspanntechnologie und gegossene Verbindungen gezielt ein.

Wegen seiner hohen Festigkeit und Dauerhaftigkeit ist Stahl-UHFB insbesondere für stark beanspruchte Brücken geeignet. Zudem ermöglicht Stahl-UHFB eine einfache Bemessung und Ausführung bei beschleunigtem Bauvorgang, wobei die Baukosten die Größenordnung der traditionellen Bauweisen nicht übersteigen. Der Baustoff UHFB eröffnet neue Perspektiven und ressourcenschonende Anwendungen, da UHFB-Tragwerke relativ leicht sind, d. h., pro Baustoffvolumeneinheit wird relativ viel Nutzlast aufgenommen, und gegenüber der Stahlbetonbauweise wird für die glei-

che Tragfunktion deutlich weniger Zement und etwa die gleiche Stahlmenge (Fasern mit eingerechnet) verbraucht. Ein großes Entwicklungspotenzial der UHFB besteht im Verbund mit Stahl oder Holz.

In diesem Beitrag wurden nur ausgeführte Brückenprojekte beschrieben, zu deren Entwurf, Bemessung und Ausführung der Autor wesentlich beigetragen hat. Die zahlreichen weiteren Projekte, die momentan in allen Brückensparten in Planung, Projektierung oder Ausschreibung sind, zeigen die zunehmende Nachfrage nach Brücken aus Stahl-UHFB.

Schließlich sei auf ein weiteres Entwicklungspotenzial hingewiesen, welches in der Kombination von UHFB (mit Dehnungsverfestigung) und Carbonbewehrung besteht. Der so gewonnene Baustoff „Carbon-UHFB“ könnte – gegenüber Carbonbeton – zu einer entscheidenden Verbesserung des Tragverhaltens von entsprechenden Tragwerken vor allem im Gebrauchszustand führen.

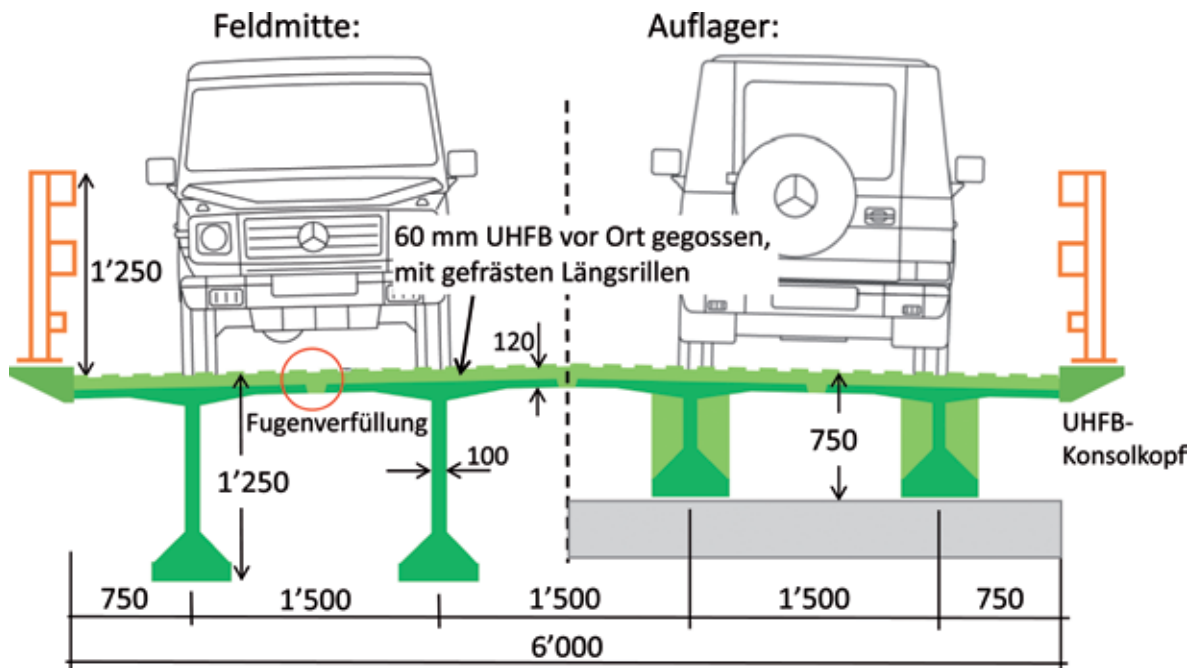


Bild 8 Stahl-UHFB-Straßenbrücke: Querschnitt (Vorprojekt) in Feldmitte und am Auflager, Variante mit schlaffer Bewehrung im Untergurt (2020) Zeichnung: E. Brühwiler

Literatur

- [1] Brühwiler, E.: Brücken aus bewehrtem UHPC (Stahl-UHFB). In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 30. Dresdner Brückenbausymposium, verlegt auf den 09.03.2021, Dresden: TU Dresden, 2020, S. 33–43
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (Hrsg.): Merkblatt SIA 2052 UHFB – Baustoffe, Bemessung, Ausführung. Zürich, 2016 (momentan in Überarbeitung)
- [3] Brühwiler, E.; Denarié, E.; Putallaz, J.-C.: Instandsetzung einer Betonbrücke mit ultrahochleistungsfähigem Faserfeinkornbeton (UHFB). Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005) 8, S. 822–827
- [4] Brühwiler, E.; Bastien-Masse, M.; Mühlberg, H.; Houriet, B.; Fleury, B.; Cuennet, S.; Schär, P.; Boudry, F.; Maurer, M.: Design of the strengthening of the Chillon viaducts deck slabs with reinforced UHPFRC. In: IABSE (International Association of Bridge and Structural Engineering) Zurich Switzerland (Hrsg.): Proc. of IABSE Conf., 23.–25.09.2015 in Genf (Schweiz), 2015, S. 1171–1178
- [5] Brühwiler, E.; Friedl, H.; Rupp, C.; Escher, H.: Bau einer Bahnbrücke aus bewehrtem UHFB – Weltweit erste Bahnbrücke aus UHFB auf einer Hauptlinie. Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019) 5, S. 337–345
- [6] Robyr, D.; Galrito, R.; Brühwiler, E.: Passerelle du Martinet en BFUP armé. In: Proc. of 2ème Journée d'étude BÉTON FIBRÉ ULTRA-PERFORMANT – concevoir, dimensionner, construire | 2. Fachtagung ULTRA-HOCHLEISTUNGS-FASERBETON – entwerfen, bemessen, bauen, 22.10.2015 in Fribourg (Schweiz), 2015, S. 75–88
- [7] Teixeira, R.; Laurecet, P.; Brühwiler, E.: Passerelle intégrale en CFUP au Bouveret. In: Brühwiler, E.; Oesterlee, C.; Redaelli, D. (Hrsg.): Proc. of 3ème Journée d'étude BÉTON FIBRÉ ULTRA-PERFORMANT – concevoir, dimensionner, construire | 3. Fachtagung ULTRA-HOCHLEISTUNGS-FASERBETON – entwerfen, bemessen, bauen, 24.10.2019 in Fribourg (Schweiz), 2019, S. 169–178 – <https://www.heia-fr.ch/media/mk115m0a/tagungsband-uhfb-2019.pdf> (geprüft am 18.11.2020)
- [8] Berchtold, M.-A.; Hemmi, A.; Lauber, G.: Neubau Gletschersandbrücke in Grindelwald. In: Brühwiler, E.; Oesterlee, C.; Redaelli, D. (Hrsg.): Proc. of 3ème Journée d'étude BÉTON FIBRÉ ULTRA-PERFORMANT – concevoir, dimensionner, construire | 3. Fachtagung ULTRA-HOCHLEISTUNGS-FASERBETON – entwerfen, bemessen, bauen, 24.10.2019 in Fribourg (Schweiz), 2019, S. 145–150 – <https://www.heia-fr.ch/media/mk115m0a/tagungsband-uhfb-2019.pdf> (geprüft am 18.11.2020)
- [9] Kälin, E.: Erste Schweizer Holz-UHFB-Verbundbaubrücke für Schwerlasten: Neubau der Fruttlibrücke am Fuß der Rigi. BRÜCKENBAU 4 (2020), S. 36–39



BUNDEAUTOBAHN A1 | AS KÖLN-NIEHL – AK LEVERKUSEN-WEST

8-streifiger Ausbau inklusive Ersatzneubau der Rheinbrücke Leverkusen

Gesamtplanung

Verkehrsanlagen, Ingenieurbauwerke, Baugestalterische Beratung, Visualisierung, Geotechnik, Deponie, Emissionsschutz, Methodik Kampfmittelfreiheit, Lärmschutz, Luftschadstoffe, Aerodynamik, Windkanal, Hydraulik, Modellgerinne, Soilmorphologie, Kolkschutz, Bauleistik und SiGeKo





Die Verbindung von Funktion und Konstruktion

Mit ganzheitlichem Denken, eigenständigen Entwicklungen, ansprechender Gestaltung und insbesondere mit kompetenten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterstützen wir unsere Auftraggeber bei der Realisierung ihrer anspruchsvollen Bauvorhaben. Im Großbrückenbau betreuen wir Projekte mit unterschiedlichen Tragkonstruktionen in allen relevanten Bauverfahren wie Freivorbau, Lehrgerüst oder Takt-schieben. Auch in anderen Bereichen des Bauwesens sind wir für Sie planend, überwachend, prüfend und gutachterlich tätig.

Unsere Tätigkeitsbereiche im Konstruktiven Ingenieurbau:

Straßen- und Eisenbahnbrücken | Geh- und Radwegbrücken | Stützbauwerke und Lärmschutzwände | Tunnel in allen Bauweisen | Trogbauwerke | Grünbrücken

Gemeinsam
mehr
erreichen

BAB A40 Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp
Ingenieurgemeinschaft EHS – BUNG – Lavis



BAB A1 Rheinbrücke Leverkusen
Ingenieurgemeinschaft EHS – BUNG – Bechert

Unternehmensgruppe BUNG | Englerstraße 4 | 69126 Heidelberg | Tel.: 06221 306-0 | info@bung-gruppe.de
www.bung-gruppe.de

KLÄHNE BUNG Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH | Behrenstraße 29 | 10117 Berlin
Tel.: 030 275639-0 | post@kl-ing.de | www.kl-ing.de

KLÄHNE
BUNG

BUNG

5	Grußwort
7	Entwicklung des Instituts für Massivbau – wie geht es weiter?
11	Brücken aus Stahl-UHFB
19	„Denkmalschutz ist vom Tisch!“ – Denkmalpflege und Denkmalschutz im Ingenieurbau
37	Bemessung der Carbonbetonbrücke in Ottenhöfen
49	Stadtbahnbrücke über die A8 in Stuttgart – Eine integrale Netzwerkbogenbrücke mit Carbonhängern
63	Nichtmetallische Bewehrung im Großbrückenbau – Kappenverbreiterung Carolabrücke Dresden
79	Stadtbahnbrücke über die A8 in Stuttgart – Eine integrale Netzwerkbogenbrücke mit Carbonhängern
91	Chronik des Brückenbaus
111	Inserentenverzeichnis