



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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



30. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

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

9./10. MÄRZ 2020

© 2020 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, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Fehmarnsundbrücke, Zeichnung von Gerd Lohmer
Broschüre Rotary und die Kunst / Gerd Lohmer
(aus dem Privatarchiv von Bettina Lohmer)

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

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-625-1



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

30. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau

Freunde des Bauingenieurwesens e.V.

TUDIAS GmbH

9. und 10. März 2020

Inhalt

Grußwort des Rektors	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	
Entwicklung des Instituts für Massivbau – Lehre und Forschung im Brückenbau an der TU Dresden	13
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Die neue Erhaltungsstrategie des Bundes – Planung und Bau von Brücken auf den Hauptverkehrsrouten	27
<i>MR Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Brücken aus bewehrtem UHPC (Stahl-UHFB)	33
<i>Prof. Dr. Eugen Brühwiler, dipl. Ing. ETH/SIA, IABSE</i>	
Nutzung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) im ASTRA – Rückblicke und Perspektiven	47
<i>Stéphane Cuennet, Guido Biaggio</i>	
Neufassung der Nachrechnungsrichtlinie für Massivbrücken	57
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger, Viviane Adam M.Sc., Dr.-Ing. Frederik Teworte, Dr.-Ing. Naceur Kerkeni</i>	
Historische Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz	71
<i>Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Markus Köppel, Dipl.-Ing. Jens Müller</i>	
85 Jahre Autobahnbrückenbau – 30 Jahre Dresdner Brückenbausymposium	83
<i>Dipl.-Ing. Werner Buhl</i>	
Gerd Lohmer (1909–1981) Der Brückenarchitekt der Nachkriegszeit	101
<i>Prof. Cengiz Dicleli</i>	
Ersatzneubau der Rheinbrücke Leverkusen – Gesamtplanung des 8-streifigen Ausbaus der A1 zwischen Köln und Leverkusen	123
<i>Dipl.-Ing. (FH) Nicole Ritterbusch, Dr. sc. techn. Hans Grassl, Dominic Reyer, M.Sc.</i>	
Ein neuer Schritt im Großbrückenbau: Querverschub einer Verbundbrücke mit Pfeilern und Gründung bei der Talbrücke Rinsdorf im Zuge der A 45	139
<i>Dipl.-Ing. Roger Istel, Dipl.-Ing. Ralf Schubart</i>	
S-Bahn-Querung im neuen Stuttgarter Tiefbahnhof S21 – erstmaliger Einsatz von interner verbundloser Vorspannung bei der DB AG	149
<i>Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser, Dipl.-Ing. Angelika Schmid, Prof. Dr.-Ing. Christian Sodeikat</i>	
Reduzierte Bauzeit bei Ersatzneubauten von Straßenbrücken durch Carbonbeton	165
<i>Dr.-Ing. Sergej Rempel, Dipl.-Ing. (FH) Eugen Kanschin</i>	
Robust, wirtschaftlich und schön – der Entwurf von integralen Brücken	177
<i>Dipl.-Ing. Andreas Keil</i>	
Neubau der Busbrücke über den Bahnhof in Zwolle	191
<i>Dr.-Ing. Gerhard Setzpfandt, Tristan Wolvekamp MSc, Dipl.-Des. Marion Kresken</i>	
Katastrophen vermeiden: Brückenmonitoring mit einem Netzwerk leistungsstarker dreiachsiger MEMS-Beschleunigungssensoren	207
<i>Dipl.-Ing. Ulrich Dähne</i>	
Brückenvielfalt in Süddeutschland und den Alpen – Bericht zur Brückenexkursion 2019	213
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Philipp Riegelmann</i>	
Chronik des Brückenbaus	227
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	

Reduzierte Bauzeit bei Ersatzneubauten von Straßenbrücken durch Carbonbeton

Dr.-Ing. Sergej Rempel¹, Dipl.-Ing. (FH) Eugen Kanschin²

Zusammenfassung

Bei der Planung von Brücken werden mehrere Anforderungen gestellt. Es wird immer mehr auf den umwelt- und ressourcenschonenden Einsatz von Baustoffen geachtet, um zum einen den CO₂-Fußabdruck so gering wie möglich zu halten und zum anderen Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Ein weiterer Punkt, der immer wichtiger wird, ist eine reduzierte Bauzeit der Brückenbauwerke. Die damit verbundenen Verkehrsstörungen können einen volkswirtschaftlichen Schaden anrichten, den es gilt, so gering wie möglich zu halten. Mit der innovativen Carbonbetonbauweise können die genannten Anforderungen erfüllt werden, was die realisierten Straßenbrücken in Margrethausen, Pfeffingen und Gaggenau belegen.



Bild 1: Ansicht der Carbonbetonbrücke in Margrethausen

Foto: solidian GmbH



Bild 2: Ansicht der Carbonbetonbrücke in Pfeffingen

Foto: solidian GmbH

1 Einleitung

Carbonbeton ist ein Verbundwerkstoff aus den beiden Komponenten Beton und Carbonbewehrung. Für die Herstellung der Bewehrung werden technische Textilien aus Carbonfilamenten verwendet. Ein maßgebender Vorteil ist die Korrosionsbeständigkeit der Faser, wodurch die Betondeckung auf wenige Millimeter reduziert werden kann. Im Gegensatz zum Stahlbeton können so schlanke Betonbauteile produziert werden [1]–[4]. Zusätzlich kann im Vergleich zu herkömmlichen Stahlbetonbauten auf bituminöse Beschichtungen auf der befahrbaren Oberfläche der Brücke verzichtet

werden, da die korrosionsresistente Bewehrung keinen Schutz gegen Chloride benötigt [5], [6]. Folglich werden Sanierungsarbeiten erheblich reduziert, da der übliche Austausch der Bitumenabdichtung nicht erforderlich ist. Besonders Brückenbauwerke profitieren von den Vorteilen. Ein Beispiel dafür sind die ersten hybriden Straßenbrücken in Margrethausen und Pfeffingen aus Carbonbeton (Bilder 1 und 2).

Wenn die Betondeckung bei Stahlbetonbauwerken zu gering ausgeführt wird, können

¹ solidian GmbH, Albstadt

² Grötz GmbH, Gaggenau

Schäden infolge von Stahlkorrosion auftreten. Die Folge sind Risse und Betonabplatzungen, die nicht nur optische Mängel darstellen, sondern auch die Tragfähigkeit gefährden können. In einigen Fällen sind die dafür notwendigen Instandsetzungskosten so hoch, dass ein Neubau wirtschaftlicher ist. Ein Beispiel dafür sind die Straßenbrücken in Gaggenau (Bild 3). Die ursprünglichen Brücken mussten aufgrund erheblicher Schäden durch neue Bauwerke ersetzt werden.



Bild 3 Ansicht der Unterseite einer der Brücken in Gaggenau

Foto: RS Ingenieure

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Herstellung von Brücken ist die Bauzeit. In vielen Fällen ist eine kurze Baustellenphase nicht nur wünschenswert, sondern auch erforderlich. Besonders bei Straßensperrungen wird der Verkehr behindert und eine umständliche Umleitung wird erforderlich. Das kann zu höheren Kosten führen und verärgert die betroffenen Bürger. Eine kurze Bauzeit kann mit Fertigteilen realisiert werden.



Bild 4 Carbonbewehrung solidian GRID Q95/95-CCE-38 der Firma solidian GmbH

Foto: solidian GmbH

Für diese Bauweise ist der Carbonbeton ausgesprochen geeignet. Infolge der vorgefertigten Carbonbewehrung kann der Einbau im Fertigteilwerk schnell und kostengünstig erfolgen. Ein weiterer Vorteil sind die leichteren Bauteile, die für eine Reduzierung der Transportkosten sorgen. Die Fertigteilbauweise wird wegen der geringeren Betondeckung und der damit einhergehenden geringeren Toleranz für den Carbonbeton sogar empfohlen.

den wurde bei den hier vorgestellten Brücken das Gelege solidian GRID Q95/95-CCE-38 verwendet (Bild 4). Eine detaillierte Beschreibung der Herstellung und der Materialeigenschaften der textilen Bewehrungen geben z. B. Gries et al. [10], [11].

2 Materialien

2.1 Textile Bewehrung

Die textile Bewehrung besteht aus Carbonfilamenten und wird in gitterartigen Strukturen hergestellt (Bild 4). Die Gelege erreichen hohe Zugfestigkeiten von teilweise über 4000 N/mm^2 [7]. Zudem besitzen sie eine gute Dauerstandfestigkeit [8], [9]. Gleichzeitig ist die Bewehrung korrosionsbeständig und optimal für Bauwerke mit Chloridangriff geeignet. Aus diesen Grün-

Die verwendete Bewehrung hat eine Maschenweite von 38 mm und ist mit Epoxidharz getränkt. Das Harz sorgt dafür, dass die inneren Filamente beim Lastabtrag durch die Verklebung direkt mitwirken können. Dies erzeugt einen homogenen Querschnitt. Der dadurch entstehende maßgebende Vorteil ist die höhere Zugfestigkeit, die im Vergleich zu ungetränkten Bewehrungen fast dreimal so hoch liegt [12], [13]. Somit können wirtschaftliche Bewehrungselemente produziert werden. Gleichzeitig sind getränkte Bewehrungen robust und vereinfachen das Arbeiten damit. Das ist für einen praxistauglichen Masseneinsatz notwendig. Die wichtigsten Materialeigenschaften der verwendeten Carbonbewehrung sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Eigenschaften der eingesetzten Carbonbewehrung solidian GRID Q95/95-CCE-38 [14]

Eigenschaften		
Fasermaterial	Carbon	
Faserstrang	Hersteller	solidian GmbH
	Bezeichnung	GRID Q95/95-CCE-38
	E-Modul (Mittelwert) [N/mm ²]	205.000
	Bruchspannung (Mittelwert) [N/mm ²]	3.200
	Bruchdehnung (Mittelwert) [%]	15,6
	Querschnittsfläche [mm ²]	3,62
Bewehrungsmatte	Querschnittsfläche je Meter [mm ² /m]	95
	Abmessungen [m × m]	5,0 × 1,2
	Abstand Faserstrang [mm]	38
Tränkung	Epoxidharz	

2.2 Beton

Aufgrund der korrosionsresistenten Carbonbewehrung kann auf eine Schutzschicht verzichtet werden. Somit wird die Betonoberfläche direkt befahren. Aus diesem Grund war es wichtig, dass die Expositionsklasse XF4 für eine Umgebung mit hoher Wassersättigung mit Taumittel eingehalten wird. Die Realisierung erfolgte nicht mit dem oft verwendeten Luftporenbeton (LP), sondern durch die hohe Dichtigkeit der Betone. Damit einhergehend stieg auch die Festigkeit der Betonsorten. Während bei den Brücken in Margrethausen und Peffingen eine mittlere Festigkeit von 90 N/mm² erreicht wurde, konnte beim Bauwerk in Gaggenau eine Druckspannung von 78 N/mm² erzielt werden.

Bei der Entwicklung der Rezeptur für die Brücken in Gaggenau wurde darauf geachtet, dass die Norm EN 206 [15] eingehalten und somit ein sogenannter Normbeton verwendet wird. Das hat zum Vorteil, dass auf aufwendige Bau-

stoffuntersuchungen verzichtet werden kann. Zum einen werden dadurch Kosten reduziert und zum anderen kann der Beton sofort eingesetzt werden. Ein anderer wichtiger Punkt war das Größtkorn. Aufgrund der geringen Maschenweite der Carbonbewehrung musste der Durchmesser auf 8 mm begrenzt werden, um eine gute Betonierbarkeit sicherzustellen. Die wichtigsten Materialeigenschaften des Betons sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

3 Brückendaten und Konstruktionsdetails

3.1 Straßenbrücken in Gaggenau

Die zwei baugleichen Straßenbrücken in Gaggenau sind Überführungen über den Eckbach in Gaggenau. Der Unterbau ist ein U-Profil, das nach oben hin offen ist und aus herkömmlichem Stahlbeton hergestellt wurde. Der Überbau besteht aus einer reinen Carbonbetonplatte, die gelenkig auf dem Unterbau positioniert

Tabelle 2 Materialeigenschaften der verwendeten Betonsorten

Eigenschaften		Peffingen und Margrethausen	Gaggenau
Festigkeitsklasse		C70/85	C50/60
Betonsorte	Hersteller	Max Bögl	Grötz GmbH
	Größtkorn [mm]	5	8
	Druckfestigkeit (Würfel) [N/mm ²]	90	78
	Expositionsklasse	XF4	XF4

wird. Für die Übertragung der Bremskräfte werden für die Verbindung der beiden Bauteile Schubdollen eingesetzt (Bild 5). Alle Bauteile waren Fertigteile und wurden in dem Werk der Firma Grötz GmbH hergestellt.

Die Brücken kreuzen den Bach in einem Winkel von 61 gon, weshalb die Bewehrung verdreht eingebaut worden ist (Bilder 6 und 7). Die Schnittgrößen wurden ebenfalls mit dem gedrehten Koordinatensystem ermittelt. Das Bauwerk hat eine Länge von 7 m und eine Breite von 3,1 m. Die Stärke der Platte beträgt 40 cm, wovon ein Zentimeter als Verschleißschicht angesetzt wird. Die Betondeckung beträgt 2 cm.

Die Brücken wurden für das Lastmodell 1 (LM1) nach EC 1 [16] bemessen. Infolge der hohen Lasten konnte die Querkrafttragfähigkeit nicht ausschließlich mit der Längsbewehrung nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen University eine Querkraftbewehrung entwickelt. Hierfür wurden modifizierte Doppel-C-Profile aus der Bewehrung Q95/95-CCE-38 hergestellt und alle 40 cm eingebaut [17] (Bild 8).

Der Unterbau wurde in konventioneller Stahlbetonbauweise mit der Betonfestigkeitsklasse C 30/37 hergestellt und nach der Stahlbetonnorm EC 2 [18] bemessen. Eine Herstellung aus Carbonbeton war aus technischer Sicht möglich und auch erwünscht, allerdings hätten die Nachweise für das Rahmeneckmoment nur experimentell geführt werden können. Die dafür notwendige

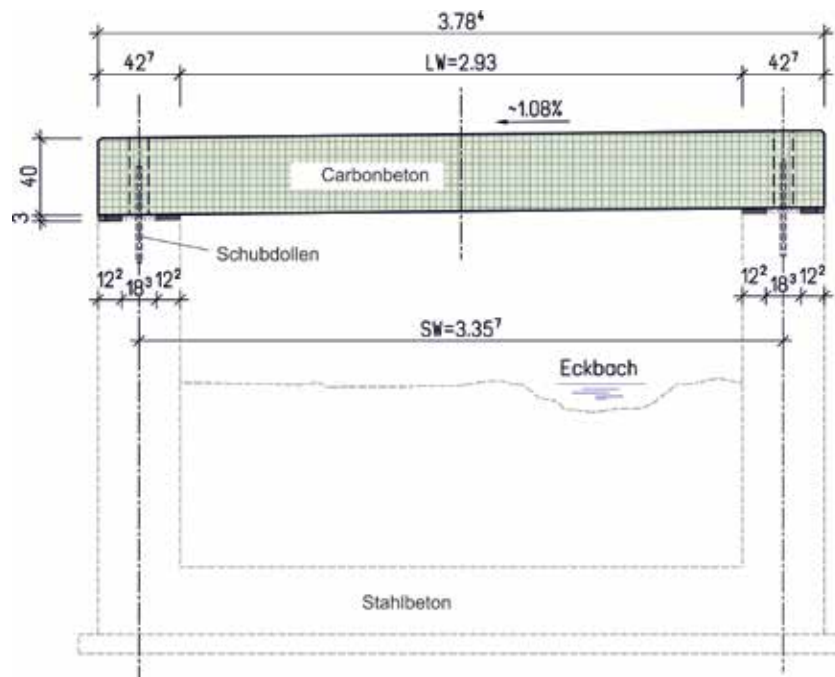


Bild 5 Querschnitt von Unter- und Überbau Zeichnung: R+S Ingenieure

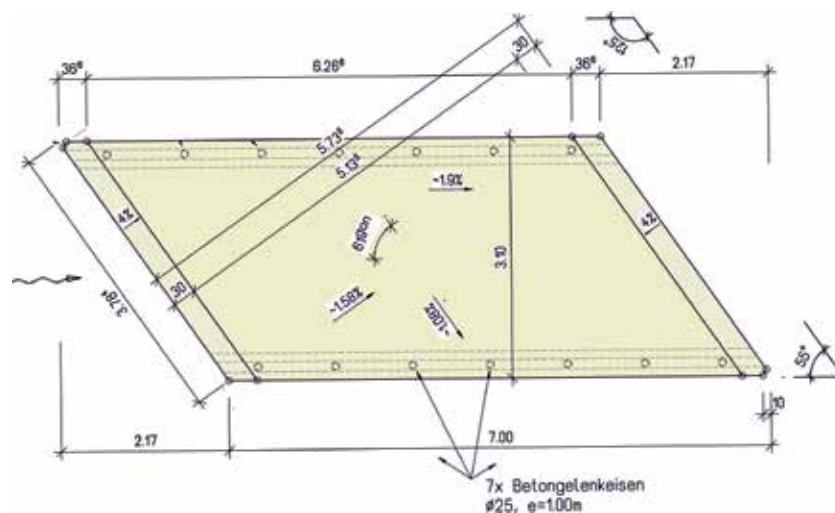


Bild 6 Draufsicht der Carbonbetonplatte Zeichnung: R+S Ingenieure

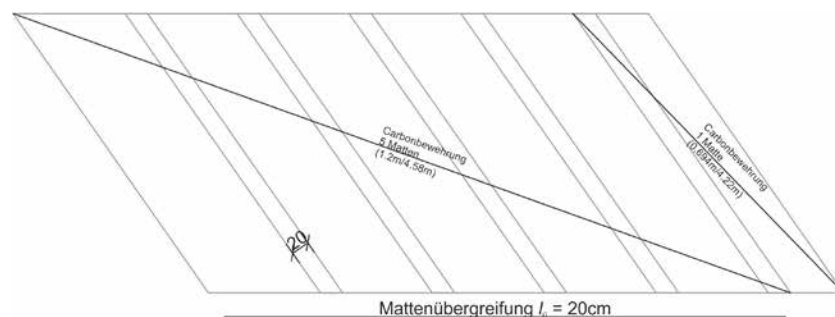


Bild 7 Bewehrungsplan der Carbonbetonplatte Zeichnung: solidian GmbH

Zeit war in diesem Projekt nicht gegeben. Auf die Bemessung und Herstellung des Unterbaus

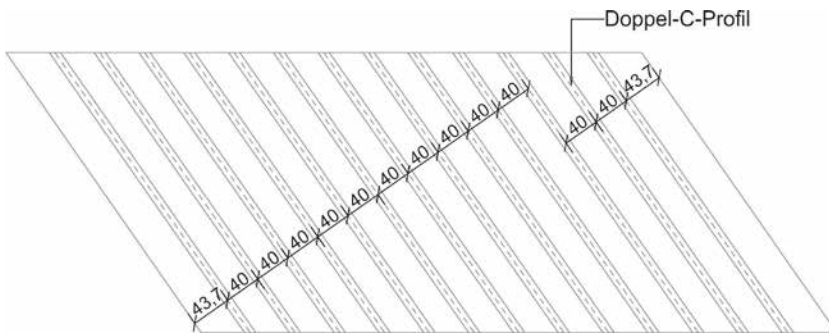


Bild 8 Verlegeplan der Doppel-C-Profile Zeichnung: solidian GmbH

in bewährter Stahlbetonbauweise wird in diesem Beitrag nicht eingegangen.

3.2 Straßenbrücken in Margrethausen und Pfeffingen

Die Straßenbrücken in Margrethausen und Pfeffingen mussten infolge der vorhandenen Schäden abgerissen werden. Die alte Tragkon-



Bild 9 Modell der Brücke in Margrethausen Zeichnung: IMB RWTH Aachen

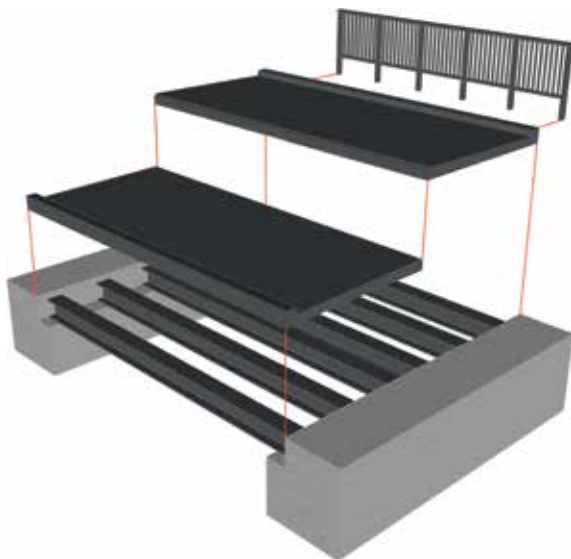


Bild 10 Modell der Brücke in Pfeffingen Zeichnung: IMB RWTH Aachen

struktion aus Holzbohlen und Asphaltsschicht wurde durch eine neue und dauerhafte Hybridlösung ersetzt. Sie besteht aus Stahlträgern, die in Längsrichtung den Lastabtrag sichern, und der in Querrichtung tragenden Carbonbetonplatte. Die Verbindung der Elemente erfolgt nachträglich und nur punktuell, um die Bremskräfte abtragen zu können. Eine Verbundwir-

kung wurde hier ausgeschlossen. Die Abmessungen der zwei Brücken unterscheiden sich, das Tragsystem ist identisch (Bilder 9 und 10).

Die Carbonbetonplatten wurden zur Sicherstellung der Entwässerung in Querrichtung gevoutet hergestellt. Sie sind an der dünnsten Stelle lediglich 140 mm hoch und wachsen zur Mitte hin auf 180 mm an. Am Rand befindet sich ein 100 mm hohes Schrammbord, um eventuell abirrende Fahrzeuge zu stoppen. Die Brücke in Margrethausen ist ca. 6,5 m lang und 5,7 m breit und für ein 24-Tonnen-Fahrzeug zugelassen. Im Gegensatz dazu ist die Schwesterbrücke in Pfeffingen knapp 4 m länger und etwa 2 m schmaler und ist für eine zulässige Gesamtlast von 40 Tonnen ausgelegt. Die Brücke passt sich den örtlichen Randbedingungen an und wurde rautenförmig hergestellt [19].

4 Tragfähigkeitsnachweise

4.1 Straßenbrücke in Gaggenau

Aufgrund der noch fehlenden bauaufsichtlichen Regelungen für die Verwendung von Textil- bzw. Carbonbeton musste der Bau der Carbonbetonbrücken im Rahmen einer ZIE genehmigt werden. Die Ermittlung der Biegetragfähigkeit erfolgte durch eine iterative Biegebemessung [20]. Bei diesem Verfahren wird die Dehnungsebene variiert, bis Kräfte- und Momentengleichgewicht eintritt (Bild 11). Hierfür sind Materialgesetze notwendig, um von der Dehnung auf die Spannung und abschließend auf Kräfte schließen zu können. Das Materialgesetz für den Beton konnte der Norm EC 2 [18] entnommen werden, da es sich hierbei um einen sogenannten Normbeton handelt. Bei der Carbonbewehrung wurde für die Ermittlung der Spannungs-Dehnungs-Linie der standardisierte Faserstrangzugversuch verwendet, der den Empfehlungen in [21] folgt. Die Berechnung der Bemessungs-

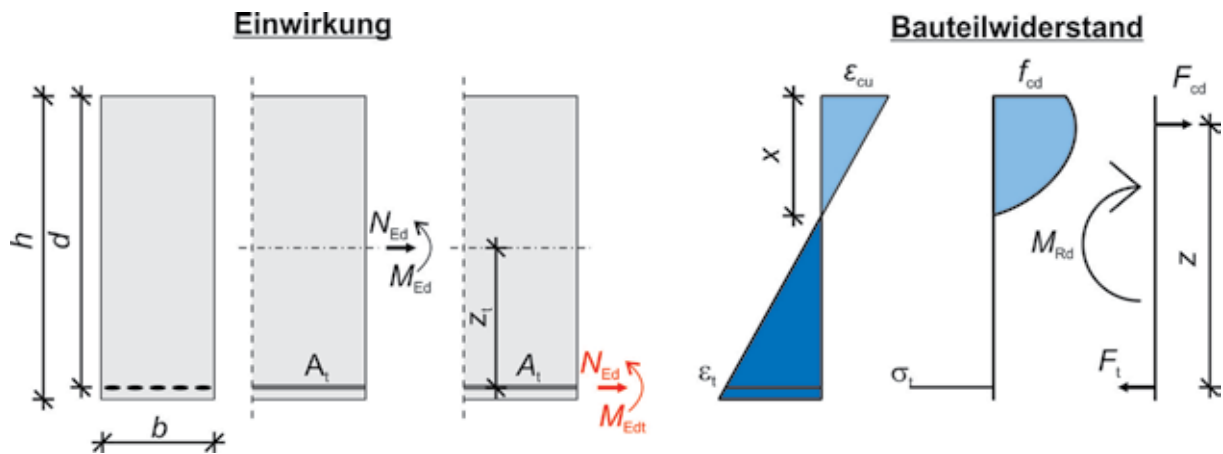


Bild 11 Iterativer Ablauf der Biegebemessung

Grafik aus [21]

spannung erfolgte mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_t = 1,3$. Die hier zugrundeliegenden probabilistischen Berechnungen können [22] entnommen werden. Die Bemessungsbiegetragfähigkeit auf der Unterseite beträgt $m_{Rd} = 122 \text{ kNm/m}$ in Kettrichtung (Hauptlastabtragsrichtung). Hierfür wurden vier Matten für die Biegezuglängsbewehrung eingebaut. Auf der Oberseite befinden sich zwei Matten, womit sich ein rechnerisches $m_{Rd} = 62 \text{ kNm/m}$ in Kettrichtung ermitteln lässt. Auf eine Stabbewehrung wurde verzichtet, da die Tragfähigkeit für die Biegetragfähigkeit rechnerisch ermittelt worden ist und dafür Materialkennwerte notwendig waren. Diese waren für die Stabbewehrung zu Beginn der Planungsphase nicht ausreichend vorhanden. Zusätzliche experimentelle Untersuchungen waren aus zeitlichen Gründen nicht möglich.

Für die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit wurden Untersuchungen am Institut für Massivbau der RWTH Aachen durchgeführt. Hierfür wurden 4,5 m lange, 0,8 m breite und 0,39 m hohe Plattenstreifen im Werk hergestellt [17]. Die Bewehrung wurde wie im späteren Bauteil eingebaut. Die Querkraftbewehrung, die aus den C-Profilen besteht, wurde in einem Abstand von 0,4 m eingesetzt (Bild 12).

Die ersten Querkraftversuche wurden mit einer Schubslankheit von $a/d = 4,0$ durchgeführt. Dabei kam es zu einem Biegeversagen, das sich durch den Bruch der Längsbewehrung zeigte. Um die Querkrafttragfähigkeit

zu ermitteln, wurde das a/d -Verhältnis auf 3,0 herabgesetzt. In diesem Fall trat ein Biegeschubversagen bei einer mittleren Querkraft von $v_{Rm} = 378 \text{ kN/m}$ ein (Bild 13). Bei einem zugehörigen Variationskoeffizienten von $v_x = 0,03$ und einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma = 1,5$ errechnet sich eine Bemessungsquerkraft von $v_{Rd} = 207 \text{ kN/m}$.

Ein Versagen der Querkraftbewehrung (C-Profile) trat bei den Untersuchungen nicht ein. Ebenfalls konnte kein Verankerungsversagen beobachtet werden. Im Vergleich zu ähnlichen Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Querkraftprofile (C-Profile) einen signifikanten Einfluss auf die Tragfähigkeit haben [17].

Zusätzlich zu den statischen Versuchen wurden auch zyklische Belastungen durchgeführt. Nach den 1.000.000 Lastwechseln wurde die Resttragfähigkeit ermittelt. Es konnten keine signifikanten Auswirkungen auf die Querkrafttragfähigkeit und die maximale Durchbiegung beobachtet werden [17].

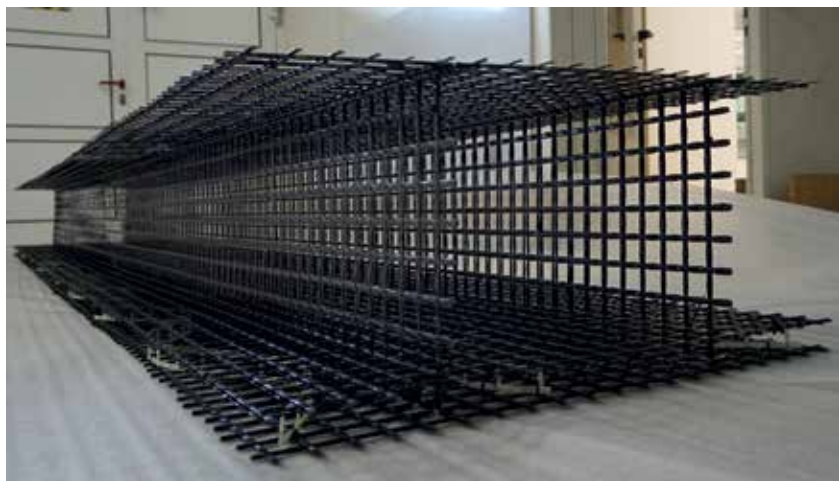


Bild 12 Ansicht der Längs- und Querkraftbewehrung

Foto: solidian GmbH



Bild 13 Versuchskörper im Bruchzustand

Foto: Sarah Bergmann, IMB RWTH Aachen [17]

4.2 Straßenbrücken in Margrethausen und Pfeffingen

Für die notwendige Zustimmung im Einzelfall wurde ein umfangreiches Versuchsprogramm zur Beurteilung der Tragfähigkeit der Konstruktion durchgeführt. Anhand von großformatigen Versuchskörpern mit Querschnittsabmessungen im Originalmaßstab wurden das Biege- und Querkrafttragverhalten unter-

sucht. Von besonderer Bedeutung war der Ermüdungsversuch. Bei einer Lebenserwartung von 80 Jahren wurde eine Lastwechselzahl von 100.000 LKWs ermittelt (Bild 14). Im Versuch wurde die Platte mit der vollen LKW-Last be- und entlastet. Der im Anschluss durchgeführte Resttragfähigkeitsversuch zeigte, dass durch die aufgebrachte zyklische Beanspruchung die Resttragfähigkeit nicht reduziert wurde [19].

5 Herstellung

5.1 Straßenbrücke in Gaggenau

Die Bewehrungselemente wurden von der Firma solidian GmbH gemäß den Bewehrungsplänen hergestellt und zum Fertigteilwerk Grötz GmbH geschickt. Zu diesen Bewehrungspositionen gehörten die flächigen Matten, aber auch die geformten C-Profile sowie die Randstecker (Bild 15). Das Binden des Korbes erfolgte im Werk. Die dafür benötigte Zeit betrug etwa zwei Manntage. Nach der Fertigstellung konnte der 150 kg schwere Korb in die Schalung gehoben werden (Bild 16). Die anschließende Betonage erfolgte auf einem Rütteltisch. Die Rutschfestigkeit wurde mit einem Besenstrich sichergestellt.



Bild 14 Ermüdungsversuch

Foto: IMB RWTH Aachen

Nach dem Ausschalen wurde der Brückenüberbau zur Baustelle geliefert und auf den dort schon vorhandenen Unterbau gesetzt. Dieser wurde ebenfalls als Fertigteil im Werk der Grötz GmbH hergestellt. Im nächsten Schritt wurden die Dorne platziert und der Hohlraum mit einem Mörtel verfüllt. Anschließend konnte die fertiggestellte Brücke für den Verkehr freigegeben werden. Für die gesamte Baumaßnahme musste die Straße nur wenige Tage gesperrt werden. Es war nicht notwendig, auf optimale Wetterbedingungen zu warten, da die Bauteile im Fertigteilwerk hergestellt wurden und nur der Aufbau vor Ort im ungeschützten Bereich stattfand.

tigteilelemente zur Baustelle nach Margrethausen bzw. Pfeffingen geliefert und dort auf die frisch sanierten Widerlager gelegt (Bild 17). Nach der Befestigung des Geländers konnte die Brücke für den Verkehr freigegeben werden. Die gesamte Maßnahme inklusive der Instandsetzung der Widerlager dauerte weniger als zwei Wochen. Für den Betrieb in Pfeffingen bedeutete das somit keine Behinderung, da die Arbeiten in den Betriebsferien ausgeführt werden konnten.

Die Brücken in Margrethausen und Pfeffingen wurden bereits 2016 realisiert und zeigen bis zum heutigen Tag keine nennenswerten Mängel. Beide Bauwerke sind für einen gerissenen

5.2 Straßenbrücken in Margrethausen und Pfeffingen

Auch für die Straßenbrücken in Margrethausen und Pfeffingen wurden die Bewehrungselemente von der Firma solidian GmbH gemäß den Bewehrungsplänen hergestellt. Anschließend erfolgte der Zusammenbau des Bewehrungskorbes für die Brückenelemente. Diese Arbeiten fanden ebenfalls im Werk der solidian GmbH statt. Nach der Fertigstellung wurden die Körbe zum Fertigteilwerk von Max Bögl geschickt und in die Schalungen gehoben. Die anschließende Betonage erfolgte mit einem selbstverdichtenden Beton (SVB), sodass keine Rüttelarbeiten notwendig waren. Auf Wunsch wurde die Platte „auf dem Kopf“ hergestellt. Somit ist die begehbare Fläche die hochwertige Schalenseite. Für die Sicherstellung Rutschfestigkeit wurde eine entsprechende Matrizie in die Schalung gelegt.

Nach dem Ausschalen wurde die Platte gedreht und mit den Längsträgern verbunden. Anschließend wurden die hybriden Fer-



Bild 15 Bewehrungskorb während des Zusammenbaus

Foto: solidian GmbH



Bild 16 Fertiggestellter Bewehrungskorb

Foto: solidian GmbH

Zustand bemessen worden, allerdings konnten bisher keine Risse beobachtet werden.

6 Fazit

Durch den Einsatz der korrosionsresistenten Carbonbewehrung können ressourcenschonende Brückenbauwerke realisiert werden, die gleichzeitig schlank und dauerhaft sind. Gleichzeitig kann auf die Asphaltenschutzschicht verzichtet werden, womit die Instandhaltungskosten reduziert werden können. Die Fertigteilbauweise sorgt für eine Reduktion der Bauzeit und ist fast vollständig unabhängig von den Witterungsbedingungen. Die realisierten Straßenbrücken zeigen das Potential der innovativen Bauweise mit Carbonbeton.

Dank

Die vorgestellten Brücken konnten nur in Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern Max Bögl (Sengenthal), Knippers Helbig (Stuttgart), Institut für Massivbau der RWTH Aachen, R+S Ingenieure (Achern), Regierungspräsidium Tübingen und Reck+Gass Ingenieurbüro (Horb a. N.) realisiert werden. Ein großer Dank geht an die Gemeinden Albstadt und Gaggenau, die die Umsetzung erst ermöglichten.

Literatur

- [1] Hegger, J.; Kulas, C.; Horstmann, M.: Spatial Textile Reinforcement Structures for Ventilated and Sandwich Facade Elements. *Advances in Structural Engineering* 15 (2012) 4, Special Issue: SI, S. 665–675
- [2] Stark, A.; Kueres, D.; Hegger, J.: Sandwich-elemente mit UHPC-Deckschichten und geschäumten PUR-Kernschichten. *Beton- und Stahlbetonbau* 111 (2016), S. 816–827
- [3] Ehlig, D.; Schladitz, F.; Frenzel, M.; Curbach, M.: Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick. *Beton- und Stahlbetonbau* 107 (2012), S. 777–785
- [4] Scheerer, S.; Chudoba, R.; Garibaldi, M. P.; Curbach, M.: Shells Made of Textile Reinforced Concrete – Applications in Germany. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures* 58 (2017) 1, n. 191, S. 79–93 – <https://doi.org/10.20898/j.iass.2017.191.846>
- [5] Helbig, T.; Rempel, S.; Unterer, K.; Kulas, C.; Hegger, J.: Fuß- und Radwegbrücke aus Carbonbeton in Albstadt-Ebingen. Die weltweit erste ausschließlich carbonfaserbewehrte Betonbrücke. *Beton- und Stahlbetonbau* 111 (2016), S. 676–685 – DOI: 10.1002. ISSN: 0005-9900.
- [6] Hegger, J.; Goralski, C.; Kulas, C.: Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton – Sechs-



Bild 17 Montage der Brücke in Pfeffingen

Foto: solidian GmbH

- feldrige Fußgängerbrücke mit einer Gesamtlänge von 97 m. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011), S. 64–71
- [7] Hinzen, M.: Eigenschaften von nicht-metallischen Bewehrungen. TUDALIT Magazin (2019) 21, S. 46
- [8] Spelter, A.; Bergmann, S.; Bielak, J.; Hegger, J.: Long-Term Durability of Carbon-Reinforced Concrete: An Overview and Experimental Investigations. Applied Sciences 9 (2019), 1651, 14 S. – DOI: 10.3390/app9081651
- [9] Büttner, T.; Orlowsky, J.; Raupach, M.; Hojczyk, M.; Weichold, O.: Enhancement of the durability of alkali-resistant glassrovings in concrete. In: Brameshuber, W. (Hrsg.): Proc. of the 2nd Int. RILEM Conf. on Material Science (MatSci), 6.–8.9.2010 in Aachen, RILEM Publications S.A.R.L., 2010, S. 333–342
- [10] Gries, T.; Veit, D.; Wulfhorst, B.: Textile Fertigungsverfahren – Eine Einführung. München: Hanser Verlag, 2015
- [11] Gries, T.; Roye, A.; Offermann, P.; Peled, A.: Textiles. In: Brameshuber, W. (Hrsg.): Textile Reinforced Concrete – RILEM Report 36, 2006, S. 11–27
- [12] Kulas, C.: Zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile. Dissertation, RWTH Aachen University, 2013
- [13] Raupach, M.; Orlowsky, J.; Büttner, T.: Epoxy-impregnated textiles in concrete – load bearing capacity and durability. In: Hegger, J.; Brameshuber, W.; Will, N. (Hrsg.): Proc. of the 1st Int. RILEM Conf., 6.–7.9.2006 in Aachen, RILEM Publications S.A.R.L., 2006, S. 77–88
- [14] Datenblatt solidan GRID Q95/95-CCE-38: www.solidian.com. Albstadt, 2020
- [15] DIN EN 206:2017-01: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A1:2016.
- [16] DIN EN 1991-1-2:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken; Deutsche Fassung EN 1991-2:2003 + AC:2010.
- [17] Bielak, J.; Bergmann, S.; Hegger, J.: Querkrafttragfähigkeit von Carbonbeton-Plattenbrücken mit C-förmiger Querkraftbewehrung. Beton- und Stahlbetonbau 90 (2019), S. 465–475
- [18] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [19] Rempel, S.; Shams, A.; Hegger, J.: Nächster Schritt zur korrosionsfreien Brücke. In: Tagungsband zum 3. Brückenkolloquium TAE 2018 – Beurteilung, Ertüchtigung und Instandsetzung von Brücken am 19.–20.6.2018 in Esslingen, 2018, S. 257–264
- [20] Rempel, S.; Ricker, M.; Hegger, J.: Biegebemessungsmodell mit einer geschlossenen und iterativen Lösung für Textilbetonbauteilen. Beton- und Stahlbetonbau, online first: 23.1.2020 – DOI: 10.1002/best.201900086
- [21] Rempel, S.; Ricker, M.: Ermittlung der Materialkennwerte der Bewehrung für die Bemessung von textilbewehrten Bauteilen. Bauingenieur 92 (2017), S. 280–288
- [22] Rempel, S.; Ricker, M.; Hegger, J.: Zuverlässigkeitsanalyse für biegebeanspruchte Textilbetonbauteile. Bei Beton- und Stahlbetonbau eingereicht – <https://doi.org/10.1002/best.201900090>

-
- 9 Grußwort des Rektors
 - 13 Entwicklung des Instituts für Massivbau –
Lehre und Forschung im Brückenbau an der TU Dresden
 - 27 Die neue Erhaltungsstrategie des Bundes –
Planung und Bau von Brücken auf den Hauptverkehrsrouten
 - 33 Brücken aus bewehrtem UHPC (Stahl-UHFB)
 - 47 Nutzung von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton (UHFB) im ASTRA –
Rückblicke und Perspektiven
 - 57 Neufassung der Nachrechnungsrichtlinie für Massivbrücken
 - 71 Historische Eisenbahnbrücken – Denkmale im Netz
 - 83 85 Jahre Autobahnbrückenbau – 30 Jahre Dresdner Brückenbausymposium
 - 101 Gerd Lohmer (1909–1981) – Der Brückenarchitekt der Nachkriegszeit
 - 123 Ersatzneubau der Rheinbrücke Leverkusen – Gesamtplanung
des 8-streifigen Ausbaus der A1 zwischen Köln und Leverkusen
 - 139 Ein neuer Schritt im Großbrückenbau: Querverschub einer Verbundbrücke mit Pfeilern
und Gründung bei der Talbrücke Rinsdorf im Zuge der A 45
 - 149 S-Bahn-Querung im neuen Stuttgarter Tiefbahnhof S21 –
erstmaliger Einsatz von interner verbundloser Vorspannung bei der DB AG
 - 165 Reduzierte Bauzeit bei Ersatzneubauten von Straßenbrücken durch Carbonbeton
 - 177 Robust, wirtschaftlich und schön – der Entwurf von integralen Brücken
 - 191 Neubau der Busbrücke über den Bahnhof in Zwolle
 - 207 Katastrophen vermeiden: Brückenmonitoring mit einem Netzwerk
leistungsstarker dreiachsiger MEMS-Beschleunigungssensoren
 - 213 Brückenvielfalt in Süddeutschland und den Alpen – Bericht zur Brückenexkursion 2019
 - 227 Chronik des Brückenbaus