



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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



26. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

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

14./15. MÄRZ 2016



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

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

Tagungsband

26. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau

Freunde des Bauingenieurwesens e.V.

14. und 15. März 2016

© 2016 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: Fußgängerbrücke Schierstein. Foto: Cengiz Dicleli

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

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-467-7

Inhalt

Herzlich willkommen zum 26. Dresdner Brückenbausymposium	13
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	
Außer Konkurrenz	15
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Realisierungswettbewerb zum Ersatzneubau der Eisenbahnüberführungen über die Oder und die Odervorflut bei Küstrin-Kietz	23
<i>Auszug aus der Broschüre der DB Netz AG 2016, Redaktion: Dipl.-Ing. Hartmut Schreiter</i>	
Zur Gestaltung von Brücken der Bundesfernstraßen – Die Suche nach der besten Lösung ...	37
<i>Dr.-Ing. Gero Marzahn, Dr.-Ing. Heinz-Hubert Benning</i>	
Search for the true structural solution	47
<i>Prof. Jiri Strasky, DSc.</i>	
Der Ersatzneubau der Lahntalbrücke Limburg	67
<i>Dipl.-Ing. Annett Nusch, Dr.-Ing. Stefan Franz</i>	
Wirtschaftliche Selbstkletterschalung für Europas aktuell größtes Brückenbauprojekt „Hochmoselbrücke	85
<i>Dipl.-Ing. Sebastian Riegel</i>	
Verstärkung von Brücken mit externer Vorspannung – Einsatzbereiche und Randbedingungen	103
<i>Dipl.-Ing. Michael Buschlinger, Dipl.-Ing., MBA Annette Jarosch</i>	
Ulrich Finsterwalder (1897–1988) – Doyen des Brückenbaus	119
<i>Prof. Cengiz Dicleli</i>	
Gestaltungskonzept für die Brückenbauwerke im Zuge der BAB A 3 zwischen AK Biebelried und AK Fürth/Erlangen	153
<i>LBD Dipl.-Ing. Bernd Endres, Dipl.-Ing. Rolf Jung</i>	
Reparatur der Autobahnbrücke über die Süderelbbrücke nach schwerem Schiffsanprall – Nachrechnung, Planung, Ausführung, Analyse	165
<i>Dipl.-Ing. Dirk Seipelt, Dipl.-Ing. Stefan Eschweiler, Dipl.-Ing. Thomas Neysters, Brinja Coors M.Sc., Dipl.-Ing. Martin Grassl</i>	
Langzeitverhalten von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen – zukünftig eine Standardbauweise auch für Brückenwiderlager?	177
<i>Dipl.-Ing. Hartmut Hangen, M.Sc. July Ellen Jaramillo Castro</i>	
Die Herausforderungen und Möglichkeiten einer umfassenden Grundlagenanalyse am Beispiel des Hovenringes in Eindhoven (NL)	193
<i>Dipl.-Ing. Adriaan Kok, Dipl.-Des. Marion Kresken</i>	
Die Butterfly-Bridge in Kopenhagen	211
<i>Dr.-Ing. Karl Morgen, Dipl.-Ing. Jan Lüdders</i>	
Militärischer Einfluss auf Konstruktion und Architektur von Eisenbahnbrücken im Deutschen Reich	221
<i>Volker Mende M.A.</i>	

Verstärken mit Carbonbeton im Brückenbau	235
<i>Dr.-Ing. Harald Michler</i>	
Zur Anwendung von Szenario-Spektren beim seismischen Nachweis von Brücken	249
<i>Dr.-Ing. habil. Dirk Proske</i>	
Brücken bauen mit Eisenbeton – Gedanken zum denkmalgerechten Umgang	263
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock</i>	
Brückenbauexkursion 2015 – Infrastrukturprojekte in Tschechien, Österreich und Deutschland	273
<i>Dipl.-Ing. Sebastian Wilhelm, Dipl.-Ing. Robert Zobel</i>	
Chronik des Brückenbaus	283
<i>Zusammenstellung: Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	
Inserentenverzeichnis	311

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.

Verstärken mit Carbonbeton im Brückenbau

Dr.-Ing. Harald Michler

Institut für Massivbau, TU Dresden

Zusammenfassung

Mit textilbewehrtem Beton steht ein moderner und leistungsfähiger Baustoff mit sehr guten mechanischen Eigenschaften zur Verfügung. Dieser erlaubt es, Leichtbau mit Beton zu betreiben, wie dies bisher nicht möglich war.

Mit der im Jahr 2007 in Sachsen hergestellten und im Allgäu montierten Geh- und Radwegbrücke Rottachsteg in Kempten im Allgäu und mit der Textilbetonbrücke in Albstadt-Lautlingen (2009/2010) wird dies in der Praxis bewiesen und es wurde gezeigt, dass sich Bauteile aus textilbewehrtem Beton auch wirtschaftlich am Markt durchsetzen können. Der Leichtbau kann aber auch bei der Sanierung und Verstärkung der bestehenden Infrastruktur vorteilhaft sein, da hier mit einem geringen Zusatzeigengewicht eine erhebliche Verstärkungswirkung erreicht werden kann. Der Beitrag soll zeigen, wie und welche Verstärkungsaufgaben mit Textilbeton im Brückenbau gelöst werden können.

1 Der Baustoff Textilbeton und sein Tragverhalten

Über Textilbeton wurde beim Dresdner Brückenbausymposium schon mehrfach berichtet, [1], [2], [3]. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass der Baustoff vielen Lesern bekannt ist, soll er dennoch in seinen Grundzügen noch einmal kurz vorgestellt werden.

Textilbeton basiert auf der Idee, die herkömmliche Stahlbewehrung, die in dieser Form seit



Bild 2: Pagel-TF10-Fertigtrockenmischung
(Foto: Harald Michler)

über 100 Jahren erfolgreich eingesetzt wird, durch eine nicht korrosionsanfällige Bewehrung zu ersetzen (als weiterführende Literatur seien exemplarisch [4] und [5] genannt). Damit entfällt die Notwendigkeit, dicke Betonschichten zum Schutz der Bewehrung an Stellen anzuordnen, an denen diese statisch eigentlich nicht notwendig sind. Der Grundgedanke des Stahlbetonbaus, dass der Beton die Druckkräfte und der Stahl die Zugkräfte abträgt, kann damit in optimierter Weise umgesetzt werden.

Als Materialien für die Bewehrung bieten sich Endlosfasern aus alkaliresistentem Glas oder Carbon an, deren Leistungsfähigkeit in vielen Bereichen wie dem Flugzeugbau unter Beweis gestellt wird. Die Weiterentwicklung der Fasern wird ständig vorangetrieben und auch die Verwendung alternativer Materialien (Kevlar) in Erwägung gezogen.



Bild 1: Exemplarischer Aufbau einer Textilbetonschicht – hier mit Gelegen aus Carbonrovings – im Vergleich zu stabförmigen Bewehrungen aus Carbon und herkömmlichem Bewehrungsstahl (Foto: Harald Michler)

Das Potential im Brückenbau wurde bereits mit einigen Pilotprojekten demonstriert, s. Abschn. 3.1.

Der Verbundwerkstoff Textilbeton ist ein Kompositmaterial aus textilen Gelegen aus alkaliresistenten und sehr zugfesten Endlosfasern, heute im allgemeinen Carbongewebe, die lagen- oder schichtweise in eine Feinbetonmatrix eingebettet werden, siehe Bild 1. Es wird ein spezieller, teilweise selbstverdichtender hochfester Feinbeton eingesetzt, der weitgehend den Erfordernissen der jeweiligen Anwendung angepasst werden kann. Für die allgemeine Anwendung und besonders für die Verstärkung steht mit dem Produkt PAGEL TF10 (Bild 2) eine einfach anzuwendende Fertigmischung zur Verfügung. Die Dicke von Textilbetonbauteilen bewegt sich in einem Bereich von nur wenigen Millimetern bis einigen Zentimetern. Besonders vorteilhaft können diese dünnen Schichten mit vorhandenen Stahlbetonbauteilen kombiniert werden, die dann von diesen geschützt und verstärkt werden, siehe Bild 3. Damit wird das bestehende Tragwerk nur durch extrem geringe Zusatzlasten aus dem Eigengewicht der Verstärkungsschicht beansprucht, die Abmessungen werden nur geringfügig erhöht, aber die Bauteilwiderstände werden extrem gesteigert, da die Bewehrung statisch relativ günstig nahe der Oberfläche liegt.

Das Tragverhalten des Textilbetons entspricht in Theorie und Praxis dem bekannten Stahlbeton, so dass hier auf die bewährten Grundlagen zurückgegriffen werden kann. Analog des Prinzips von Stahlbeton wird die textile Bewehrung erst dann nennenswert aktiviert, wenn Risse in der Betonmatrix auftreten, nur sind im Textilbeton der Abstand der Risse und damit die Rissweite im Allgemeinen erheblich geringer als im Stahlbetonbau. Die aktuellen Textilien weisen eine Bruchdehnung (im Beton) von ca. 10–12 % bei einer Bruchfestigkeit von ca. 2.000 N/mm² auf. Möchte man die Rovingfestigkeit auf 3.000 oder gar 4.000 N/mm² (dies würde der aktuellen Filamentfestigkeit entsprechen) steigern, so wird diese bei einer Bruchdehnung von 21 bis 25 % erreicht. Dies ist die im Stahlbetonbau heute übliche Dehnungsgrenze für den Bewehrungsstahl.

Für die Kraftübertragung zwischen Beton und der textilen Bewehrung steht alleine die Oberfläche der Bewehrung zur Verfügung. Und hier liegt der entscheidende Unterschied zum Stahlbetonbau:

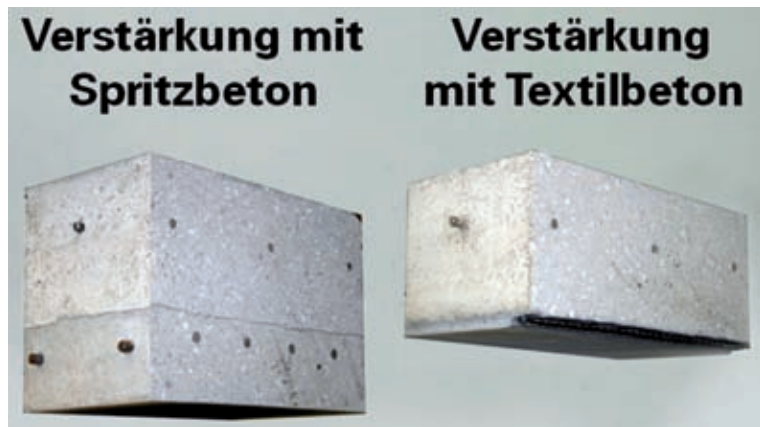


Bild 3: Verstärken im Vergleich Spritzbeton – Textilbeton
(Grafik: Harald Michler)

Der Betonrippenstahl überträgt die Verbundkräfte hauptsächlich konzentriert an eben diesen Rippen. Aufgrund der homogenen Materialeigenschaften des Stahls stellt dies im Allgemeinen für die Bewehrung selbst kein Problem dar. Der Schwachpunkt ist vielmehr der umgebende Beton, der an dieser konzentrierten Lasteinleitung versagt. Es folgt ein Bruch der Betondruckstrebe oder es entstehen Verbundrisse, da der Beton quasi gespalten wird.

Bei der textilen Bewehrung liegen die Verhältnisse jetzt anders. Ein Bewehrungselement selbst – ein Roving – ist aus tausenden von Einzelementen zusammengesetzt. In den aktuellen Gelegen werden so genannte „heavy tows“ für die sich kreuzenden Rovings verwendet, die sich beispielsweise aus 50.000 Einzelfilamenten zusammensetzen (50 K). Diese tausende Einzelfilamente eines Rovings müssen nun möglichst alle an der Lastabtragung beteiligt werden, wobei die wenigsten – nämlich nur die Randfilamente – einen direkten Kontakt zum Beton haben. Bewerkstelligt wird dies durch eine Imprägnierung und Beschichtung der Rovings, sodass ein Verbund zum Beton und ein Verbund untereinander gegeben sind. Diese Imprägnierung basiert aktuell auf Styrol und ist in der Lage, in das Filamentbündel einzudringen und dieses quasi miteinander zu verkleben. Eine andere Möglichkeit, dies zu tun, besteht darin, Epoxidharze zu verwenden.

Die heutigen Rovings bestehen aus nahezu gestreckt eingebauten Einzelfilamenten und weisen folglich keine Ansatzstellen für Betondruckstreben in Form von Rippen auf, sodass die Lastübertragung vom Beton auf den Rovings einzig und allein über die Oberflächenverbundspannung erfolgen kann. Hinzu kommt, dass das Material Carbon als ein hochgradig anisotropes Material in sich selber empfindlich für Querdruck ist. Eine extrem große

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.

Zugfestigkeit in der einen Richtung steht einer sehr geringen Festigkeit in der anderen gegenüber. Anschaulich wird dies bei einem Bleistift, bei dem von der Graphitmine immer ein kleines Stückchen beim Schreiben abgeschert wird. Die Querdruckempfindlichkeit des Carbonmaterials bereitet auch bei der Verwendung von Stäben bzw. bei der Verankerung dieser Stäbe erhebliche Probleme, worauf hier aber nicht eingegangen werden soll, s. z. B. [6], [7].

Bei den Textilien, die hauptsächlich für die Anwendung als Bewehrung in Beton verwendet werden sollen, wird das Prinzip verfolgt, die Kräfte kontinuierlich an allen Punkten verteilt zu übertragen und somit lokale Kraftkonzentrationen zu vermeiden. Die Lastüberleitung zwischen Beton und Bewehrung (Rovings) findet hauptsächlich über die Oberfläche des Textils statt. An Knotenpunkten, bspw. zwischen Längs- und Querfäden, können sich etwas höhere Spannungskonzentrationen ergeben, was aber nicht bedeutsam wird. Durch die Lastübertragung an der gesamten Oberfläche wird zudem eine Spannungskonzentration im umgebenden Beton vermieden, womit dünne Betonschichten erst möglich werden. Ein sinnvoller Abstand für die Einzelrovings wird also lediglich durch die verwendeten Zuschläge limitiert, da diese bzw. der Feinbeton das Gelege durchdringen können müssen. Durch die Vermeidung von Lastkonzentrationen und die möglichst gleichmäßige Verteilung der Zugbewehrung wird es bei Verstärkungen mit Carbonbeton also möglich, ein hochfestes Bewehrungsmaterial (Carbon) mit einem relativ günstigen „Kleber“ (Zement) an einem Bauteiluntergrund zu befestigen und so ein nachträgliches Verbundbauteil zu erzeugen.

Ein etwas anderer Ansatz wird bei dem Verfahren zur Verstärkung mit CFK-Laschen gewählt. Im Endeffekt bestehen die CFK-Laschen auch aus Einzelfilamenten, die mit Epoxidharz zu einem

großen Bewehrungsquerschnitt zusammengeklebt werden. Dieser wird dann ebenfalls mit Epoxidharzen auf den vorbereiteten Beton geklebt. Damit sind zum einen durch den größeren Bewehrungsquerschnitt größere Verstärkungskräfte möglich, jedoch werden auch entsprechende höhere Ansprüche an den Untergrund gestellt, da die Kraft ja zwischen Verstärkung und Tragwerk ausgetauscht werden muss. Allerdings ist hier dann auch ein vorgespannter Einbau realisierbar, der im aktuellen Verfahren für Textilbeton noch nicht umgesetzt wurde. Erste Studien hierzu sind aber bekannt, bspw. [8].

2 Das Verstärken mit Textilbeton

Mit der im Juni 2014 erteilten 1. allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) „Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® (Textilbewehrter Beton)“ [9] werden dem Verstärken von Bauwerken neue Möglichkeiten eröffnet. Für die bis 2014 durchgeführten Praxisprojekte war immer eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich. Diese konnten zwar auch relativ schnell individuell beantragt werden, stellten aber dennoch für jedes Bauvorhaben ein gewisses Risiko dar. Seit 2014 gibt es mit der abZ Z-31.10-182 eine Planungssicherheit für den Bauherrn und damit eine definierte Grundlage für die Ausschreibung. Die Eingrenzung des Gültigkeitsbereiches auf Biegeverstärkungen im Innenbereich erscheint auf den ersten Blick als Manko. Dennoch ist diese abZ ein maßgeblicher Meilenstein im Sinne einer Vorarbeit für alle weiteren Zulassungen, die teilweise bereits in Arbeit sind.

In dieser Zulassung wird das Verstärken von Deckenplatten im Innenbereich (Maximaltemperatur von 40 °C und maximale relative Luftfeuchtigkeit von 65 %) geregelt. Zugelassen ist der Feinkornbeton TUDALIT-TF10-PAGEL mit einem Größtkorn von 1 mm, der für den Einbau

im Sprühverfahren und das Zusammenspiel mit der textilen Carbonbewehrung optimiert ist. Der Anwender erhält das überwachte Produkt mit einer Biegezugfestigkeit von 6 N/mm², einer Betondruckfestigkeit von 80 N/mm² und einem E-Modul von ca. 25.000 N/mm² (jeweils Untergrenzen für die charakteristischen Werte) als Trockenmischung in Säcken, Bild 2, der nur noch Anmachwasser zugegeben werden muss. Für die textile Carbonbewehrung stehen aktuell die zwei Textilien TUDALIT-BZT1-TUDATEX und TUDALIT-BZT2-V.FRAAS von den

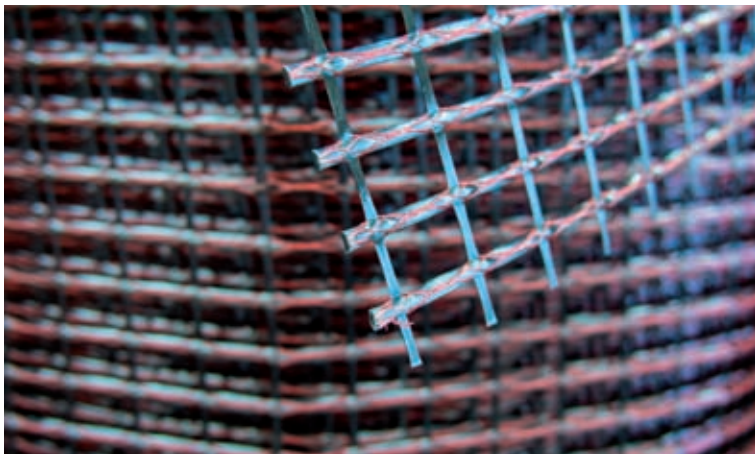


Bild 4: Carbonbewehrung nach abZ Z-31.10-182

(Foto: Frank Schladitz)



Bild 5: Brücke in Kempten

(Foto: Harald Michler)

Herstellern TUDATEX GmbH und V. Fraas Solutions in Textile GmbH zur Verfügung. Bei beiden Textilien handelt es sich um unidirektionale Textilien, d. h. in der Längsrichtung (Haupttragrichtung) steht je nach Textil eine Carbonbewehrungsfläche von 125 bzw. 144 mm²/m zur Verfügung. In der Querrichtung sind jeweils ca. 25 mm²/m vorhanden, siehe Bild 4.

In der Zulassung werden alle Materialkennwerte und ein Bemessungsverfahren zur Verfügung gestellt, um eine Verstärkung von Stahlbetonplatten vornehmen zu können. Das Rechenverfahren lehnt sich an die gebräuchliche Stahlbetonbemessung an und ist mit Beispielen auch in [10] oder [11] vorgeführt. Weiterhin werden die Eignungsprüfung des zu verstärkenden Betongrundes behandelt und die Verfahren und nachzuweisenden Kennwerte sowohl für die Fertigungsüberwachung als auch für Bauüberwachung und Bauabnahme definiert. Weiterführende Hinweise zur Anwendung der Zulassung, Informationen zu praktischen Anwendungen und zu Hintergründen liefert die Zeitschrift Beton- und Stahlbetonbau Spezial „Verstärken mit Textilbeton“, die im Januar 2015 erschienen ist [12].

Das Verfahren kann von jedem angewendet werden, der eine entsprechende Schulung vorweisen kann. Diese zweitägige Schulung besteht aus einem theoretischen und praktischen Teil, wobei im praktischen Teil eine Stahlbetonplatte verstärkt und anschließend geprüft wird, [13], [14].

3 Anwendung von Textilbeton im Brückenbau

3.1 Aktuelle Anwendungsgrenzen

Die Zulassung „Verstärken mit Textilbeton“ [9] ist im Brückenbau nicht anwendbar bzw. nur im Prinzip übertragbar. Dies liegt an der Eingrenzung bezüglich Temperatur und Feuchte (Anwendung im Innenbereich) und – im Hinblick auf die Beanspruchung – an der nicht vorwiegend ruhenden Belastung, die im Brückenbau zu berücksichtigen ist und die durch die abZ nicht erfasst wird. Beide Themengebiete wurden bereits ansatzweise betrachtet [2], und werden in aktuell beginnenden bzw. bereits laufenden Forschungsvorhaben – vorrangig innerhalb des Großforschungsprojektes C³ – Carbon Concrete Composite [15] – tiefgehender beleuchtet, und eine baldige Anwendbarkeit ist wahrscheinlich. Das C³-Projekt ist das aktuell größte deutsche Forschungsprojekt im Bauwesen. Es wird von der Bundesregierung (BMBF) im Rahmen des Förderprogramms *Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation* [16] mit 45 Millionen Euro Fördermitteln unterstützt. Zusammen mit den Eigenmitteln der zurzeit über 130 Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft stehen über 60 Millionen Euro Forschungsmittel für die marktorientierte Entwicklung der Carbonbetonbauweise zur Verfügung. Neben der wichtigen Material- und Verfahrensentwicklung stehen Themen wie Standardisierung, Normung, Aus- und Weiterbildung, Arbeitsschutz, Recycling und multifunktionale

Anwendungen im Mittelpunkt. Bis 2020 sollen so alle Voraussetzungen geschaffen werden, um Carbonbeton flächendeckend in den Markt einführen zu können. Aber auch schon heute würde das Verfahren einige Vorteile im Brückenbau bieten, wie in den folgenden Kapiteln dargelegt wird. Auch werden erste Anwendungen aus dem Brückenbau vorgestellt, s. a. [17].

3.2 Brücken aus textilbewehrtem Beton

Bekanntlich steht die weltweit erste Brücke aus Textilbeton auf dem Gelände der Landesgartenschau in Oschatz, wofür sie 2005 entwickelt worden war. Sie wurde mit mehreren Preisen ausgezeichnet, darunter dem Special Encouragement Award“ der fib. Über diese erste Brücke aus Textilbeton wurde beim 16. Dresdener Brückenbausymposium 2006 [1] ausführlich berichtet. Im Herbst 2007 wurde eine zweite, ca. 17 m lange Fuß- und Radwegbrücke in Kempten der Öffentlichkeit übergeben, welche im Gegensatz zu der Brücke in Oschatz neben der Fußgängerlast auch ein Räumfahrzeug tragen kann. Dies ist aktuell die weltweit längste Segmentbrücke aus Textilbeton. Auch über diese Brücke wurde bereits an dieser Stelle [3] oder auch in [18] berichtet (Bild 5).

Eine noch längere Brücke, und damit die derzeit

längste Brücke aus Textilbeton, ist das Brückenbauwerk über die Bundesstraße 463 in Albstadt-Lautlingen, [19], [20]. Diese im November 2010 fertiggestellte, sechsfeldrige Brücke hat eine Gesamtlänge von 97 m und ist ein Kind des DFG-Sonderforschungsbereiches 532 der RWTH Aachen und wurde maßgeblich durch die Firma Groz-Beckert finanziert. Diese flache Deckbrücke kann – im Vergleich zu den Dresdner Segmentbrücken – auf „Geländer“ aus Textilbeton verzichten. Mit der aus zusammengespannten Fertigteilträgern bestehenden Durchlaufträgerkonstruktion werden dem Brückenbau mit Textilbeton enorme Potenziale erschlossen.

Bei alle diesen Brücken wurde eine Bewehrung aus alkaliresistentem Glas (AR-Glas) verwendet [20]. Bei der Brücke Albstadt-Lautlingen wurden die Gelege vor dem Einbau in die Schalung mit Epoxidharz getränkt. Dadurch entstehen formstabile und robuste Bewehrungselemente mit hoher Bruchspannung. Diese Formstücke werden als 3-D-Strukturen eingesetzt, um den stark gegliederten Querschnitt des aus sieben Stegen gebildeten Plattenbalkens optimal bewehren zu können. Verbunden mit einer Längsvorspannung aus etablierten Monolitzen können so die bis zu 17,2 m spannenden Träger mit einer Bauhöhe von lediglich 43,5 cm ausgeführt werden. Die Brücke erreicht damit eine beachtliche Schlankheit von 1:35. Der Akkuratess und Exaktheit nicht nur der Brücke sondern auch der einzelnen Bauteile, wie



Bild 6: Brücke in Kempten – Einheben des kompletten Überbaus

(Foto: Harald Michler)

den Bewehrungselementen, muss hohe Anerkennung gezollt werden. Eindrucksvolle Dokumentationen und Beschreibungen dieser Brücke finden sich in der weiterführenden Literatur, auf die u. a. verwiesen wurde.

Als vielstegiger durchlaufender Plattenbalken unterscheidet sich die Brücke in Albstadt-Lautlingen deutlich von den Textilbetonbrücken in Oschatz und Kempten. Diese sind jeweils einfeldrige Schalenkonstruktionen und entstanden im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereiches 528 an der TU Dresden [21], wobei speziell bei der Brücke in Kempten bewiesen werden musste, dass sie nicht wesentlich mehr kostet als eine etablierte Brückenkonstruktion. Beiden Dresdner Brücken liegt der Gedanke eines extremen Vorfertigungsgrades zu Grunde. Der Überbau wird im Prinzip fix und fertig an den Einsatzort transportiert und auf die vorbereiteten Widerlager gesetzt (Bild 6). Damit ist die Brücke quasi sofort betriebsbereit. Dazu mussten die Brücken entsprechend leicht sein, weshalb sie als Schalentragwerke konzipiert wurden, einem Konstruktionsprinzip, das für seine leichten, filigranen Tragstrukturen bekannt ist und seine Vorbilder in der Natur hat, da sie quasi ein Inbegriff des Prinzips *form follows force* sind.

3.3 Das Verstärken mit Textilbeton

Mit der Optimierung für das Biegeverstärken von Decken, s. a. abZ [9], ist ein Verfahren geschaffen, um Untersichten – und hier sowohl Platten als auch Stege, also vertikal bis horizontal – mit einem einfachen Verfahren zu verstärken, Bild 7. Durch die hohe Haftkraft des Feinbetons ist es möglich, diesen auch über Kopf zu sprühen und dabei mehrere Bewehrungslagen und Betonzwischenlagen nass in nass zu erstellen. Nach der Zulassung [9] ist dies aktuell auf vier Lagen begrenzt, versuchsweise wurden aber auch schon Verstärkungen bis zu sieben Lagen hergestellt, ohne dass sich ein Ablösen gezeigt hat.

Auch das Verstärken von Plattenoberseiten lässt keine prinzipiellen Probleme vermuten. Als Einbauverfahren ist dann ein Laminierverfahren zweckmäßiger, wie es bereits bei einem Pilotprojekt in Österreich erprobt wurde [22], [23], [17]. Hier geht man soweit, dass direkt befahrene Textilbetonschichten angewendet werden. Allerdings wird in diesem Projekt auch ein erheb-

lich geänderter Feinbeton mit einem Zuschlag bis zu 8 mm eingesetzt, um die Anforderungen an Straßenbetone erfüllen zu können. Aber auch dies kann mit Textilbeton gewährleistet werden. Professor Feix (Universität Innsbruck) kam nach Abschluss des Projektes zu folgendem Ergebnis: „Zusammenfassend kann schon jetzt festgehalten werden, dass der Einsatz von Textilbeton auch bei dynamischer Belastung hervorragend als Verstärkungsmethode geeignet ist“ [24]. Dem kann sich der Autor nur anschließen.

Ideale Bauteile für ein Verstärken im Brückenbau sind zunächst alle Platten- und scheibenförmigen Bauteile, wie bspw. die Gurtplatten von Hohlkastenbrücken, die für die Verstärkung einen optimalen statischen Hebelarm zur Verfügung stellen und an der Unterseite eine ebene Fläche bieten. Eine Krümmung aus Voutung, Gradienten oder Radius ist dabei im Allgemeinen unproblematisch. Natürlich können diese Gurtplatten auch im Hohlkasteninneren verstärkt werden, um weitere Verstärkungsflächen unterbringen zu können. Jedoch ist hier eine Erschwernis durch Einbauten wie Spannisenen und Querträgern zu erwarten. Für lokale Verstärkungen, zum Beispiel im Bereich von Koppelfugen, bieten sich aber auch diese Einbauorte an. Bei den Untergurten von Plattenbalken dürfte das Verhältnis der vorhandenen Fläche zu der erforderlichen Verstärkungskraft zu ungünstig sein. Jedoch zeigen erste, auch dynamisch durchgeführte Tastversuche, dass es durchaus möglich ist, diese Bauteile für Querkraft zu verstärken, wie dies bereits in [2] gezeigt wurde. Hier wurde ein sogenanntes 45°-Textil mit Ausrichtung der Schuss- und Kettfäden im Winkel von 45° zur Bauteillängsachse entsprechend des üblichen Fachwerkmodells für den Querkraftabtrag (Bild 8) seitlich auf den



Bild 7: Verstärkung einer Deckenplatte, Einbau des Textilbetons über Kopf im Sprühverfahren (Foto: Frank Schladitz)

Steg appliziert, ohne dass eine Verankerung in der Druckzone für die nachgewiesenen Laststeigerungen nötig war. Die Verstärkungsschicht endet am Ansatz der oberen Gurtplatte ohne Umlenkung.

Mit der Zulassung werden die entsprechenden qualitätsüberwachten Materialien für eine Verstärkung definiert, wie sie auch auf von den Randbedingungen der abZ abweichende Fälle übertragen werden können. Die auf der Baustelle zu erbringenden Voraussetzungen und Nachweise sind klar geregelt:

- ❑ Die Materialien Feinbeton und textile Bewehrung sind auf der Baustelle trocken und sauber zu lagern.
- ❑ Die textile Bewehrung kann vorkonfektioniert angeliefert oder auf der Baustelle mit handelsüblichen Scheren zugeschnitten werden, komfortabler sind Rollenmesser (Bild 9).
- ❑ Das Vorbehandeln der zu verstärkenden Fläche hat in Anlehnung an eine Stahlbetonverstärkung zu erfolgen. Dies beinhaltet das Lösen von losen Teilen und das Aufräumen der Oberfläche (z. B. vorzugsweise durch Hochdruckwasserstrahlen) und Überprüfung der Tragfähigkeit des Untergrundes mittels Haftzugprüfungen am Bauwerk.
- ❑ Ggf. örtliche Ausbesserung von Fehlstellen größeren Ausmaßes vor dem Aufbringen der Verstärkungsschichten, wobei die gleichen Materialien eingesetzt werden können wie für die Verstärkung selbst.

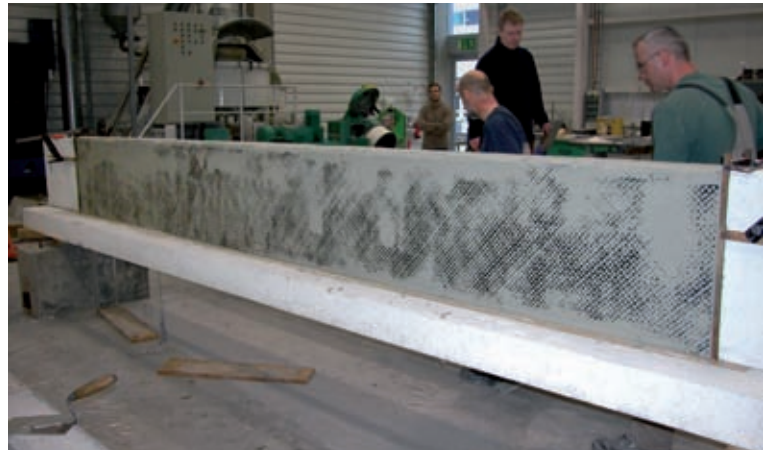


Bild 8: Verstärkung eines Plattenbalkens mit einem 45°-Carbontextil für Querkraftversuche, hier für eine einfachere Ausführung im Labor auf dem Kopf liegend
(Foto: Institut für Massivbau, TU Dresden)

Auf den vorbereiteten Untergrund wird eine erste ca. 3 mm dicke Schicht Feinbeton aufgetragen, Bild 10, und anschließend die erste Lage der textilen Bewehrung eingelegt. Diese Schritte werden so oft wiederholt, bis die notwendige Lagenanzahl resp. gewünschte Tragfähigkeit der Carbonbetonschicht erreicht ist. Die abschließende Feinbetonschicht kann je nach Wunsch geglättet oder spritzrau belassen werden. Die äußerst dünne Verstärkungsschicht ist vor Austrocknung zu schützen und ausreichend nachzubehandeln. Eine elegante Lösung dürften hierbei Flüssigfolien darstellen, die auch später einen Schutz des Bauwerks gewährleisten.

Mit den aktuellen Textilien ist im Hochbau eine maximal vierlagige Verstärkung möglich, was einer Verstärkungskraft von ca. 650 kN/m als Designlast entspricht. Dies ist etwas mehr als eine konventionelle Stahlbewehrung aus $\varnothing 16 / s = 15 \text{ cm}$ zur Verfügung stellen würde. Prinzipiell muss das Verfahren nicht auf vier textile Lagen beschränkt werden, jedoch sind dann höhere Anforderungen an die Untergrundqualität zu stellen, die im Brückenbau erfüllt sein sollten. Ein Anpassen der Betonmatrix gegenüber der abZ ist ebenso denkbar, um größere Kräfte in den Untergrund einleiten oder die Abriebfestigkeit erhöhen zu können. Auch können Textilien mit größerer Bewehrungsfläche als bisher zugelassen eingesetzt werden, beispielsweise Rovings mit 100 K oder gar 200 K (100 bzw. 200 × 1.000 Filamente). Hierbei müssten dann die Stärken der Betonzwischenlagen oder gar die Betonqualität (Zugfestigkeit) angepasst werden und auch an die Untergrundfestigkeit sind wieder höhere Anforderungen zu stellen. Die Untersuchungen werden in aktuellen Projekten des C³-Konsortiums [15] stattfinden.



Bild 9: Händisches Zuschneiden der Bewehrung, hier: mit einem elektrischen Rollenmesser
(Foto: Harald Michler)



Bild 10: Sprühen des Feinbetons für eine Carbonbetonschicht

(Foto: Harald Michler)

3.4 Das Schützen mit Textilbeton

Unabhängig von einer statischen Verstärkung ist aber auch der Gedanke interessant, ein bestehendes Bauwerk durch eine umhüllende Schicht aus Textilbeton zu schützen und damit die Nutzungszeit für das Bauwerk erheblich zu verlängern, [25], [26]. Viele Bauwerke haben ein Problem mit der schützenden Betondeckung. Sei es nun, dass diese gar nicht ausgeführt worden ist oder dass diese über die Zeit bspw. infolge Karbonatisierung ihre Schutzwirkung für die Betonstahlbewehrung verloren hat. Grund dafür kann ein „schlechter Beton“ sein, der das Eindringen von Wasser und damit den Transport von Salzen ins Bauwerk zulässt. In all diesen Fällen kann eine relativ dünne Schicht aus einem dichten Textilbeton ein Bauwerk für viele Jahre erneut schützen und somit dauerhaft machen. Eine derartige schützende Sanierung kann durchaus mit einer lokalen Verstärkung kombiniert werden, da die Bewehrungslagen einfach variiert werden können.

Wie eine derartige Sanierung aussehen kann, zeigt das Beispiel einer einfachen Brücke, die eine Bundesstraße über einen Bach überführt, Bild 11. Typischerweise sind dies Plattenbrücken, die im Allgemeinen keinen statischen Problemen unterliegen. Jedoch findet man oberstromseitig häufig Abplatzungen mit entsprechenden stark

korrodierter Betonstahlbewehrung, wahlweise aufgrund von angestautem Wasser, angepralltem Treibgut oder ähnlichem. Man findet auch diverse Schadstellen, verteilt an der Unterseite der Platte, die von Baufehlern oder anderem herrühren können.

Bei der Sanierung würde man sicherstellen, dass das Bauwerk von oben dicht ist, um anschließend die Unterseiten mit Hochdruckwasserstrahlen aufzurauen und dabei gleichzeitig alle Fehlstellen freizulegen und lose Betonbestandteile zu entfernen. „Sandstrahlen“ ist grundsätzlich auch möglich. Die korrodierte Betonstahlbewehrung ist dann örtlich zu entrostern und ggf. zu ersetzen und/oder wieder zu passivieren. Alle Fehlstellen werden lokal ausgebessert. Im Anschluss wird eine Textilbetonschicht über alle Flächen (Untersicht, Stirnseiten, Kragarme) gezogen. Dabei wird eine erste Lage aufgesprüht, wozu als Maschinerie nur eine relativ einfache Putzsprühmaschine erforderlich ist. In diese erste Schicht wird die Bewehrung aus textilem Gelege entsprechend der Beanspruchung eingelegt und lokal angepasst. Darauf folgt eine weitere Schicht Feinbeton und wieder eine Bewehrungsschicht beziehungsweise die abschließende Betonschicht, die dann durchaus etwas stärker ausgebildet werden kann. Zum Schluss wird die Oberfläche geglättet und darauf vorzugsweise eine Flüssigfolie aufgesprüht,

um die entsprechende Nachbehandlung des Betons sicherzustellen. Diese Arbeiten lassen sich mit wenig Personal und Geräteaufwand auch von kleinen Baubetrieben sicher durchführen. Auf eine entsprechende Schulung des Personals muss natürlich geachtet werden, [13], [14].

3.5 Oberflächengestaltung

In dem Punkt der Oberflächenglättung und -gestaltung liegt noch einiges an Potenzial. Für den statischen Abschluss wird eine Oberfläche, wie oben beschrieben, benötigt. Diese kann geglättet oder eventuell auch als eine raue Sprühoberfläche belassen werden, wobei die raue Sprühoberfläche immer nach dem letzten Glätten separat aufgebracht werden muss, denn durch das Glätten wird sichergestellt, dass die Schichten genügend Verbund untereinander haben.

Den Gedanken, eine zusätzliche Schicht als Sprühoberfläche zum Abschluss aufzubringen, kann man weiterführen. Wir verwenden einen Feinkornbeton, der es erlaubt, relativ feine Strukturen abzubilden, weshalb das Material auch schon für zahlreiche Kunst- und Designobjekte verwendet wurde, [27], [28]. Eine entsprechende Oberflä-

chengestaltung mit Matrizen und Walzen kann relativ einfach erfolgen. Damit könnten zum Beispiel verstärkte oder geschützte Widerlagerwände durchaus ansprechender gestaltet werden.

Auch ist es jederzeit möglich, dieser abschließenden Schicht Feinbeton Farbartikel oder entsprechende Sande und Effektmittel beizugeben. Damit lässt sich dann auch eine farbliche Anpassung erzielen und zusätzlich zu dem Schutz beziehungsweise der Verstärkung der Bauwerke wird gleichzeitig eine optische Aufwertung erreicht. Denkbar sind diese Maßnahmen eigentlich an allen Sichtflächen, besonders hervorzuheben sind Widerlagerwände, Stützen, Stegseitenflächen und natürlich auch die Kappen bzw. Gesimse der Brücken. Ausweiten lässt sich dies zudem auf Lärmschutzwände bzw. Stützwände allgemein, wobei bei Lärmschutzwänden höhere Anforderungen an die Schallabsorption und Reflexion gestellt werden, als diese mit dem Feinbeton alleinig bereitgestellt werden können. Es wird ein spezieller Schallabsorptionsbeton vonnöten sein.



Bild 11: Brücke Bretnig (LISt) mit Detail korrodierte Bewehrung

(Foto: Harald Michler)

3.6 Das Bemessen von Textilbeton

Zum Schluss bleibt noch die Frage nach der Bemessung von Textilbeton. Wie bereits erwähnt, orientiert sich diese für die verschiedenen Belastungszustände wie Biegung, Normalkraft, Querkraft und Torsion an der bekannten Stahlbetonbemessung. Modelle wurden bisher v. a. in verschiedenen Dissertationen, hauptsächlich aus den Sonderforschungsbereichen und Folgeprojekten, veröffentlicht. Eine Zusammenfassung wird in [11] gegeben.

Im Hinblick auf die abZ, aber auch auf bereits durchgeführte Baumaßnahmen, z. B. [29], [30], soll hier kurz etwas näher auf die Biegebemessung eingegangen werden. Die den Ingenieuren bekannten Ansätze einer Dehnungsverteilung und der daraus folgenden Kräfteermittlung im Querschnitt werden übernommen. Einzig und allein bezüglich der anzusetzenden Spannungs-Dehnungs-Linien für das Bewehrungsmaterial sind hier neue Werte für das neue Material erforderlich. Für die aktuellen Verstärkungstextilien ist eine quasi lineare Spannungs-Dehnungs-Linie relativ zutreffend, wie dies bspw. in [10] ausführlich vorgeführt wird.

Im Allgemeinen wird so bemessen, dass die relativ teure Carbonbewehrung voll ausgenutzt wird, folglich diese statt der Betondruckzone versagt. Damit kann man sich bei der Bemessung auf einen Drei-Punkt-Querschnitt beschränken, da im Falle einer Verstärkung im Querschnitt zwei Bewehrungslagen – Stahl und Textil – berücksichtigt werden müssen, weil diese beiden Bewehrungen ein unterschiedliches Spannungs-Dehnungs-Verhalten haben. Die Dicke der Verstärkungsschicht und somit der Schwerpunkt für textile Bewehrung wird geschätzt. Dann kann mit Hilfe des Spannungsblock-Verfahrens eine relativ grobe Verifizierung gegenüber der Betondruckfestigkeit erfolgen. Da man davon ausgehen kann, dass der Betonbewehrungsstahl bei einer Verstärkung mehr als 2,5 % gedehnt ist, ab wo er ins Fließen geraten ist, und der Hebelarm über den Querschnitt bekannt ist, kann auch für die Carbonbewehrung die ertragbare Zugkraft einfach abgeschätzt werden. Mit dem Verfahren können auch relativ einfach Vordehnungszustände erfasst werden. Die Ermittlung der erforderlichen Carbonfläche wird schließlich so vollzogen, dass das Kräftegleichgewicht im Querschnitt erfüllt wird. Genauere Bemessungsverfahren werden in Zukunft in Software integriert, was u. a. ebenfalls innerhalb eines Projektes im C³-Konsortium erfolgt.

Bei der Berechnung der Rissbreiten wird es dann schwieriger, da hier die Verbundbedingungen eine erhebliche Rolle spielen und diese sich, wie oben

gezeigt, deutlich von der bekannten Stahlbetonbewehrung unterscheiden. Arbeiten zum Thema Rissbreiten werden ebenfalls in Kürze erscheinen und sind Bestandteil der aktuellen Bearbeitung im Rahmen des C³-Projektes und anderer Forschungsvorhaben.

4 Fazit

Insgesamt birgt das flächige Verstärken von Betonbauteilen im Brückenbau erhebliche Möglichkeiten. Besonders hervorzuheben ist, dass bei dieser flächigen Verstärkungsmethode keine Lastkonzentrationen entstehen und damit einige potentielle Schwachstellen anderer Verfahren umgangen werden. Es muss aber auch hervorgehoben werden, dass Verstärkungsgrade, wie sie beispielsweise durch die Anordnung zusätzlicher externer Spannglieder erzielt werden, mit einer textilen Verstärkung nur unter besonderen Bedingungen erreicht werden können. Bei der textilen Verstärkung spielt aber auch der Gedanke, das Bauwerk mit einer zusätzlichen Schicht zu schützen, eine bedeutende Rolle. Diese neue Oberfläche würde viele Bauwerke über einen langen Zeitraum funktionstüchtig erhalten können, indem die bisherige Bausubstanz nicht mehr der Zerstörung durch Umwelteinflüsse ausgesetzt wird.

Literatur

- [1] Curbach, M.; Weiland, S.; Jesse, D.: Eine Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton für die Landesgartenschau 2006 in Oschatz. In: Stritzke, J. (Hrsg.): Tagungsband zum 16. Dresdner Brückenbausymposium, 14.3.2006 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2006, S. 143–157
- [2] Brückner, A.; Wellner, S.; Ortlepp, R.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Plattenbalken mit Querkraftverstärkung aus Textilbeton unter nicht vorwiegend ruhender Belastung. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 3, S. 169–178; Zweitabdruck in: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium, 11./12.3.2013 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2013, S. 255–266
- [3] Michler, H.: Innovativ! Leicht! Formbar! Bewährt! – Textilbetonbrücke Rottachsteg Kempten im Allgäu. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium, 11./12.3.2013 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2013, S. 239–252
- [4] Jesse, F.; Curbach, M.: Verstärken mit Textilbeton. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.;

- Wörner, J.-D. (Hrsg.): Beton-Kalender 2010, Teil I, Berlin: Ernst & Sohn, 2009, S. 457–565
- [5] Scheerer, S.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Textile reinforced Concrete – from the idea to a high performance material. In: Brameshuber, W. (Ed.): Proceedings of the FERRO-11 and 3rd ICTRC (PRO 98), 7.–10.6.2015 in Aachen, Bagneux: S.A.R.L.Rilem Publications, 2015, pp. 15–33
- [6] Curbach, M.; Scheerer, S.: Carbon im Brückenbau. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 24. Dresdner Brückenbausymposium, 10./11.3.2014 in Dresden, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2014, S. 15–28
- [7] Schlaich, M.; Zwingmann, B.; Liu, Y., Goller, R.: Zugelemente aus CFK und ihre Verankerungen. Bautechnik 89 (2012) 12, S. 841–850
- [8] Vorspannen mit Carbonfäden. In: Curbach, M.; Häußler-Combe, U. (Hrsg.): Jahresbericht 2015 des Instituts für Massivbau der TU Dresden. Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2016, S. 36-37
- [9] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® (Textilbewehrter Beton). Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Zulassungsnummer: Z-31.10-182, 6/2014
- [10] Frenzel, M.: Bemessung textilbetonverstärkter Stahlbetonbauteile unter Biegebeanspruchung. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan., S. 54–68
- [11] Müller, E.; Scheerer, S.; Curbach, M.: Strengthening of existing concrete structures: Design models. In: Triantafyllou, T. C. (Ed.): Textile Fibre Composites in Civil Engineering, Woodhead Publishing – Elsevier (im Druck, erscheint 2016)
- [12] Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan.
- [13] Reese, U.: Innovative Werkstoffe am Bau – Weiterbildung Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan., S. 106–108
- [14] Assmann, U.; Offermann, P.: Nutzung der abZ "Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT® (Textilbewehrter Beton)". Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan., S. 109
- [15] <http://www.bauen-neu-denken.de/> (Geprüft am 11.1.2016)
- [16] <http://www.unternehmen-region.de/de/6829.php> (Geprüft am 11.1.2016)
- [17] Scheerer, S.; Michler, H.; Curbach, M.: Brücken aus Textilbeton. In: Mehlhorn, G.; Curbach, M. (Hrsg.): Handbuch Brücken. 3. überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014, S. 120–125
- [18] Michler, H.: Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton – Rottachsteg Kempten im Allgäu, Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 5, S. 325–334
- [19] Bramenshuber, W.; Hinzen, M.; Woher, M.: Elegante Fußgängerbrücke aus textilbewehrtem Beton. Beton 60 (2010) 11, S. 438–444.
- [20] Hegger, J.; Goralski, C.; Kulas, C.: Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 2, S. 64–71
- [21] <http://tu-dresden.de/forschung/forschungskompetenz/sonderforschungsbereiche/sfb528/> (geprüft am 11.1.2016)
- [22] Feix, J.; Hansl, M.: Zur Anwendung von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau. In: Gebekken, N. et al. (Hrsg.): Festschrift zum 60. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser, Berichte aus dem konstruktiven Ingenieurbau 12/4, München: Universität der Bundeswehr München, 2012, S. 289–295
- [23] Hansl, M.: Textilbewehrte Betone zur Instandsetzung und Verstärkung von Fahrbahnplatten aus Stahlbeton. Diss., Universität Innsbruck, 2014
- [24] Feix, J.: Dynamische Belastungen von textilbewehrten Bauteilen. TUDALIT-Magazin 13 (2015) Sept., S. 20 (www.tudalit.de/uploads/TUDALIT13srn.pdf)
- [25] Dupke, M.: Textilbewehrter Beton als Korrosionsschutz. Diplomarbeit, HTWK Leipzig, 2006
- [26] Raupach, M.; Büttner, T.: Des Bauwerks neue Kleider, Funktionsprinzipien und Einsatzmöglichkeiten von Textilbetonschichten zum Schutz von Bauwerken. Bauen im Bestand 35 (2012) 6, S. 70–75
- [27] Scheerer, S.; Michler, H.: Freie Formen mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan., S. 94–100 – DOI: 10.1002/best.201400113
- [28] Curbach, M. (Hrsg.): Hans-Volker Mixsa – Skulpturen in Beton. Katalog zu einem Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG im Rahmen des SFB 528 mit Fotos und Texten von Ulrich van Stipriaan, 2. erw. Auflage, Dresden: Institut für Massivbau der TU Dresden, 2012, 48 S.
- [29] Erhard, E.; Weiland, S.; Lorenz, E.; Schladitz, F.; Beckmann, B.; Curbach, M.: Anwendungsbeispiele für Textilbetonverstärkung; Instandsetzung und Verstärkung bestehender Tragwerke mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan., S. 74–82
- [30] Rempel, S.; Will, N.; Hegger, J.; Beul, P.: Filigrane Bauwerke aus Textilbeton: Leistungsfähigkeit und Anwendungspotenzial des innovativen Verbundwerkstoffs. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2015 – Verstärken mit Textilbeton, Jan., S. 83–93

Im gedruckten Tagungsband stand hier eine Anzeige. Sie wurde für die Online-Fassung entfernt.