

Sergej Rempel
 Norbert Will
 Josef Hegger
 Patrick Beul

Filigrane Bauwerke aus Textilbeton

Leistungsfähigkeit und Anwendungspotential des innovativen Verbundwerkstoffes

Der innovative Verbundwerkstoff textilbewehrter Beton (kurz: Textilbeton) eröffnet neue Möglichkeiten für den Betonbau und bietet besondere Vorteile in vielen Bereichen des Bauwesens. Im Gegensatz zur Stahlbewehrung sind die Textilien nicht korrosionsgefährdet, so dass die Betondeckung auf wenige Millimeter reduziert werden kann. Damit sind architektonisch anspruchsvolle Betonkonstruktionen möglich, die sich vor allem in der Schlankheit und den geschmackvollen Sichtoberflächen widerspiegeln. Zusätzlich bieten sie ökologische und ökonomische Vorteile. Das Potential lässt sich in den realisierten Anwendungsprojekten erkennen. Der Beitrag stellt ausgewählte filigrane Bauwerke vor, die nur durch den Einsatz des Textilbetons entstehen konnten. Dabei wird sowohl auf selbsttragende als auch tragende Baustrukturen eingegangen.

Filigrane Bauwerke; Fassadenplatten; Fußgängerbrücken; historische Rekonstruktionen; gekrümmte Schalen

1 Einleitung

In den letzten 30 Jahren wurden Stahlbetonoberflächen vermehrt verputzt oder mit Aluminium oder Holz verkleidet. Grund dafür ist dessen korrosionsanfällige Bewehrung, die zu unerwünschten Oberflächenschäden durch Betonabplatzungen führen kann. Folglich beflügelt ein korrosionsbeständiges Material wie der Textilbeton die Renaissance der Betonoberflächen. Der Einsatz des neuen Verbundwerkstoffes ermöglicht die Herstellung dünnwandiger Bauteile, die sich durch ein geringes Gewicht und große Schlankheit auszeichnen.



Bild 1 Großformatige Fassadenplatten aus Textilbeton an der Fassade der Mensa des St. Leonhard Gymnasiums in Aachen [2] (Foto: Robert Mehl)
 Large-sized façade TRC elements of the cafeteria façade of the St. Leonhard school in Aachen

Filigrane Textile-Reinforced-Concrete constructions

The innovative composite material Textile-Reinforced-Concrete (TRC) enables new possibilities for concrete constructions and offers the building industry many advantages. In contrast to steel reinforcement the technical textiles are not vulnerable to corrosion. The consequence is the minimization of the concrete cover. The results of the remaining millimeters are architectural challenging concrete constructions, which stand out through slenderness and elegant surfaces. Additionally TRC structures provide ecological and economic efficiency. The realized projects prove the potential of TRC. The paper introduces filigree constructions, which only could be fulfilled with Textile Reinforced Concrete. Especially the self-supporting and bearing structures will be presented.

Filigrane constructions; façades, pedestrian bridges; historical reconstructions; curved shells

Textilbeton eignet sich besonders für selbsttragende Baustrukturen wie Fassadenplatten (Bild 1). Die herkömmlichen 90 mm dicken Stahlbetonfassaden können durch nur 20-30 mm dünne Textilbetonplatten ersetzt werden [1]. Eine weitere Anwendung ist der Einsatz von Textilbeton bei tragenden Bauwerken mit Chloridangriff. Vorhandene stahlbewehrte Brücken benötigen eine hohe Betondeckung, um in der Lage zu sein, den Stahl vor Karbonatisierung und Chloridangriff zu schützen. Durch den Einsatz der hochfesten und korrosionsbeständigen Textilien kann dem massigen Aufbau entgegengewirkt werden. Das führt zu einer Wiederbelebung der Betonbauweise für Tragschalen (Bild 2).



Bild 2 Filigrane Schale: Pavillon Kahla; entwickelt an der TU Dresden [3]
 Filigree TRC shell: pavilion Kahla; developed at TU Dresden

2 Selbsttragende Bauteile

2.1 Kleinformatige Fassadenplatten

Kleinere Fassadenplatten aus Textilbeton mit Elementgrößen bis ca. 2 m² und Dicken von ca. 20 mm werden häufig für hinterlüftete Fassaden verwendet. Das geringe Gewicht, die damit verbundenen Kostenersparnisse für Transport und Befestigung sowie nicht zuletzt die architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten spiegeln sich in zahlreichen Anwendungen in den letzten Jahren wider (Bild 3). Insbesondere durch die erste bauaufsichtlich zugelassene Textilbetonplatte betoShell® [4] wird die Anwendbarkeit gefördert.

Das neue, zwischenzeitlich als I/O-Gebäude bekannte Baukunstwerk der HAN University of Applied Sciences in Nimwegen wurde vor kurzem an die Hochschule übergeben und in Gebrauch genommen (Bild 4). Für den Entwurf und die Gesamtplanung sind LIAG Architecten en bouwadviseurs in Den Haag verantwortlich. Leitgedanken der Architektur sind vor allem die der Leichtigkeit und Nachhaltigkeit. So hinterlassen sowohl das Gesamtgebäude als auch insbesondere die Fassade einen sehr kleinen ökologischen Fußabdruck. In letzter Konsequenz deckt das Gebäude seinen Energiebedarf selbst. Durch diesen Ansatz ist es den Planern gelungen, das derzeit nachhaltigste unter den akademisch genutzten Gebäuden in den Niederlanden zu entwerfen. Schon in der Planungsphase wurden bei der Materialauswahl entsprechende Kriterien berücksichtigt, womit die Wahl auf eine betoShell® Architekturbeton-Fassade fiel. Der ökologische Mehrwert wird hier primär durch die Verwendung einer Glasfasertextilbewehrung erreicht, welche Elementstärken von nur 20 mm ermöglicht. Gegenüber einer traditionellen Stahlbeton-Fassade entspricht dies einer Materialeinsparung von über 80 %. Trotz der geringen Materialstärke steht die betoShell® Fassade in Bezug auf die Dauerhaftigkeit und Oberflächengestaltung der traditionellen Betonfassade an nichts nach, zeichnet sich hier sogar durch eine höhere Präzision beispielsweise in der Kantenausbildung aus.



Bild 3 Kleinformatige Fassadenplatte des Alfred-Hütter-Labors in Dresden; Entwickelt in Zusammenarbeit der TU Dresden und Hering Bau
Small-sized TRC façade of the Alfred-Hütter laboratory hall in Dresden; developed by the cooperation between Hering Bau and TU Dresden

Durch ihr geringes Gewicht konnten die betoShell®-Elemente nicht nur ganz klassisch an der circa 3000 m² umfassenden Fassade eingesetzt werden, sondern stellten sich auch als das ideale Material zur Verkleidung der weit auskragenden Deckenuntersichten mit einer zusätzlichen Fläche von circa 500 m² heraus (Bild 4). Ein besonderes Highlight aus gestalterischer Perspektive bieten unterschiedliche Farbakzente in der Fassade. Um den vom Architekten gewünschten weiß/hellgrünen Glanz und partiell starken Glimmereffekt zu erreichen, hat die Firma Hering Bau eine weiße Betonrezeptur mit hellgrünem Recyclingglas als alternative Gesteinskörnung entwickelt. Die gewünschten unterschiedlichen Farben, Farbintensitäten und Nuancierungen wurden durch die Kombination von mehreren Oberflächenveredelungstechniken erreicht. Letztlich wird mit einer enormen Ressourcen- und Gewichtseinsparung eine sehr leichte und optisch fast transparente, aber trotzdem monolithisch wirkende Gebäudehülle geschaffen. Nicht nur in Bezug auf die Nachhaltigkeit, auch gestalterisch, ist dieses Gebäude in Nimwegen also ein innovatives Highlight als ökologisch gesundes Gesamtkonzept.



Bild 4 Ansicht der Fassade in Nimwegen (Foto: Ben Vulkers, LIAG Architecten)
View of the façade in Nimwegen

2.2 Großformatige Fassadenplatten

Kleinformatige Fassadentafeln erfordern pro Quadratmeter Fassadenfläche eine große Anzahl an Befestigungselementen, was einen erheblichen Kostenanteil an der Gesamtkonstruktion darstellt. Zudem weisen solche Fassaden einen hohen Fugenteil auf, was aus architektonischer Sicht nicht immer gewünscht ist. Deshalb wurden am Institut für Massivbau und Institut für Bauforschung der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern Hering Bau und Solidian großformatige Fassadenplatten entwickelt [4].

Eine im Jahr 2014 fertiggestellte großformatige Fassadenplatte mit einer Plattenstärke von 50 mm (Bild 5) ist die ca. 6,2 m² große, architektonisch anspruchsvolle Platte für den Neubau des Wirtschaftsgebäudes „SchieferErlebnis“ in Dormettingen (Bild 6). Die Größe und das geringe Gewicht reduzieren die Montagezeit und die damit entstehenden Kosten.

Baukonstruktiv handelt es sich um hinterlüftete Fassadensysteme. Dabei werden die Fassadenelemente an der tragenden Wand befestigt und zwischen den Schichten eine Wärmedämmung angebracht. Somit kann gegenüber üblichen Wandaufbauten die Gesamtdicke deutlich reduziert werden. Die materialsparende Konstruktion mit gleichzeitigem Raumgewinn im Inneren des Gebäudes ist ein gutes Beispiel für energieeffizientes Bauen mit verringertem CO₂-Ausstoß.

Die Fassadenplatten weisen maximale Abmessungen von 1,5 m x 4,1 m bei einer Plattenstärke von nur 50 mm auf. Ein leistungsfähiges Carbontextil mit Epoxidharztränkung, das mittlere Zugspannungen von über 3000 N/mm² im Verbundkörper erreicht, war ausreichend, um die Tragfähigkeit sicherzustellen [6]. Zur Verankerung wurden aus dem Stahlbetonbau bekannte Befestigungselemente für die geringe Plattendicke modifiziert.

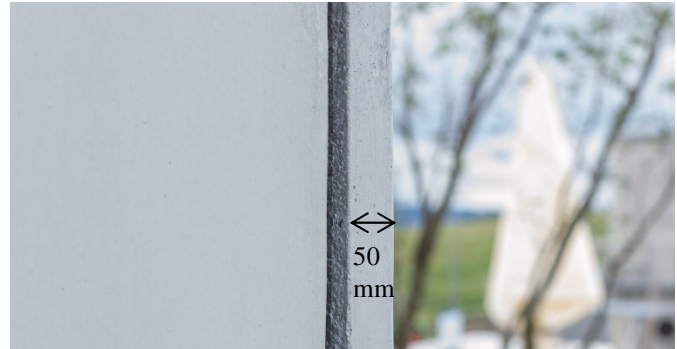


Bild 5 Seitenansicht der filigranen Platte (Foto: Solidian)
Side-face of the filigree shell

In experimentellen Untersuchungen wurde die Tragfähigkeit der Fassadenplatten nachgewiesen. Um die Forderungen des Bauherrn nach rissfreien Platten im Gebrauchszustand zu erfüllen, wurde die Platte so bemessen, dass die Betonzugfestigkeit auch bei maximaler Wind- und Temperaturbeanspruchung nicht überschritten wird. Diese hohen Ansprüche an die Oberflächen sind nicht nur zur Befriedigung der Optik, sondern auch für die Überzeugung der Tragfähigkeit der Textilbetonplatten wichtig. Geringe Verformungen und rissfreie Bauteile im Gebrauchszustand verleihen das Gefühl sicherer Baukonstruktionen. Erst im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Sicherheit gegen Versagen) wird die textile Bewehrung zur Sicherstellung der Tragfähigkeit aktiviert. Der gute Verbund der textilen Bewehrung zum Beton und die hohen Festigkeiten sorgen für kleine Rissöffnungen und erhebliche Laststeigerungen nach der Rissbildung bis zum Bruch. Anhand der Versuche konnte gezeigt werden, dass Fassadenplatten im Bruchzustand nach der Rissbildung die etwa drei- bis vierfache Belastung des Gebrauchszustandes aufnehmen können.



Bild 6 Ansicht der Fassadenplatte „SchieferErlebnis“ in Dormettingen (Foto: Solidian)
View of the façade of „SchieferErlebnis“ in Dormettingen

2.3 Sandwichfassaden

Sandwichelemente für Industrie- und Geschossbauten werden heute vorrangig mit Deckschichten aus Metall oder Stahlbeton ausgeführt. Textilbewehrte Innen- und Außenschalen vergrößern im Vergleich zu solchen aus Stahlbeton bei gleicher Gebäudekubatur entweder die nutzbare Gebäudefläche oder die ausführende Dämmstärke und senken die Kosten für Transport sowie Befestigungs- und Verbundmittel. Die leichten Sandwichkonstruktionen können entweder für selbsttragende, vertikale Sandwichfassaden von Geschossbauten und Werkhallen oder als tragende Bauteile für modulare Bauten eingesetzt werden. Bei letzteren sind zeitabhängige Materialeigenschaften der Kernschicht zu berücksichtigen.

In einem von der EU geförderten Projekt wurden Teile der Fassade eines Institutsneubaus der RWTH Aachen als selbsttragende Sandwichkonstruktion mit Abmessungen von $L \times H \times T = 3,45 \times 1,00 \times 0,18 \text{ m}^3$ (Rastermaße) ausgeführt (Bild 8). Grundlage der Planung waren die in [6] bis [9] vorgestellten Ergebnisse. Die Elemente bestehen aus einem tragfähigen PUR-Hartschaumkern, zwei dünnen Betonschalen aus textilbewehrtem Glasfaserbeton sowie Verbundnadeln aus Edelstahl. Das Eigengewicht wird über die Innenschale mit an der Pfosten-Riegel-Konstruktion verschweißten Konsolen übertragen, die Windlasten werden durch vier Horizontalhalterungen aufgenommen (Bild 7). Das Gewicht der Außenschale wird mit Diagonalankern in die Innenschale zurückgehängt. Zur Sicherstellung einer dauerhaften Verbundtragwirkung werden Verbundnadeln eingesetzt, die schälende Normalkraftbeanspruchungen in der Verbundfuge infolge von Windsog, Temperatur und Schwinden aufnehmen. Die Sandwichtragwirkung und die Beanspruchung der Deckschichten werden wesentlich von der Steifigkeit des Dämmkerns gemäß der Theorie des elastischen Verbunds bestimmt [9].



Bild 7 Vertikal- und Horizontallager für Randelemente sowie Horizontalfuge mit Dichtprofil
Vertical and horizontal support of the edge elements including sealing strip

In Vier-Punkt-Biegeversuchen an Prototypen wurde ein günstiges Last-Verformungs-Verhalten festgestellt, das durch die Schubtragfähigkeit des Dämmkerns begrenzt wird und das Potential für größere Spannweiten belegt. Die Rissbildung der Betonschichten kann durch die textile Bewehrung in Verbindung mit Kurzfasern weit über den Gebrauchslastbereich hinaus wirksam unterdrückt werden. Die positiven Erfahrungen bei Planung, Fertigung und Montage belegen das hohe Anwendungspotential von textilbewehrtem Beton für den Einsatz im Fassadenbereich.



Bild 8 Längsansicht auf Südfassade des Institutsneubaus INNOTEX
View of the façade of the new building of the institute INNOTEX

2.4 Rekonstruktion von filigranen Betonbauteilen

Der innovative Verbundwerkstoff Textilbeton eröffnet neue Möglichkeiten für die Rekonstruktion von historischen Bauwerken. Insbesondere filigrane Bauteile wie die historischen Glasbetonfenster des Aachener Rathauses profitieren von der korrosionsbeständigen und dauerhaften textilen Carbonbewehrung. Die alten Fenster mussten aufgrund der korrodierten Stahlbewehrung und von Betonabplatzungen saniert werden. Dafür wurden die im Stahlbeton eingebetteten denkmalgeschützten Glasdallen herausgetrennt und im sanierten Fenster erneut eingebaut. Gleichzeitig wurde die Stahlbewehrung durch Carbonbewehrung ersetzt. Somit konnten die Denkmalaufgaben eingehalten und die Korrosionsschäden in Zukunft vermieden werden.

Im Rahmen der Vorbereitung für die Feierlichkeiten zum Karlsjahr 2014 wurden Sanierungsmaßnahmen am gotischen Rathaus durchgeführt, das mit seiner Bausubstanz zu den bedeutendsten mittelalterlichen Herrschaftsbauten des deutschsprachigen Raums gehört. Besonders auffällig sind die Glasbetonfenster, die nach der Idee des Architekten Graubner das Erscheinungsbild des Bruchsteinmauerwerks widerspiegeln sollen (Bild 10). Die in der Optik und Größe variierenden Fenster bestehen aus Glasdallen, die in 3,5 cm dickem Beton eingebettet sind. In den ca. 2,5 cm breiten Betonstegen zwischen den Glasdallenreihen ist die Stahlbewehrung in horizontaler Richtung eingelegt [11]. Die Fenster sind in Stahlrahmen eingefasst, die zum einen für die Verankerung im Mauerwerk benötigt werden und zum anderen bei der Herstellung als verlorene Schalung dienen. Vor der Herstellung der neuen Fenster, die nach dem gleichen Prinzip wie schon vor 60 Jahren erfolgte, fand eine ausführliche Dokumentation der Fenster statt, um das Erscheinungsbild bei der Rekonstruktion wiederherstellen zu können. So konnte die ursprüngliche Lage der etwa 15.000 Glasdallen sichergestellt werden. Dafür wurden die herausgetrennten Glasdallen auf einer Schaltafel innerhalb des Rahmens positioniert und anschließend ausbetoniert. Als Bewehrungselement dienen

epoxidharzgetränkte Carbonrovings, welche die alten Bewehrungsstäbe ersetzen (Bild 9). Die Möglichkeit, scharfkantige Bauteile zu realisieren, ermöglichte es, auf den umlaufenden Rahmen zu verzichten. So konnten die über 2 m langen Fenster in tragbare Segmente unterteilt und anschließend übereinander stehend montiert werden. Dies hat sowohl Vorteile bei der Herstellung wie auch bei der Montage. Die Scharfkantigkeit sorgte dafür, dass die übereinander gestellten Segmente wie ein monolithisch erstelltes Fenster wirken (Bild 10).



Bild 9 Ansicht der Carbonbewehrung vor der Betonage
View of the carbon reinforcement before concreting

Bei den Tragfähigkeitsuntersuchungen zeigte sich, dass die Glasdallen für den Gebrauchszustand maßgebend sind. In realitätsnahen Versuchen versagte das Glas infolge Druckspannungen, bevor ein Riss im Beton auftrat. Nach dem Versagen des Glases stellte sich ein duktiler Bauteilverhalten ein. Die Tragfähigkeit des Fensters konnte bis zu einem Bruchmoment von 2,5 kNm/m fast verdoppelt werden, was einer Windbelastung von etwa 14 kN/m² entspricht. Die Kombination des optisch hochqualitativen Betons der Firma Hering Bau mit dem Carbondtextil der Firma Solidian entstand die gewünschte dauerhafte Lösung, die selbst die kritischen Denkmalpfleger beeindruckte (Bild 10).



Bild 10 Ansicht der rekonstruierten Fenster aus dem Innenraum des Marienturms
View from the inside of the Marientower of the reconstructed historical windows

3 Tragende Bauteile

3.1 Schalenkonstruktion

Aufgrund seiner nicht-korrozierenden Bewehrung und der charakteristischen hohen Oberflächenqualität eignet sich Textilbeton sehr gut für hochwertige, dünnwandige tragende Fertigteile [14]. In Rahmen eines Forschungsprojektes wurde an der RWTH Aachen eine doppelt-gekrümmte Tragstruktur aus textilbewehrtem Beton realisiert (Bild 12). Sie besteht aus vier großformatigen Betonschalen, die zusammengesetzt einen Pavillon formen. Als Bewehrung wird eine hochfeste textile Bewehrung aus Carbon eingesetzt, die es ermöglichte, die filigranen, doppelt-gekrümmte Betonschalen mit Abmessungen von 7 m x 7 m in einer Dicke von 6 cm auszuführen. Die Schalen lagern mittig jeweils auf einer Fertigteilstütze aus Stahlbeton auf. Nach Anschluss der umlaufenden Glasfassade ergibt sich eine Gebäudehülle von 14 m x 14 m x 4 m [12].

Um die hohe Genauigkeit, die beim Einbau der textilen Bewehrung gefordert wird, sicherzustellen, wurde für die Herstellung ein Fertigteilkonzept entwickelt. Hierfür wurde ein temporäres Fertigungszelt errichtet, in dessen Mitte die Schalung für die Textilbetonschalen aufgebaut wurde. Über eine verfahrbare Arbeitsbühne konnte jeder Punkt der Schale erreicht werden, ohne die Schale bei der Herstellung zu betreten. Von der Arbeitsbühne aus wurden lagenweise ca. 5 mm dicke Spritzbetonschichten eingebracht und anschließend die textile Bewehrung von Rollen abgewickelt und einlaminiert (Bild 11). Insgesamt wurden 12 Lagen ungetränkte, textile Carbonbewehrung äquidistant über die Querschnittsdicke angeordnet. Durch eine kontinuierliche Messung der Schichtdicken konnte die geforderte Lagegenauigkeit der Bewehrung sichergestellt werden. Das Fertigteilkonzept ermöglichte die wirtschaftliche Herstellung aller vier Textilbetonschalen mit

nur einer Schalung sowie die witterungsunabhängige Herstellung.



Bild 11 Lagenweise Herstellung der Textilbetonschale in Spritzbetonweise
Manufacturing by layers of the textile-reinforced shell

Zur Montage der Textilbetonschalen wurde das verfahrbare Dach des Fertigungszeltes geöffnet und die Schale an ihrem Mittelpunkt über ein einbetoniertes Stahleinbauteil an einem Autokran angehängt. Das mittig angeordnete Stahleinbauteil ermöglichte neben der Montage auch die millimetergenaue Ausrichtung der Textilbetonschalen im Endzustand und die kraftschlüssige Kopplung mit den Fertigteilstützen.

Nach Abschluss der Rohbauarbeiten erfolgen bis Ende 2014 der Anschluss der Glasfassade und der Ausbau als Seminar- und Veranstaltungsraum. Hierbei sind auch im Endzustand die Dünnwandigkeit und die Sichtbetoneigenschaften des Textilbetons erkennbar.



Bild 12 Ansicht des Pavillons nach Abschluss der Rohbauarbeiten
View of the pavilion

3.2 Fußgängerbrücke

Ältere bestehende Stahlbeton- und Spannbetonbrücken weisen häufig Korrosionsschäden an den Bewehrungselementen auf, was zu Betonabplatzungen führen kann. Neben optischen Mängeln kann dies in extremen Fällen zum Verlust der Tragfähigkeit führen. Als Folge sind diese Bauwerke kostenintensiv zu sanieren oder sogar durch neue Bauwerke zu ersetzen. So auch bei der Fußgängerbrücke über die Bundesstraße B463 in Albstadt, die abgerissen werden musste und im Sommer 2010 durch eine neue Konstruktion ersetzt wurde.

Der Entwurf der neuen Konstruktion sieht einen Betonüberbau vor, der auf schlanken Stahlstützen gelagert wird (Bild 13). Dabei soll der Überbau ebenfalls möglichst schlank ausgebildet werden und gleichzeitig die durch den Bauherrn festgelegten erhöhten Anforderungen an die Frost-Tausalz-Beständigkeit erfüllen. Als Konstruktionswerkstoff kam deshalb der Verbundwerkstoff Textilbeton zum Einsatz, bei dem flächige Bewehrungsstrukturen aus nicht korrosionsanfälligen Textilien (hier AR-Glas) verwendet wurden [15].

Die ca. 100 m lange Fußgängerbrücke besteht aus sechs Fertigteilen, die eine maximale Länge von 17,20 m bei einer Überbauhöhe von nur 43,5 cm aufweisen (Bild 14). Damit wird bei einer Stützweite von 15,05 m eine extrem schlanke Konstruktion mit einem Schlankheitsverhältnis von nur $H:L = 1:35$ erreicht. Der Überbauquerschnitt ist ein in Längsrichtung vorgespannter siebenstegiger Plattenbalken mit einer Breite von 3,21 m. Aufgrund des gegliederten Querschnitts werden geformte Bewehrungselemente für die Stege und Kappen verwendet, die durch eine Epoxidharztränkung die gewünschte Form erhalten. Aufgrund einer minimalen Betondeckung von 1,5 cm können die Stege an der dünnsten Stelle mit einer Breite von 12 cm ausgeführt werden. Der Kragarm an den Brückenrändern verzüngt sich auf nur 9 cm [15] - [17]. Durch den verwendeten Beton ist es zudem möglich eine scharfkantige Querschnittsgeometrie mit einer homogenen Oberfläche herzustellen.

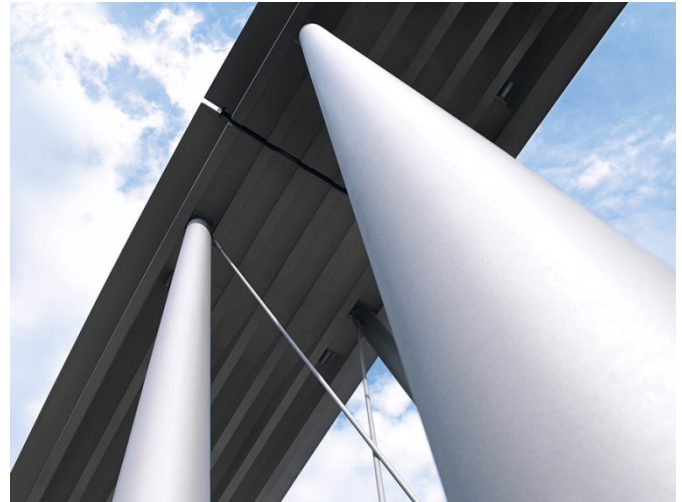


Bild 13 Blick auf die die Unterseite der Brücke (Foto: Solidian)
View of the bottom side of the bridge

Da der Baustoff Textilbeton normativ nicht geregelt war, wurde für die Fußgängerbrücke eine Zustimmung im Einzelfall beantragt. Die dafür notwendigen Untersuchungen wurden in einem umfangreichen Versuchsprogramm am Institut für Massivbau und Institut für Bauforschung der RWTH Aachen durchgeführt. Anhand von experimentellen Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass die Bauteile im Grenzzustand der Tragfähigkeit ausreichende Sicherheiten aufweisen und der Verbundwerkstoff Textilbeton im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit deutliche Vorteile gegenüber üblichen Stahlbetonbauteilen aufweist. Aufgrund der guten Verbundeigenschaften der Rovings wurde in den Versuchen ein fein verteiltes Rissbild mit Rissbreiten kleiner als 0,2 mm erreicht.

Eine weitere textilbewehrte Brücke wurde an der TU Dresden entwickelt (Bild 16). Die 17 m lange Fußgängerbrücke ist die zurzeit längste Segmentbrücke aus Textilbeton [19], [20].



Bild 14: Ansicht der Textilbetonfußgängerbrücke in Albstadt (Foto: Solidian)
View of the Textile-Reinforced bridge in Albstadt



Bild 15 17 m lange Segmentbrücke in Kempten mit integriertem Geländer und 30 mm starken Schalen aus Textilbeton [19], [20]
17 m span bridge in Kempten with integrated railing and 30 mm thick TRC shells

4 Zusammenfassung

Aufgrund der korrosionsbeständigen technischen Textilien können Tragwerke aus Textilbeton im Vergleich zu Stahlbauteilen deutlicher schlanker ausgeführt werden. Neben einer hohen Tragfähigkeit zeichnet sich der Textilbeton bei Überschreiten der Betonzugfestigkeit durch ein sehr fein verteiltes Rissbild mit sehr geringen Rissbreiten aus. Dadurch ist der neue Verbundwerkstoff insbesondere bei hohen Anforderungen an die Betonoberfläche geeignet. Dies wird eindrucksvoll durch die bisher realisierten Bauwerke verdeutlicht. Es wurden nicht nur selbsttragende Elemente wie Fassadenplatten verwirklicht (Bild 16), sondern auch tragfähige filigrane Konstruktionen wie Schalen (Bild 17) und Brücken (Bild 14, Bild 15) erfolgreich erbaut.

Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die finanzielle Unterstützung der Transferprojekte T07, T08 und T09 im Rahmen des SFB 532 sowie den Industriepartnern Solidian, Hering Bau, Wochner, V. Fraas, Quadflieg, beweka Betonwerk Kahla, AIB GmbH und SGL. Gedankt sei auch dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für die über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. im Rahmen des Programms ProInno II bereitgestellte Finanzierung des Forschungsprojektes zur Entwicklung einer großformatigen Fassadenplatte.



Bild 16 Ansicht der Fassade des Community Colleges Leiden in den Niederlanden (Foto: Hering Bau) [5], [10]
View of the facade of the Community College in Leiden, Netherlands



Bild 17 Filigrane einfach gekrümmte Schale aus Textilbeton [18]
Filigree single-curved TRC shell

Literatur

[1] KULAS, C.; SCHNEIDER, M; WILL, N.; GREBE, R.: *Hinterlüftete Vorhangsfassade aus Textilbeton – Tragverhalten und Ausführung*. Bautechnik 88, Heft 5, 2011, S. 271-280.

[2] REMPEL, S.; KULAS, C.; HEGGER J.: *Plattenbau im 21. Jahrhundert – Schulmensa St. Leonhard, Aachen*. Gütersloh, Beton Bauteile 2014, Bau Verlag, 2013.

[3] EHLIG, D.; SCHLADITZ, F.; FRENZEL, M. CURBACH, M.: *Textilbeton - Ausgeführte Projekte im Überblick*. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012) 11, S. 777-785.

[4] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (DIBT): *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: „betoShell“ Platten aus Betonwerkstein mit rückseitig einbetonierten Befestigungselementen zur Verwendung als hinterlüftete Außenwandbekleidung oder als abgehängte Decke (Z-33.1-577*. 31. Juli 2008.

[5] REMPEL, S.; KULAS, C.; HEGGER J.: *Ventilated façade structures made of textile-reinforced concrete – structural behavior and construction*. The fourth international fib congress 2014, Mumbai: Proceedings of the fib congress, Mumbai/ India, 10.-14.2.2014. pp. 566-569.

[6] HEGGER, J.; HORSTMANN, M.; VOSS, S.; WILL, N.: *Textilbewehrter Beton – Tragverhalten, Bemessung und Anwendung*. Beton- und Stahlbetonbau 102, Heft 6, 2007, S. 362-370.

[7] SHAMS, A.; HORSTMANN, M.; HEGGER J.: *Experimental investigations on textile-reinforced concrete (TRC) sandwich sections*. Composite Structures Volume 118 (09.2015), pp. 643-653.

[8] SHAMS, A.; STARK, A.: *Untersuchungen zum Verbundverhalten von Sandwichelementen mit Betondeckschichten und geschäumten Polyurethan-Kernschichten*. Bauingenieur, issue 10 (October 2013), pp. 412-419.

[9] SHAMS, A.; HORSTMANN, M.; HEGGER J.: *An analytical model for sandwich panels made of textile-reinforced concrete*. : Construction and Building Materials Volume 64 (August 2014), pp. 451-459.

[10] REMPEL, S.; KULAS, C.; VOSS S.: *Textilbetonfassaden*. Festschrift zum 60. Geburtstag von Josef Hegger. Aachen, Lehrstuhl und Institut für Massivbau der RWTH Aachen, Ernst & Sohn, 2014.

[11] REMPEL, S.; GEBNER, S.; HEGGER J.: *Licht für ein Jahrtausend*. Gütersloh, Beton Bauteile 2015, Bau Verlag, 2014.

[12] SCHOLZEN, A.; CHUDOBA, R.; HEGGER J.: *Dünnwandiges Schalentragsystem aus textiltbewehrtem Beton. Entwurf, Bemessung und baupraktische Umsetzung*. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 11, 2012.

[13] SCHOLZEN, A.; CHUDOBA, R.; HEGGER J.: *Thin-walled*

shell structure made of textile reinforced concrete (Part I): structural design and realization. Structural Concrete 16(1) (2015), DOI: 10.1002/suco.201300071.

[14] SCHOLZEN, A.; CHUDOBA, R.; HEGGER J.: *Thin-walled shell structure made of textile reinforced concrete (Part II): dimensioning approach, ultimate limit state assessment and numerical simulation*. Structural Concrete 16(1) (2015), DOI: 10.1002/suco. 201400046.

[15] REMPEL, S.; KULAS, C.; HEGGER J.: *A pedestrian bridge made of textile reinforced concrete*.: European Bridge Conference - Structural Faults and Repair - 2014, London: Proceedings of the congress, London/ GB, 08.-09.7.2014.

[16] HEGGER, J.; GORALKSI, C. KULAS, C.: *Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton – Sechsfeldrige Fußgängerbrücke mit einer Gesamtlänge von 97 m*. Beton- und Stahlbetonbau 106, Heft 2, 2011, S. 64-71.

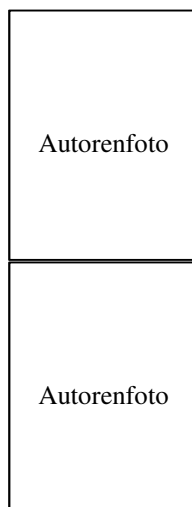
[17] HEGGER, J.; KULAS, C.; RAUPACH, M.; BÜTTNER, T.: *Tragverhalten und Dauerhaftigkeit einer schlanken Textilbetonbrücke – Eine 97 m lange Fußgängerbrücke mit einer Bewehrung aus AR-Glasfilamenten*. Beton- und Stahlbetonbau 106, Heft 2, 2011, S. 72-80.

[18] SCHNEIDER, M.; SCHOLZEN, A.; CHUDOBA, R.; TOMOSCHKEIT S.; PACHOW, U.: *Filigrane Schalenstruktur aus Textilbeton*. TUDALIT-Magazin Nr. 9 S.8, 2013.

[19] MICHLER, H.: *Segmentbrücke aus textiltbewehrtem Beton – Rottachsteg Kempten im Allgäu*. Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013) 5, S. 325-334

[20] MICHLER, H.: *Innovativ! Leicht! Formbar! Bewährt! – Textilbetonbrücke Rottachsteg Kempten im Allgäu*. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 23. Dresdner Brückenbausymposium 2013, Seite 239-252

Autoren



Dipl.-Ing. Sergej Rempel
 Institut für Massivbau
 RWTH Aachen
 srempel@imb.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Norbert Will
 Institut für Massivbau
 RWTH Aachen
 nwill@imb.rwth-aachen.de

Autorenfoto

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger

Institut für Massivbau

RWTH Aachen

imb@imb.rwth-aachen.de

Autorenfoto

Patrick Beul

Hering Bau GmbH & Co. KG

Patrick.Beul@hering-bau.de