

Frank Schladitz  
Enrico Lorenz  
Frank Jesse  
Manfred Curbach

## Verstärkung einer denkmalgeschützten Tonnenschale mit Textilbeton

Bei dem Umbau der Ingenieurschule Zwickau in ein Finanzamt wurde eine über 100 Jahre alte Stahlbetondachkonstruktion mit Textilbeton (Teb) verstärkt. Im Vergleich mit anderen Verstärkungsmöglichkeiten konnte nur eine Textilbetonverstärkung den Anforderungen des Denkmal- und Brandschutzes, des Architekten sowie des Bauherrn gerecht werden und die statischen Forderung erfüllen. Die Textilbetonschicht, aus Feinbeton und textiler Bewehrung, wurde mit Gesamtdicken von nur 1,0 bis 1,5 cm aufgetragen.

### 1 Einleitung

Nur wenige Bauwerke erfahren über ihre Lebensdauer eine gleichbleibende Nutzung. Bei einem Großteil der Gebäude ist daher im Laufe ihres Lebenszyklus ein Umbau oder eine Veränderung der Tragstruktur aufgrund zusätzlicher Beanspruchungen notwendig. Dabei sind besonders bei der Sanierung und Umnutzung bestehender historischer Gebäude neben einer Anpassung an die Erfordernisse der zukünftigen Nutzung sehr oft Aspekte des Denkmalschutzes zu berücksichtigen. Die Tragsicherheit der bestehenden Konstruktion soll unter Beachtung der geltenden normativen Regelungen meist ohne maßgebliche Eingriffe in das bestehende Tragsystem sichergestellt werden.

Eine neue, effektive und sehr innovative Verstärkungsmethode für Stahlbetonkonstruktionen stellt diesbezüglich der Verbundwerkstoff Textilbeton [1], [2] dar. Er kombiniert die günstigen Materialeigenschaften des Betons mit denen moderner Hightech-Faserwerkstoffe. Statt aus Stahl werden endlose Hochleistungs-

fasern aus alkaliresistentem Glas (AR-Glas) oder Carbon eingesetzt, die zu flächigen gitterartigen Bewehrungsstrukturen verarbeitet die Funktion der Bewehrung übernehmen. Diese textilen Bewehrungen ermöglichen eine lastorientierte Anordnung der Bewehrung und damit eine effiziente Ausnutzung der hochwertigen Werkstoffe. Für die Verstärkung von Stahlbetonbauteilen werden die textilen Bewehrungen ein- oder mehrlagig in dünne Schichten aus speziellem Feinbeton eingebettet und auf das zu verstärkende Bauteil aufgebracht (Bild 1).

Da für den Korrosionsschutz der textilen Bewehrungen keine Betondeckung erforderlich ist, vergrößern Verstärkungen aus Textilbeton die Bauteilabmessungen nur um wenige Millimeter. Im Vergleich zur Verstärkung mit Aufbeton oder Spritzbeton ist die Erhöhung des Eigengewichts der bestehenden Tragkonstruktion äußerst gering. Die Formbarkeit und Drapierbarkeit ermöglicht ohne Schwierigkeiten auch den Einsatz an gekrümmten Oberflächen.

Neben der signifikanten Verringerung von Durchbiegungen, Rissabständen und Rissbreiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind durch den Einsatz von Verstärkungen aus Textilbeton Erhöhungen der Biegetragfähigkeit bestehender Stahlbetonkonstruktionen weit über den Faktor zwei möglich [3]. Experimentell konnte bereits gezeigt werden, dass auch der Bauteilwiderstand gegenüber Querkraft [4], Normalkraft (besonders bei Stützen) [5] und Torsion [6] zum Teil erheblich gesteigert werden kann.

Im Folgenden wird beispielhaft über die Anwendung dieses neuarti-

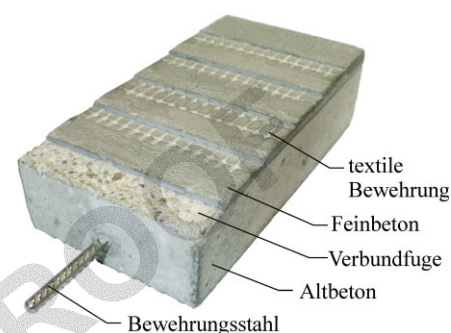


Bild 1. Prinzip einer Verstärkung mit textilbewehrtem Beton

gen Verstärkungssystems an einem historischen tonnenförmigen Stahlbetondach berichtet. Der Beschreibung der Ausführungsarbeiten sind Informationen über die Bemessung der Verstärkung und die verwendeten Baustoffe vorangestellt.

### 2 Objektbeschreibung und Verstärkungskonzept

Die im Jahr 1903 erbaute alte Ingenieurschule der sächsischen Stadt Zwickau wurde in der Zeit von 2007 bis 2009 umgebaut und beherbergt zukünftig das Zwickauer Finanzamt.

Im Rahmen des Umbaus bestand von Seiten des Denkmalschutzes die Auflage, die historische tonnenförmige Dachkonstruktion eines Seitenflügels zu erhalten. Dieses Tonnendach aus Stahlbeton überspannt einen Saal mit einer Länge von ca. 16 m und einer Breite von ca. 7 m stützenfrei. Insgesamt elf Balken mit einer Breite von 20 cm und einer Höhe von 25 cm sind monolithisch mit einer 8 cm dicken Stahlbetonplatte verbunden. Neun von zehn Dachfeldern besitzen im mittleren Bereich ca. 1 m × 3 m

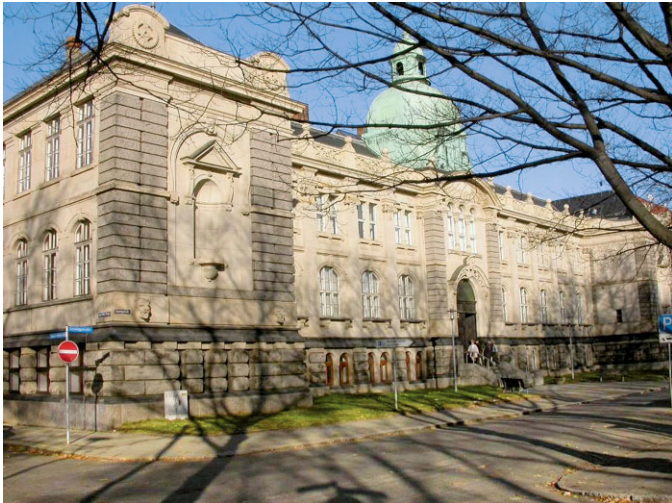


Bild 2. Ansicht der alten Ingenieurschule Zwickau vor Baubeginn

große Lichtöffnungen (Bilder 3 und 4). Die Dachkonstruktion ruht zum Teil auf Mauerwerk und zum Teil auf Stahlträgern. Bei dem zu verstärkenden Tonnendach handelt es sich um ein gekrümmtes und strukturiertes Flächentragwerk.

Im Rahmen einer Neubewertung der Statik der Tonnenkonstruktion konnte deren Tragfähigkeit auf der Basis der geltenden DIN 1045-1 nicht nachgewiesen werden. Ein Ersatzneubau und eine Unterspannung der bestehenden Dachkonstruktion kamen aufgrund denkmalschutzrechtlicher Bedenken nicht in Betracht. Traditionelle Verstärkungsverfahren wurden für ungeeignet befunden. Eine Verstärkung mit Spritzbeton [7] würde aufgrund der notwendigen Betondeckung Schichtdicken von etwa 6 bis 8 cm und damit ein großes Eigengewicht aufweisen, was zu einer zu hohen zusätzlichen Belastung der Konstruktion selbst und nachgeordneter Tragglieder führen würde. Des Weiteren würde die filigrane Platten-Balkenkonstruktion zu einer groben,

mit dem Anforderungen des Denkmalschutzes nicht zu vereinbarenden Struktur werden. Geklebte CFK-Lamellen [8] bieten die Möglichkeit der Verstärkung mit vernachlässigbaren Zusatzlasten. Allerdings wäre der materielle Aufwand recht hoch geworden, denn die gleichmäßige Lastverteilung in der Platte hätte geringe Höchstabstände zugelassen und die Maßnahmen zur Verbundisierung im Bereich der negativen Krümmung an der Unterseite der Balken wären signifikant. Das in dieser Hinsicht günstigere Einschlitzeln der Lamellen in das Tragwerk ließ sich aufgrund der Krümmung nicht realisieren. Grundsätzlich besitzen CFK-Lamellen eine hohe Tragfähigkeit, stellen aber hohe Ansprüche an die Verankerung aufgrund der stark konzentrierten Lastenleitung.

Der vom Bauherrn beauftragte Planer wandte sich an das Deutsche Zentrum für Textilbeton mit der Bitte um Prüfung der Machbarkeit einer Verstärkung mit Textilbeton. Der erarbeitete Vorschlag sah vor, nach der

Entfernung der vorhandenen Putzschicht und der Herstellung eines tragfähigen Untergrunds die fehlende Tragfähigkeit durch eine mehrlagige Textilbetonverstärkung mit hochfesten Carbonfasern wiederherzustellen. Die Applikation der Textilbetonverstärkung anstelle des alten Putzes ermöglicht den Erhalt der Originalgeometrie und damit des filigranen Charakters der historischen Dachkonstruktion. Diese Vorteile gaben den Ausschlag zugunsten der vorgeschlagenen Lösung. Unter Berücksichtigung denkmalschutzrechtlicher, brandschutztechnischer und statischer konstruktiver Erwägungen wurde die Textilbetonverstärkung zur Ausführung beauftragt. Die für dieses bauaufsichtlich nicht geregelte Verfahren notwendige Zustimmung im Einzelfall erteilte die Landesstelle für Bautechnik in Sachsen.

### 3 Baustoffe

#### 3.1 Vorhandene Stahlbetonkonstruktion

Für die Stahlbetonkonstruktion des Tonnendachs waren keine originalen Bauunterlagen mehr vorhanden. Über die Beton- und Stahlqualität sowie die Bewehrungsführung gibt eine umfangreiche Materialuntersuchung [9] Auskunft. Der Konstruktionsbeton entspricht einer Druckfestigkeitsklasse C16/20 nach DIN 1045-2/ DIN EN 206-1.

Die vorhandene Bewehrung besteht überwiegend aus quadratischen Rechteckquerschnitten und Flach-eisen (Bild 5). Die Prüfung entnommener Proben nach DIN 50125 ergab eine mittlere Streckgrenze von  $336 \text{ N/mm}^2$  sowie eine mittlere Zugfestigkeit von  $455 \text{ N/mm}^2$ . Die Betondeckung und die Lage der Bewehrung wurden durch Sondie-

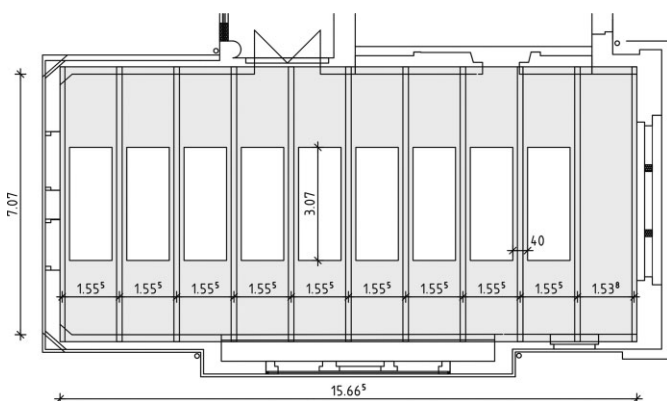


Bild 3. Draufsicht Tonnendach

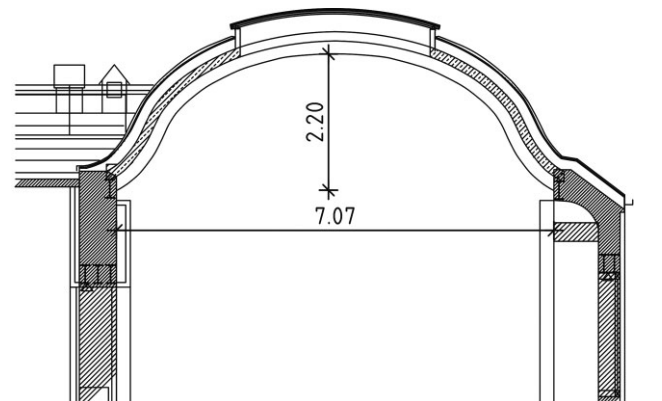


Bild 4. Schnitt Tonnendach



rung und zerstörungsfreie Prüfung mit einem Bewehrungssuchgerät ermittelt.

### 3.2 Textilbewehrter Beton

Für den Feinbeton wurde eine Standardrezeptur aus dem Sonderforschungsbereich 528 verwendet (Tabelle 1). Die mechanischen Eigenschaften des Feinbetons können der Tabelle 2 entnommen werden.

Als textile Bewehrung wurde die in Bild 6 gezeigte orthogonale Struktur durch das Institut für Textil- und Bekleidungstechnik der Technischen Universität Dresden hergestellt. Die Carbonrovings besitzen eine Feinheit von 800 tex (4.000 Filamente mit einem Durchmesser von 9 µm) und eine Querschnittsfläche von 0,45 mm<sup>2</sup>. Das Rastermaß beträgt in Kettrichtung 7,2 mm und 14,4 mm in Schussrichtung. Anhand von Dehnkörperversuchen nach Jesse [1] wurden als charakteristische Zugfestigkeit  $f_{tu} = 1.600 \text{ N/mm}^2$  und eine Bruchdehnung von  $e_u = 8\text{‰}$  angenommen. Der globale Sicherheitswert wurde mit 3,2 konservativ angesetzt.

## 4 Bemessung der Verstärkung

### 4.1 Einwirkungen und Schnittgrößen

Für das Tonnendach wurde durch das Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke der Technischen Universität Dresden ein geschichtetes FE-Modell aufgestellt [10]. Mit diesem Modell war es möglich, Schnittkräfte zu ermitteln sowie das nicht-lineare Verhalten des Tonnendachs im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu bewerten. Es erfolgte eine Untersuchung von 17 Einwirkungskombinationen an einem Bauzustand und dem Endzustand.

Der Bauzustand spiegelt die Situation direkt nach dem Verstärken wider. Hierfür wurden die Schnittkräfte aus dem Eigengewicht der Altbetonkonstruktion und dem Eigengewicht der Verstärkung ermittelt. Für den Endzustand erfolgte die Schnittkraftermittlung unter Beachtung aller nach DIN 1055 anzusetzenden Einwirkungen und Einwirkungskombinationen. Mit Hilfe der ermittelten Schnittkräfte wurden zehn maßgebende Stellen lokalisiert, für die ein Nachweis der notwendigen Tragfähigkeit erbracht werden muss, bzw.



Bild 5. Vorhandene Bewehrung

Tabelle 1. Betonrezeptur für den Feinbeton

Bestandteile	Masseteile [-]	Menge [kg/m <sup>3</sup> ]
Zement CEM III/B 32,5 NW/HS/NA	0,667	628,0
Steinkohlenflugasche	0,282	265,6
Elkem Mikrosilica (SF)	0,1067	100,5
Sand 0/1	1,000	942
Wasser	0,2278	214,6
Fließmittel Woerment FM 30 (FM)	0,0112	10,5

Tabelle 2. Mechanische Eigenschaften des Feinbetons

Eigenschaft	Einheit	Wert
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	2,17
E-Modul (Mittelwert)	N/mm <sup>2</sup>	28.500
Druckfestigkeit (Mittelwert)	N/mm <sup>2</sup>	76,3
Biegezugfestigkeit (Mittelwert)	N/mm <sup>2</sup>	7,11

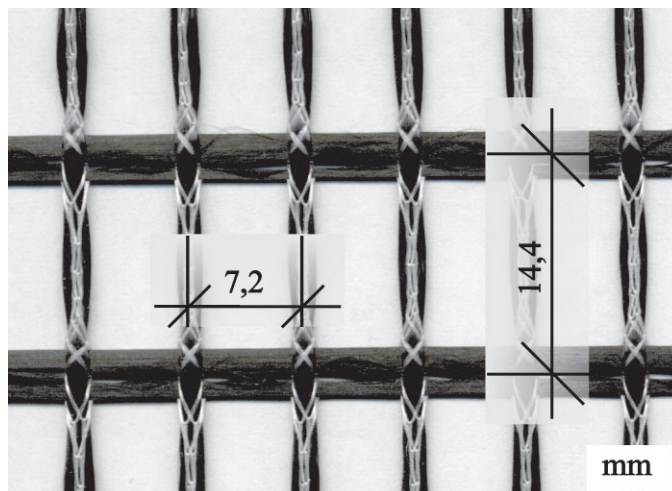


Bild 6. Textiles Bewehrungsgelege NWM3-006-08-b1 (15%)

die für die Bemessung der Verstärkung von Bedeutung waren.

## 4.2 Nachweis der Tragfähigkeit

Bei der Betrachtung des Bauzustands war davon auszugehen, dass sich die frisch aufgetragene Verstärkung noch nicht am Lastabtrag beteiligt. Somit musste nachgewiesen werden, dass die bestehende unverstärkte Altbetonkonstruktion sowohl ihr Eigengewicht als auch das Eigengewicht der Verstärkung tragen kann. Diese Nachweise wurden durch eine Bemessung nach DIN 1045-1 erbracht. Durch die lediglich geringfügige Erhöhung des Eigengewichts der Konstruktion in Folge der aufgetragenen sehr dünnen Verstärkungsschichten konnte auch die Tragfähigkeit der Auflagerbereiche nachgewiesen werden.

## 4.3 Ermittlung der erforderlichen textilen Bewehrung

Die Bemessung der Verstärkung erfolgte mit den zuvor ermittelten Schnittkräften unter Beachtung der Vorbelastung und Vorverformung der Altbetonkonstruktion für den Endzustand (Bild 7).

Die Bemessung ergab im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ständige und vorübergehende Einwirkungen) an der höchstbeanspruchten Stelle des Plattenbalkenquerschnitts eine erforderliche textile Bewehrung von  $\text{erf } A_t = 62 \text{ mm}^2$  an der Unterseite. Dies entspricht bei der Verwendung des genannten Carbontextils (Bild 6) einer Anzahl von fünf Lagen bei einer Breite von 20 cm. Im Bereich der Flächen des gekrümmten Schalen-

tragwerks wurde zur Sicherstellung der Tragfähigkeit sowohl an der Unter- als auch an der Oberseite eine zweilagige Bewehrungsschicht (vorh  $a_t = 93 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) vorgesehen.

Neben den statisch erforderlichen Bewehrungen waren des Weiteren Anforderungen an die bauliche Durchbildung der Bauteile zu beachten. Die erforderliche Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens ergibt sich auf der sicheren Seite liegend unter Annahme des Mittelwerts der Betonzugfestigkeit des Feinbetons zu  $\text{erf } a_t = 32 \text{ mm}^2/\text{m}$  ( $< \text{vorh } a_t = 92 \text{ mm}^2/\text{m}$ ). Die vorhandene Haftzugfestigkeit des Altbetonuntergrunds sowie die ausreichende Öffnungsweite des verwendeten Textils (Bild 6) gewährleisten die Aufnahme der Umlenkkräfte an den konkav gekrümmten Flächen der Dachkonstruktion.

Der Nachweis der Schubtragfähigkeit konnte bereits unter Ansatz der vorhandenen Stahlbewehrung erbracht werden. Die an den Seitenflächen der Balken und an deren Unterseite angeordneten U-förmigen textilen Bewehrungselemente dienen dem Anschluss der zusätzlichen Biegebewehrung an den Steg (Bild 8 c).

## 4.4 Untersuchung der Gesamttragfähigkeit

Unter Nutzung der ermittelten Bewehrungsquerschnitte erfolgte im Anschluss eine nichtlineare FE-Simulation der Gesamttragfähigkeit der verstärkten Tonnenschale zur Ableitung einer quantitativen (deterministischen) Aussage zur Gesamttragfähigkeit der verstärkten Tonnenschale gegenüber dem Ist-Zustand. Neben der

Rissbildung, dem Rissfortschritt und dem Last-Verformungsverhalten der Konstruktion konnten die Systemtragreserven gegenüber der Bemessung zu Grunde liegenden linear elastischen Schnittgrößenermittlung abgeschätzt werden. Der Vergleich der berechneten Traglasten ergibt, durch die zweilagige Verstärkung zwischen den Balken und die fünflagige Verstärkung an der Unterseite der Balken, eine 25% höhere Systemtragfähigkeit der verstärkten Tonnenschale gegenüber der unverstärkten Konstruktion.

## 5 Bauausführung

Die Ausführung der Textilbetonverstärkung wurde von der Torkret AG mit in der Verstärkung von Stahlbetontragwerken erfahrenem [11] und in der Verarbeitung von Textilbeton speziell geschultem Personal durchgeführt. Der Zuschlag konnte nach einer öffentlichen Ausschreibung mit etwa einem halben Dutzend Bewerbern erteilt werden. Die Überwachung der Baumaßnahme erfolgte durch das Deutsche Zentrum Textilbeton in Zusammenarbeit mit dem Institut für Massivbau der TU Dresden. Der Ablauf der Verstärkungsmaßnahme ist nachfolgend dargestellt.

Nach der Entfernung der vorhandenen Putzschichten wurde zur Gewährleistung einer ausreichenden Kraftübertragung in der Fuge zwischen Alt- und Feinbeton das Korngerüst des vorhandenen Altbetons mittels Trockenfeststoffstrahlen (Sandstrahlen) freigelegt. Vorhandene Fehlstellen im Altbeton wurden ausgebessert und reprofiliert. Die

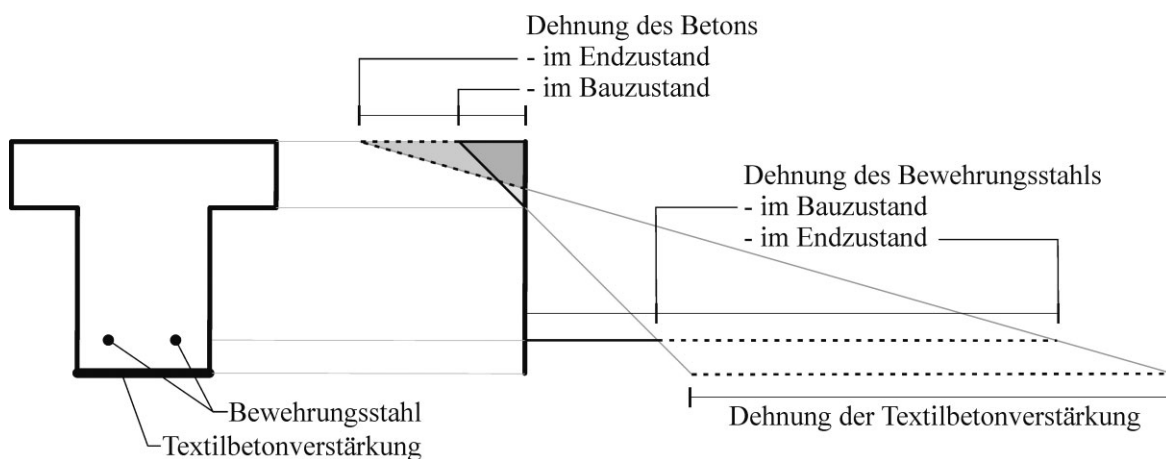


Bild 7. Prinzipskizze zur Dehnung





a) Feinbeton auftragen



b) Textil einlegen



c) Textil leicht eindrücken

*Bild 8. Aufbringen der Textilbetonverstärkung*

Tragfähigkeit der Verbundfuge konnte anschließend durch die Prüfung der Haftzugfestigkeit des Altbetonuntergrunds nach DIN EN 13813 an der Innen- und Außenseite der Schalenskonstruktion nachgewiesen werden.

Die DAfStb-Richtlinie [12] schreibt diesbezüglich einen Mindestwert von  $1,5 \text{ N/mm}^2$  vor.

Nach dem Vornässen des Untergrunds erfolgte, wie in Bild 8 a dargestellt, der Auftrag der ersten Feinbe-

tonschichten im Nasssprühverfahren. Der pumpfähige Feinbeton nach Tabelle 1 wurde hierzu vor Ort aus den Einzelkomponenten in einem Zwangsmischer hergestellt, auf die ca. 8 m höher gelegene Arbeitsebene mit einer Mörtelpumpe gefördert und lagenweise mit einer Schichtdicke von ca. 3 mm auf den Untergrund aufgesprüht. Es folgte das Einarbeiten der textilen Bewehrung in die frische Feinbetonmatrix durch leichtes Eindrücken und Einstreichen mittels Glättkelle (Bilder 8 b und 8 c). Dieser Ablauf wiederholte sich entsprechend der statisch erforderlichen Anzahl Bewehrungslagen. Den Abschluss der Textilbetonverstärkung bildete eine ca. 3 mm dünne Deckschicht. Zur Gewährleistung eines guten Verbunds zwischen den einzelnen Feinbetonlagen erfolgte die Applikation der einzelnen Verstärkungsschichten stets frisch in frisch.

Die ordnungsgemäße Anordnung der textilen Bewehrungslagen konnte durch Zuschnitt- und Bewehrungspläne sowie eine sorgfältige Bauausführung und -überwachung sichergestellt werden.

Aufgrund der Schwindneigung des Feinbetons erfolgte eine intensive Nachbehandlung. Unmittelbar nach der Herstellung der Feinbetonschicht geschah dies durch das Abdecken mit feuchtem Vlies und Folien. Bis zum Alter von sieben Tagen wurde die Betonoberfläche durch täglich mehrmaliges Besprühen bzw. Nässen mit Wasser feucht gehalten.

## 6 Zusammenfassung

Wie an der Sanierung der historischen Schalenkonstruktion des neuen Finanzamts in Zwickau ersichtlich ist, kann mit Hilfe des einfach zu verarbeitenden und flexibel einsetzbaren Verstärkungssystems aus Textilbeton eine maßgebliche und wirtschaftliche Erhöhung der Traglasten bestehender Baukonstruktionen erreicht werden. Es erlaubt eine Anpassung an komplexe Geometrien, die Steigerung der Tragfähigkeit entsprechend der geltenden Anforderungen und zudem eine nachhaltigere Nutzung der vorhandenen Bausubstanz. Dabei ist der Einsatz von Textilbeton sowohl als Verstärkungsschicht wie auch für Neubauteile möglich. So wurden bereits zwei textilbetonbewehrte Brü-

cken mit Spannweiten von bis zu 16,70 m fertig gestellt [13]. Mit weniger als einem Drittel des Eigengewichts vergleichbarer Bauwerke aus Stahlbeton sind es Leichtgewichte.

### Dank

Die Autoren danken den Projektbeteiligten für die gute Zusammenarbeit. Im Einzelnen sind das der Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement Zwickau (Bauherr), das Bau-Ingenieurbüro Strobel aus Zwickau (Planer), die Torkret AG aus Berlin (Ausführung) und das Deutsche Zentrum Textilbeton (Projektleitung). Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Sonderforschungsbereiches 528 und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), die mit ihren Forschungen bzw. ihrer Förderung die Grundlagen für dieses Vorhaben geschaffen haben. Besonders möchten die Autoren die freundliche Unterstützung durch das Institut für Textil- und Bekleidungstechnik, das Institut für Statik und Dynamik der Tragwerke, das Institut für Mechanik und Flächentragwerke und das Institut für Baustoffe erwähnen.

### Literatur

- [1] Jesse, F. und Curbach, M.: Eigenschaften und Anwendung von Textilbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 104 (2009) 1, S. 9–16.
- [2] Curbach, M., Michler, H., Weiland, S. und Jesse, D.: Textilbewehrter Beton – Innovativ! Leicht! Formbar! In: *Beton-Werk International* 11 (2008) 5, S. 62–72.
- [3] Jesse, F., Weiland, S. and Curbach, M.: Flexural Strengthening of RC Structures with Textile-Reinforced Concrete. In: Dubey, A. (edt.): *Textile-Reinforced Concrete*. Proceedings of ACI Fall Convention. Kansas City, November 2005. SP-250CD-4, 2008 – CD-Rom.
- [4] Schladitz, F., Brückner, A., Ortlepp, R. and Curbach, M.: Shear force strengthening of large, reinforced concrete components using Textile Reinforced Concrete (TRC). In: *Concrete Society* (Hrsg.); *GRCA* (Hrsg): Proceedings of the 15th Congress of the International Glassfibre Reinforced Concrete Association, Prag, 20.–23. 04. 2008. GRCA, c/o The Concrete Society, Riverside House, Surry GU17 9AB, UK – Book of Abstracts, p. 33 and CD-ROM – ISBN 978-1-904482-43-7.
- [5] Al-Jamous, A., Ortlepp, R., Ortlepp, S. and Curbach, M.: Experimental investigations about construction members strengthened with textile reinforcement. In: *Brameshuber, W., Hegger, J., Will, N.* (Hrsg.): 1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC), Aachen. Institute of Structural Concrete, RWTH Aachen University, 2006. pp. 161–170.
- [6] Schladitz, F. and Curbach, M.: Textile Reinforced Concrete (TRC) as Torsion Strengthening. In: 17th Congress of the International Association for Bridge and Structural Engineering Congress (IABSE), Chicago, 17.–19. 09. 2008. – Book of Abstracts, pp. 452–453 and CD-ROM – ISBN 978-3-85748-118-5.
- [7] Hankers, Chr.: Spritzbeton für die Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbeton. *Beton- und Stahlbetonbau* 100 (2005) S1, S. 49–56.
- [8] Bergmeister, K.: Verstärkung mit Kohlenstofffasern. Teil 1: Verstärkung von Biegeträgern. *Beton- und Stahlbetonbau* 100 (2005) S1, S. 62–68.
- [9] Becker, M., Orgass, M. und Dehn, F.: Untersuchungsbericht – Entnahme und Untersuchung von Materialproben – Bauvorhaben „Finanzamt Zwickau, Lessingstraße 15“, MFPA Leipzig GmbH, 2007.
- [10] Möller, B., Graf, W., Hoffmann, A. and Steinigen, F.: Numerical simulation of structures with textile reinforcement. *Computers Structures*, 83 (2005) 19–20, pp 1659–1688.
- [11] Curbach, M., Hauptenbuchner, B., Ortlepp, R. und Weiland, S.: Textilbewehrter Beton zur Verstärkung eines Hyparschalentragwerks in Schweinfurt. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 102 (2007) 6, S. 353–361 – doi:10.1002/best.200700551.
- [12] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil I bis IV. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Berlin: Beuth 1991/1992.
- [13] Curbach, M., Graf, W., Jesse, D., Sickert, J.-U. und Weiland, S.: Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton – Konstruktion, Fertigung, numerische Berechnung. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 102 (2007) 6, S. 342–352 – doi:10.1002/best.200700550.



M.Sc. Frank Schladitz  
frank.schladitz@tu-dresden.de



M.Sc. Enrico Lorenz  
enrico.lorenz@tu-dresden.de



Dr.-Ing. Frank Jesse  
frank.jesse@tu-dresden.de



Prof. Dr.-Ing. Manfred Curbach  
manfred.curbach@tu-dresden.de

Institut für Massivbau  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden