

Bauingenieur

Die richtungweisende Zeitschrift im Bauingenieurwesen



www.bauingenieur.de

R. Barhum, J. Büllsbach, A. Müller

 Springer
VDI Verlag

**Textilbeton zur Instandsetzung von
Balkonbrüstungsplatten aus Stahlbeton**

Organ des VDI für Bautechnik

Textilbeton zur Instandsetzung von Balkonbrüstungsplatten aus Stahlbeton

R. Barhum, J. Bülllesbach, A. Müller

241

Zusammenfassung Zur Instandsetzung der Fassade des circa 40 Jahre alten Arabella Hochhauses in München wurde textilbewehrter Beton (engl. Textile Reinforced Concrete – TRC) eingesetzt. Eine dünne Einlage von nicht korrosionsanfälliger Carbonbewehrung eingebettet in feinkörnige Betonmatrix wurde zur Instandsetzung der Fassadenelemente eingesetzt. Der innovative Werkstoff eignet sich aufgrund der geometrischen Anpassungsfähigkeit, hervorragenden Eigenschaften hinsichtlich der Dauerhaftigkeit, und der leichten Applikation auf die instandzusetzenden Brüstungslatten. Die Schadstellen wurden mit einer „Textilbeton-Bandage“ umwickelt um die Verkehrssicherheit im Gebäudeumkreis zu gewährleisten. Die Gesamtdicke der Schicht beträgt circa 6mm.

Textile Reinforced Concrete for Repair of a Balcony Panels made of Reinforced Concrete

Abstract Textile Reinforced Concrete (TRC) was used to retrofit of the facade of the 40 year old Arabella Building in Munich. Due to its geometrical flexibility, extraordinary properties regarding durability and its “easy-to-apply” feature, a thin layer of non-corrodible reinforcement made of Carbon embedded in fine-grained concrete matrix was chosen for the application. The damaged areas were wrapped by a “TRC-bandage” to ensure the user safety in the surrounding area of the building. The total thickness of the applied-layer is about 6mm.

1 Einleitung

Textilbewehrter Beton (engl. Textile Reinforced Concrete – TRC) ist ein innovativer Verbundwerkstoff, bestehend aus leistungsfähiger Faserbewehrung (Multifilamentgarnen), die in eine feinkörnige zementgebundene Betonmatrix eingebettet ist. Die Eigenschaften des Textilbetons sind bereits umfangreich veröffentlicht, beispielsweise in [1], [2], [5]. Seine hervorragenden Eigenschaften ermöglichen dessen Anwendung sowohl beim Neubau von leistungsfähigen, dünnwandigen Strukturen als auch bei der Verstärkung und Instandsetzung von vorhandenen Bauteilen aus Stahlbeton oder anderen mineralischen Materialien. Einen Überblick über die zahlreichen Projekte zur Instandsetzung

und Verstärkung sowie zum Neubau von Brücken und Bauteilen gibt unter anderem [4]. Für die Instandsetzung und Verstärkung von Schalentragwerken, Geschossdecken und Silos wurde Textilbeton bereits genutzt [5], [6].

Nicht korrosionsanfällige Carbontextilien als Oberflächenbewehrung wurden unter den vorliegenden Randbedingungen erstmalig im Jahr 2014 bei der Instandsetzung der Schadstellen an den Balkonbrüstungsplatten des Arabella Hochhauses in München eingesetzt. Ziel war, die Sicherung der Schadstellen aufgrund der schwierigen Zugänglichkeit ohne Abtrag des karbonatisierten Betons und ohne Entrostung der Bewehrung. Für die Instandsetzungs- und Sicherungsmaßnahme der komplex strukturierten Fassadenelemente aus Stahlbeton wurde eine dünne, hochleistungsfähige Schicht (Schichtdicke bis 6mm) aus Textilbeton mit Carbonbewehrung als „Textilbeton-Bandage“ aufgebracht. Im Folgenden wird auf die Schadstellen, das Instandsetzungskonzept, die Planung und die Ausführung näher eingegangen.

2 Zustimmung im Einzelfall (ZiE)

Da die vorgeschlagene Instandsetzung mit Textilbeton im Außenbereich derzeit noch nicht bauaufsichtlich geregelt ist, ist für diese Maßnahme eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich.

Aufgrund langjähriger Mitarbeit am Institut für Baustoffe der Technischen Universität Dresden im Bereich der Forschung (siehe [7]) und der Planung von Verstärkungsmaßnahmen mit Textilbeton [5], [6] konnte der Planer auf seine daraus resultierenden Erfahrungen zurückgreifen.

Zusätzlich wurde die zurzeit gültige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) [8] als Grundlage verwendet.

3 Das Bauwerk

3.1 Objektbeschreibung und Konstruktion

Bei dem Gebäude handelt es sich um ein circa 40 Jahre altes prägendes Hochhaus mit 23 Obergeschossen und drei Kellergeschossen. Das Haus wird als Hotel, Klinik und Wohnungen genutzt und beherbergt im Erdgeschoss Einzelhandelsflächen (**Bild 1**, links). Das Tragwerk des Hochhauses besteht aus Stützen, Schottwände und Deckenscheiben, die aus Stahlbeton hergestellt wurden. Für die Balkone wurden Stahlbetonkonsolen angebracht, die aus den Schottwänden auskragen. Auf diesen liegen Balkonplatten aus Stahlbeton auf. Die Balkonplatten wurden als Zweifeld- und Einfeldsysteme ausgeführt. Die Spannweiten der Balkonplatten, die entlang der Fassade spannen, wechseln sich im Achsmaßrhythmus 4,0m und 7,0m ab. Die Brüstungsplatten der Balkone bestehen aus Stahlbetonfertigteilen, die biegesteif durch einen nachträglichen Verguss an den Balkonplatten angeschlossen sind. Diese lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden: graue Brüstungsplatten (mit Kane-

Dr.-Ing. Rabea Barhum

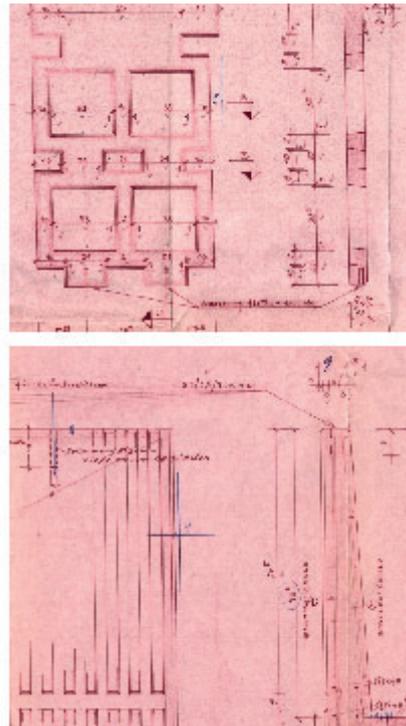
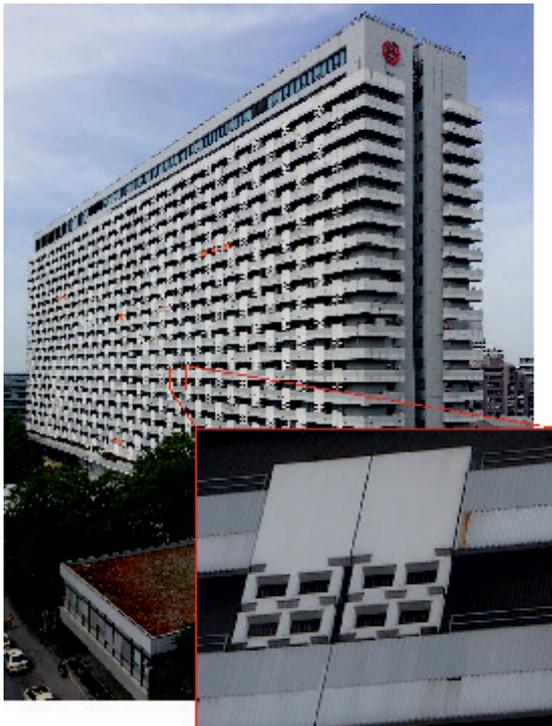
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Erika-Mann-Straße 63, 80636 München
barhum@zm-i.de

Dr.-Ing. Jürgen Bülllesbach

Bayerische Hausbau GmbH & Co. KG
Denninger Straße 165, 81925 München

Dr.-Ing. André Müller

Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Erika-Mann-Straße 63, 80636 München
mueller@zm-i.de



4 Instandsetzungs- und Sicherungsmaßnahme

4.1 Auswahl des Verfahrens

Ziel der Instandsetzung war es, die Verkehrssicherheit der Balkone und im Gebäudeumkreis zu gewährleisten. Die hohen Kosten für Gerüstbau, die komplexe Geometrie der Fassade und die Anforderung, dass die Arbeit möglichst „leise und sauber“ unter Fortführung der bestehenden Nutzung durchgeführt werden sollte, schränkten das klassische Verfahren der Betoninstandsetzung (Abtrag karbonatisierten Betons, Entrosten der Bewehrung) ein. Um die Veränderungen der Fassadengeometrie dabei auf ein Minimum zu reduzieren, sollte die „Sicherungsschicht“ möglichst dünn ausfallen.

Die Fassadensicherung durch Auftrag einer dünnen, hochleistungsfähigen Schicht aus Textilbeton stellt sich als die am besten geeignete bautechnische Lösung heraus.

Entscheidende technische Vorteile sind die sehr feine Rissverteilung und geringe Rissweiten hinsichtlich der Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit des Werkstoffes, da dadurch die schädigenden Transportprozesse von Flüssigkeiten und Gasen in das Bauteilinnere des Bestandes erheblich vermindert werden [11], [12], [13]. Darüber hinaus werden die feinen Risse in Verbindung mit bestimmten Matrixzusammensetzungen durch Neubildung von Calcit verschlossen (Selbstheilungseffekt), sodass der Wasserzutritt erheblich erschwert wird [14]. Ein weiterer Vorteil ist der geringe notwendige Materialbedarf, sodass die Außenarbeiten an der Fassade durch Einsatz von Industriekletterer möglich waren.

4.2 Instandsetzungskonzept

Bei diesem Instandsetzungsvorhaben wurde die ursprüngliche Geometrie eines geschädigten Bauteils, ohne Abtrag des karbonatisierten Betons und Entrostung der korrodierten Bewehrung, wiederhergestellt. Da zum Verbundverhal-

luren) und weiße Brüstungsplatten (glatt und mit Verblendelement) (Bild 1, rechts).

3.2 Schadensbild

Die Balkone des Arabella-Hochhauses weisen an mehreren Stellen Schäden, Wasserablaufspuren und Aussinterungen auf. Zwischen November 2013 und Juni 2014 wurden die gesamten Brüstungsplatten des Arabella Hochhauses untersucht und alle festgestellten Schäden durch Bildaufnahmen dokumentiert.

An den Brüstungsplatten wurden Risse, Abplatzungen aufgrund von Bewehrungskorrosion und Frostschäden festgestellt, die die Dauerhaftigkeit beeinträchtigen (Bild 2).

Da sich Teile lösen könnten, war die Verkehrssicherheit im Gebäudeumkreis beeinträchtigt und die Nutzung der Balkone eingeschränkt. Diese Bereiche mussten kurzfristig instand gesetzt werden.



Bild 2. Beispielhaftes Schadensbild; Risse und Abplatzungen
 Fig. 2. Examples of damage patterns; cracks and spalling

ten zwischen Altbeton und Reparaturmörtel keine Langzeiterfahrung unter den gegebenen Randbedingungen vorliegen, wurden die instandgesetzten Bereiche mit einer Textilbeton-Bandage umwickelt. Die Textilbeton-Bandage sorgt dafür, dass, falls der Reparaturmörtel und der Untergrund sich trennen, sich keine Betonteile von der Fassade lösen können.

Die größeren festgestellten Schadstellen, bei denen ein zügiger Schadensfortschritt nicht auszuschließen ist, wurden in 5 Kategorien unterteilt:

- 1) obere Ecke Brüstungsplatte
- 2) seitlich Brüstungsplatte
- 3) Anschluss Brüstungsplatte-Verblendelement
- 4) Verblendelement
- 5) flächig Brüstungsplatte

In **Bildern 3 bis 7** sind Schadensbeispiele zu sehen.



Bild 3. exemplarisches Schadensbild Kategorie 1; obere Ecke Brüstungsplatte
Fig. 3. Exemplary damage category 1; upper corner of balcony panel



Bild 4. exemplarisches Schadensbild Kategorie 2; seitlich Brüstungsplatte
Fig. 4. Exemplary damage category 2; side of balcony panel



Bild 5. exemplarisches Schadensbild Kategorie 3; Anschluss Brüstungsplatte-Verblendelement
Fig. 5. Exemplary damage category 3; connection panel-grid element



Bild 6. exemplarisches Schadensbild Kategorie 4; Verblendelement
Fig. 6. Exemplary damage category 4; grid element



Bild 7. exemplarisches Schadensbild Kategorie 5; flächig Brüstungsplatte
Fig. 7. Exemplary damage category 5; façade balcony panel

4.3 Baustoffe

4.3.1 Feinbeton

Als mineralische Matrix wurde der als Sackware vorkonfektionierte Feinbeton TUDALIT-TF-10-PAGEL verwendet [15]. Die Kenndaten des Feinbetons sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1. Kenndaten des Feinbetons TUDALIT-TF-10-PAGEL [8] und [15]
Table 1. Characteristics of fine concrete TUDALIT-TF-10-PAGEL [8] und [15]

Druckfestigkeit (charakteristischer Wert)	≥ 80 N/mm ²
Biegezugfestigkeit (charakteristischer Wert)	≥ 6 N/mm ²
Elastizitätsmodul	≥ 25.000 N/mm ²

4.3.2 Textilbewehrung

Zur Sicherung der Schadstellen wurden unterschiedliche Gelege verwendet. Für die Bereiche der Schadenskategorien 1) bis 4) wurde die biaxiale Textilbewehrung mit Carbonfasern (Kett- und Schussrichtung 0°/ Schussrichtung 90°), jeweils 800 tex (Gewicht des Filamentgarnes in [g/km]) Fadenfeinheit und ca. 7 mm Fadenabstände in Kett- und Schussrichtung, eingesetzt (Bild 8, links). Das Carbongelege ist von der Firma TUDATEX GmbH [15] unter der Bezeichnung NWM5-001-14 hergestellt. Für die Bereiche der Schadenskategorie 5) wurde die Textilbewehrung TUDALIT-BZT2-V.FRAAS, von der Firma V.Fraas GmbH [17], eingesetzt (Bild 8, rechts). Die wichtigsten Kenndaten der Textilbewehrung sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Alle Kenndaten der Textilbewehrung TUDALIT-BZT2-V.FRAAS sind in der zurzeit gültigen allgemeinen

bauaufsichtlichen Zulassung beim DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) [8] zu finden.

4.3.3 Reparaturmörtel

Für die Querschnittsergänzung wurde der PAGEL-Schnellreparaturmörtel R20/20 und R20/80 verwendet. Der Mörteltyp war von der Tiefe der Schadstelle abhängig.

5 Bauausführung

Die Herstellung des Textilbetons für Instandsetzungs- bzw. Verstärkungsmaßnahmen sollte durch ein geeignetes und in der Bauwerkinstandsetzung und -verstärkung erfahrenes Unternehmen erfolgen. Dieses Unternehmen sollte Referenzen und die Eignung im Bereich der Verstärkung mit textilbewehrtem Beton und anderen Verstärkungsverfahren nachweisen können.

Aufbauend auf einer Musterfläche wurde die Instandsetzungsarbeit entwickelt:

5.1 Untergrundvorbereitung

Die Textilbetonarbeiten begannen mit der Vorbereitung des Untergrundes. Hierbei wurden lose Bestandteile und der Farbanstrich an der Betonoberfläche entfernt und die Oberfläche entsprechend mit einer Nadelpistole aufgeraut. Für einen guten Verbund des Textilbetons sowie des Reparaturmörtels mit dem Untergrundbeton musste dieser mattfeucht vorgegänst werden.

5.2 Wiederherstellung der Geometrie

An Stellen mit erforderlicher Querschnittsergänzung wurde diese mit Schnellreparaturmörtel durchgeführt. Diese wur-

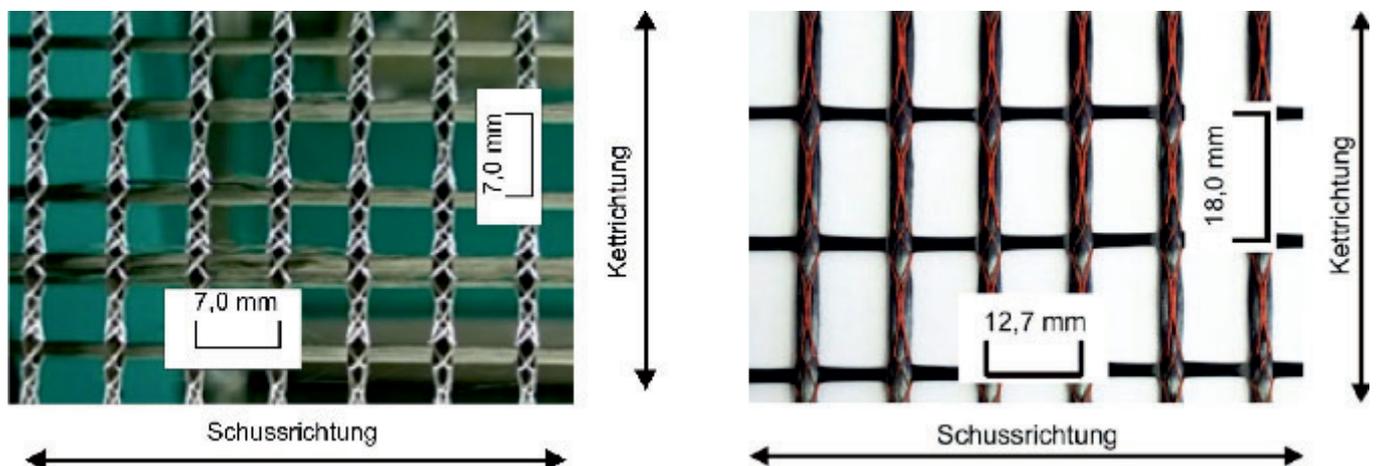


Bild 8. Textilbewehrung mit Carbonfasern NWM5-001-14 (Links), TUDALIT-BZT2-V.FRAAS (Rechts) [8]
Fig. 8. Textil reinforcement made of Carbon fibres NWM5-001-14 (left), TUDALIT-BZT2-V.FRAAS (right) [8]

Tabelle 2. Kenndaten der Textilbewehrung
Table 2. Characteristics of textile reinforcement

Eigenschaften	NWM5-001-14	TUDALIT-BZT2-V.FRAAS
Fläche der Bewehrung in Kett-richtung auf 1 m Breite	62 mm ² /m	125 mm ² /m
Bruchdehnung, Garn beschichtet (charakteristischer Wert)	2,02 %	1,24 %
Elastizitätsmodul, Garn beschichtet (charakteristischer Wert)	142.000 N/mm ²	166.000 N/mm ²
Zugfestigkeit des Textilbetons in Kett-richtung [8] (charakteristischer Wert)	1.550 N/mm ²	1.550 N/mm ²

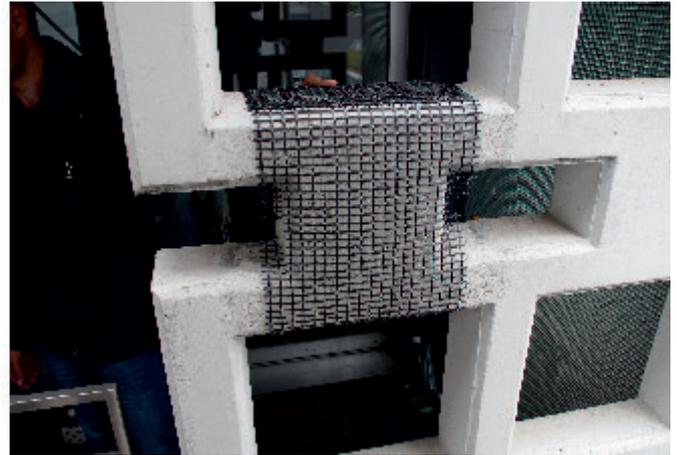


Bild 9. Anpassung der Textilbewehrung an die Geometrie der Schadstellen
 Fig. 9. Adjustment of the textile reinforcement to the geometry of the damages area

den von dem Planer vor Ort festgelegt. Die Kanten der Reparaturmörtel wurden rund und gebrochen ausgeführt. Ein Zeitintervall von zwei Stunden wurde zwischen der Fertigstellung der Querschnittergänzung und dem Anbringen des textilbewehrten Betons eingehalten.

5.3 Vorbereitung Textilbewehrung

Die Textilbewehrung wurde im Voraus auf die benötigten Abmessungen mit einer Schere zugeschnitten. Diese waren stellenabhängig und wurden in Abstimmung mit dem Planer mit den erforderlichen Übergreifungslängen (10 cm bis 20 cm in Schadenskategorie 4) festgelegt (Bild 9).

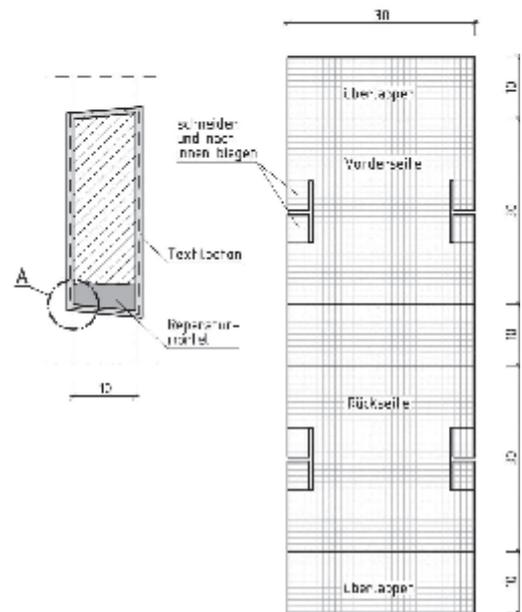
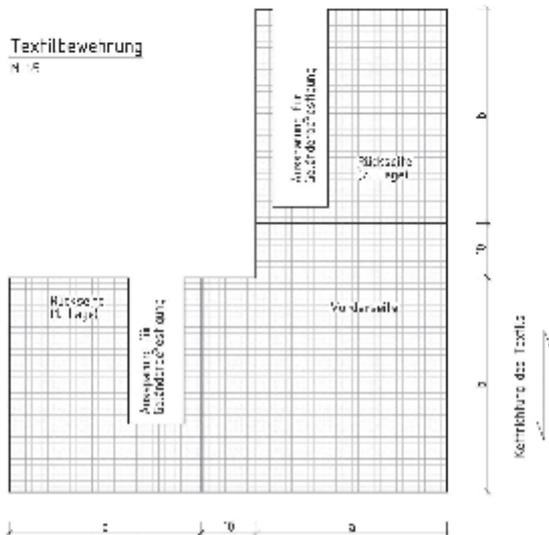
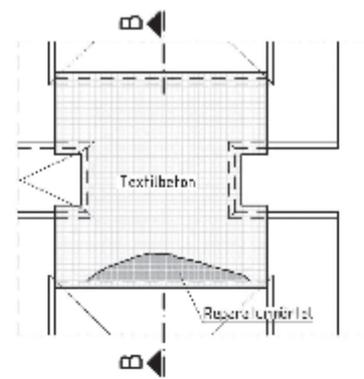
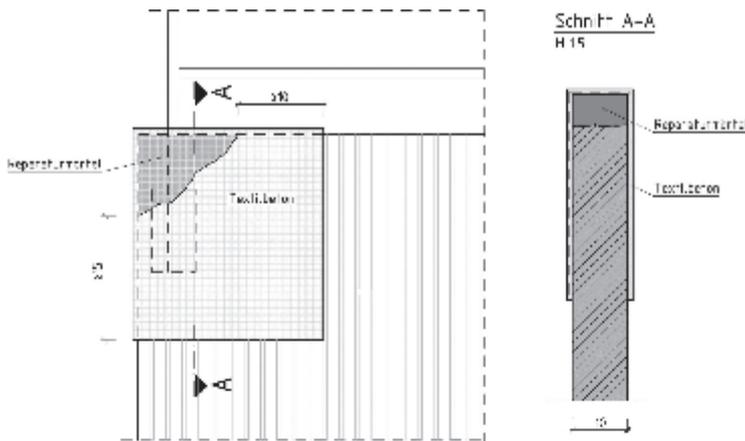


Bild 10. Prinzip-Regel-Konstruktionszeichnung für die Schadenskategorie 1 (Planung: ZM-I)

Fig. 10. Arrangement of the textile reinforcement – Rule construction drawing for the damage category 1 (planning: ZM-I)

Bild 11. Prinzip-Regel-Konstruktionszeichnung für die Schadenskategorie 4 (Planung: ZM-I)

Fig. 11. Arrangement of the textile reinforcement – Rule construction drawing for the damage category 4 (planning: ZM-I)



Bild 12. Nachbehandlung der Schadstellen (Foto: ZM-I und Torkret)
Fig. 12. curing of the damaged areas (Picture: ZM-I and Torkret)



Bild 13. Schadstellen nach der Sanierung (Foto: ZM-I und Torkret)
Fig. 13. Damaged areas after repair (Picture: ZM-I and Torkret)

5.4 Aufbringen von textilbewehrtem Beton

Auf den vorbereiteten Untergrund bzw. Reparaturmörtel wurden im Wechsel Feinbeton und Textilbewehrung so aufgebracht, dass jede einzelne Lage Textilbewehrung vollflächig mit Feinbeton überdeckt wurde. Die erforderliche Bewehrungsmenge wurde anhand einer statischen Berechnung festgelegt und betrug eine Lage textiler Bewehrung. Das Bemessungskonzept berücksichtigt, dass sich die aus den Brüstungsplatten lösenden Betonteile vom Textilbeton eingefangen werden können. Die betrachteten Berechnungsmodelle sind:

- Abplatzung der Ecke der Brüstungsplatte,
- Windsogbeanspruchung,
- Abplatzung eines Teils des Verblendelementes.

Die Gesamtdicke der aufgetragenen Textilbetonschicht betrug planmäßig circa 6 mm.

In den **Bildern 10** und **11** sind die „Prinzip-Konstruktionszeichnungen“ für die Schadenkategorie 1 und Schadenkategorie 4 als Beispiel dargestellt.

5.5 Nachbehandlung

Um eine gute Qualität des textilbewehrten Betons zu sichern und eine Schwindrissbildung zu minimieren erfolgte anschließend eine circa einwöchige Nachbehandlung (**Bild 12**)

6 Allgemein zur Qualitätssicherung

Die Qualifikation der Mitarbeiter, die Lieferung und Lagerung von Feinbeton und textiler Bewehrung, das Zuschnei-

den des Textils sowie die Arbeitsabläufe der Sanierungsmaßnahmen wurden überwacht und geprüft. Vor allem wurden die Untergrundvorbehandlung (Aufrauen und Vornässen), die korrekte Reihenfolge der Aufbringung der Textilbetonschicht, die Einhaltung von Schichtdicken sowie die erforderliche Nachbehandlung beachtet. Abschließend wurde die Qualität der Oberfläche überprüft.

7 Zusammenfassung und wiederkehrende Prüfungen

Im hier vorgestellten Projekt konnte die Sicherung einer komplex strukturierten Fassade aus Stahlbeton durch Einsatz des neuartigen Hochleistungsverbundwerkstoffes Textilbeton mit Carbonbewehrung gezeigt werden. Die Instandsetzungsmaßnahme wurde durch Auftrag einer dünnen Schicht aus Textilbeton (Schichtdicke 6 mm) durchgeführt. Die Verkehrssicherheit im Gebäudeumkreis könnte durch „Textilbeton-Bandage“ wirtschaftlich erfolgreich gewährleistet werden. Die sehr feine Rissverteilung und geringe Rissweiten im Gebrauchszustand führen zu einer merklichen Verminderung der Transportraten von Sauerstoff und Wasser, welches hinsichtlich der Dauerhaftigkeit im Vorteil sein könnte. Da Textilbeton sich als eine hervorragende Alternative darstellt, wurde auf eine klassische Betoninstandsetzung – das heißt kein Abtrag karbonatisierten Betons, kein Entrosten der Bewehrung – verzichtet. Im Zuge turnusmäßiger Fassadenuntersuchung durch Industriekletterer sind die mit textilbewehrtem Beton instandgesetzten Schadstellen handnah zu prüfen. Auftretende Ris-

se, Hohlstellen und Verfärbungen sind aufzunehmen und zu begutachten.

Bild 13 zeigt einige Beispiele der Schadstellen nach der Sanierung.

Beteiligte der Instandsetzungs- und Sicherungsmaßnahme

Bauherr	Bayerische Hausbau Immobilien GmbH & Co. KG
Planung und Bauüberwachung	Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Textilbetonarbeiten inkl. Untergrundvorbereitung:	Torkret GmbH
Gutachter und Fremdüberwachung	CarbCon GmbH Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Danksagung

Die Autoren möchten an dieser Stelle die Gelegenheit nutzen, sich bei allen Projektbeteiligten zu bedanken. An erster Stelle stehen dabei Bayerische Hausbau Immobilien GmbH & Co. KG für das Interesse an diesem innovativen Projekt, wodurch eine weitere erfolgreiche Anwendung von Textilbeton bei der Sanierung von Stahlbetonbauwerke und die erstmalige Anwendung in einem derartigen Szenario ermöglicht wurde.

Unser Dank gilt den Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach und die Fachkollegen der CaboCon für das Gutachten, die Unterstützung und die fachlichen Diskussionen. Wir bedanken uns bei den Fachleuten der Torkret GmbH für ihren Einsatz und die Zusammenarbeit während der Projektlaufzeit.

Besonderer Dank gilt der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern für Bau und Verkehr für die kompetente Betreuung und die Erteilung der Zustimmung im Einzelfall.

Literatur

- [1] Hegger, J.; Will, N.; Curbach, M. et al.: Tragverhalten von Textilbewehrtem Beton. In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), Heft 6, S. 452–455.
- [2] Curbach, M.; Jesse, F.: Eigenschaften und Anwendung von Textilbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 1, S. 9–16.
- [3] Brameshuber, W.: Textile Reinforced Concrete: State of the Art Report (36) of RILEM Technical Committee 201. Textile Reinforced Concrete, RILEM Publications, SARL, 2006.
- [4] Ehlig, D., Schladitz, F., Frenzel, M. et al.: Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick. In: Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 11, S. 777–785.
- [5] Curbach, M.; Hauptenbuchner, B.; Ortlepp, R. et al.: Textilbewehrter beton zur Verstärkung eines Hyparschalentragwerks in Schweinfurt. In: Beton- und Stahlbeton 102 (2007), Heft 6, S. 353–361.
- [6] Weiland, S.; Schladitz, F.; Schütze, E. et al.: Rissinstandsetzung eines Zuckersilos. In: Bautechnik 90 (2013), Heft 8, S. 498–504.
- [7] Barhum, R.: Mechanisms of the interaction between continuous and short fibres in textile-reinforced concrete (TRC) [Dissertation]. Dresden, Technische Universität Dresden, Institut für Baustoffe, 2014.
- [8] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-31.10–182: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton), Deutsches Institut für Bautechnik, 06.06.2014
- [9] Bestandsunterlagen, Plan Nr. 101b, Hochhaus Arabellastr. STB – Fertigteil Pos. 6, Schalungs- Bewehrungsplan, 10.10.1967
- [10] Bestandsunterlagen, Plan Nr. 153b, Hochhaus Arabellastr. STB – Fertigteil Pos. 3, Schalungs- Bewehrungsplan, 14.07.1967
- [11] Mechtcherine, V.: Towards a durability framework for structural elements and structures made of or strengthened with high-performance fibre-reinforced composites. In: Construction and Building Materials Vol. 31 (2012), Iss. 6, pp. 94–104.
- [12] Mechtcherine, V.; Lieboldt, M.: Permeation of water and gases through cracked textile reinforced concrete. In: Cement and Concrete Composites Vol. 33 (2011), Iss. 7, pp. 725–734.
- [13] Lieboldt, M.; Schröfl, C.; Mechtcherine, V.: Wassertransport durch textilbewehrten Beton als Instandsetzungsschicht auf gerissenem Altbeton – Untersuchungen mittels Neutronenradiographie In: 18. Ibausil, Tagungsband 2, Bauhaus-Universität Weimar, 2012, S. 920–927.
- [14] Lieboldt, M.: Transport von Flüssigkeit und Gasen in Textilbeton [Dissertation]. Dresden, Technische Universität Dresden, Institut für Baustoffe, 2012.
- [15] PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG: <http://www.pagel.com/>, 2015-04-20.
- [16] TUDATEX GmbH: <http://www.tudatex.de/>, 2015-04-20.
- [17] V. Fraas Solutions in Textile GmbH: <http://www.solutions-in-textile.com/>, 2015-04-20.



INSTANDSETZUNG UND MODERNISIERUNG U-Bahnhof Hauptbahnhof München



ZM-I LEISTUNGEN:

BAUWERKSPRÜFUNG
OBJEKTPLANUNG INSTANDSETZUNG
TRAGWERKSPLANUNG
BAUÜBERWACHUNG