



Moderne Betonbewehrung

Betonfertigteile mit textiler AR-Glasfaserbewehrung

Von Dipl.-Ing.
Thomas Friedrich

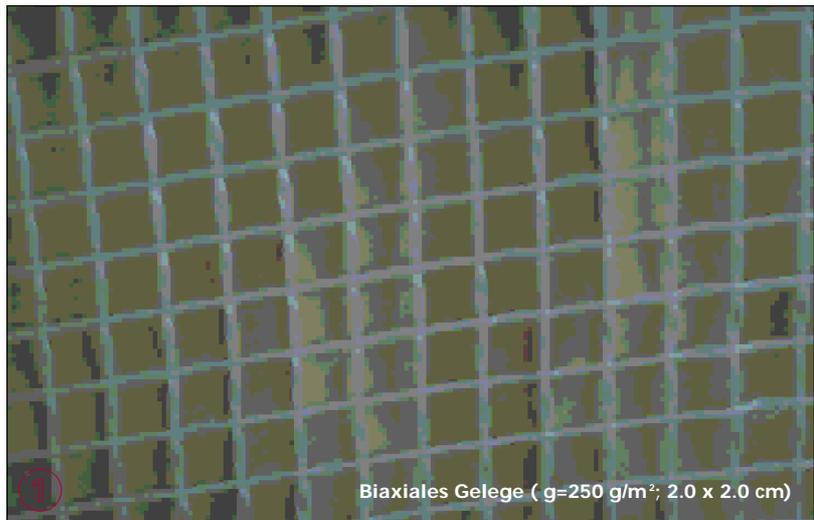
Das Bauen mit Betonfertigteilen war und ist eine bevorzugte Arbeitsweise, um aufwändige manuelle Leistungen auf der Baustelle einzusparen und somit wirtschaftlich zu bauen. Während sich die Fertigteilbauweise zunächst auf den so genannten konstruktiven Ingenieurbau mit Stützen, Trägern und Bindern beschränkt,

hat sie inzwischen längst im gesamten Bauen Einzug gehalten, insbesondere im Wohnungsbau. Im Gegensatz zu den hoch bewehrten, oftmals vorgespannten Fertigteilen für den konstruktiven Ingenieurbau, erfordern Fertigteile für den Wohnungsbau jedoch nur eine geringe Bewehrung.

Betonfertigteile werden entweder als endgültiges Bauteil oder als Halbfabrikat angeliefert. Der Aufwand vor Ort beschränkt sich dann entweder auf den Verguss der Fugen zwischen den einzelnen Bauelementen oder auf die Ergänzung mit einer Ortbetonschicht. Eine große Palette von verschiedenen Fertigteilen, wie z.B. Elementdecken, Doppelwände, Treppenläufe etc. stehen für optimiertes Bauen zur Verfügung.

Bewehrung von Betonfertigteilen

Bei der Masse der Fertigteile handelt es sich um gering beanspruchte, flächenartige Bauteile wie Platten und Wände. Neben der tragenden Bewehrung ist oftmals eine zusätzliche, jedoch geringe Bewehrung für den Montagezustand oder aus konstruktiven Gründen erforderlich, mit nicht unerheblichem Aufwand für die Bewehrung und deren Einbau im teilautomatischen Fertigungsbetrieb. Die Anstrengungen vieler Fertigteilwerke konzentrieren sich somit auf die automatische Ablängung der Eisen und deren automatische Verlegung. Dabei sind



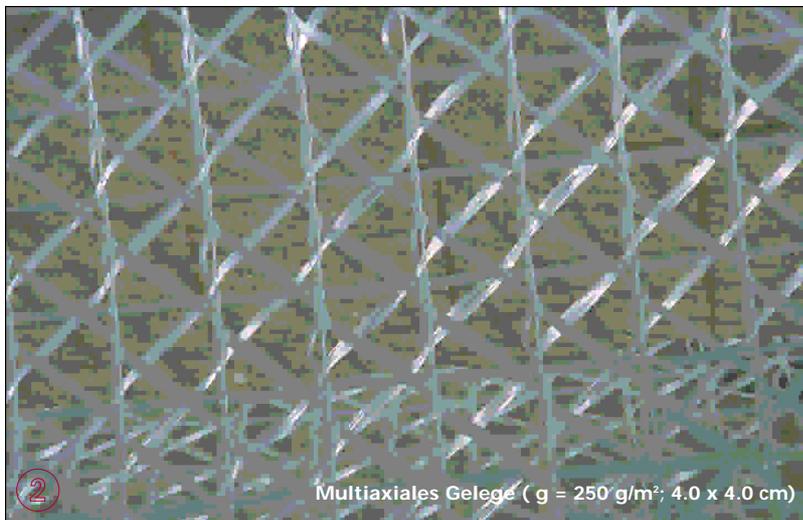
Biaxiales Gelege (g=250 g/m²; 2.0 x 2.0 cm)

die erforderlichen Abstände (untereinander und die Überdeckung) einzuhalten.

Bei der erforderlichen Vielfalt der einzelnen Bauteile mit aufwendiger Geometrie, beliebigen Öffnungen und Aussparungen innerhalb der Elemente ist große Flexibilität nicht nur in der Schalung, sondern insbesondere

auch in der Bewehrung gefordert. Das starre Bewehrungssystem mit Stabstahl oder Matten kann nur mit großem Arbeits- und Kostenaufwand den Anforderungen gerecht werden.

Entsprechend wurden vermehrt Versuche unternommen, die Bewehrung durch Fasern zu ersetzen oder zu ergänzen. Sie werden dem Frischbeton - wie sonstige Zusatzstoffe - in der passenden Dosierung beigelegt und verursachen damit einen geringeren Aufwand, als das Konfektionieren und individuelle Positionierung der einzelnen Bewehrungselemente. Stahl-, Kunststoff- und Glasfasern wurden bislang mit mehr oder weniger Erfolg als Ersatz für eine tragende oder vielmehr konstruktive Bewehrung eingesetzt. Ausführungs- und Verarbeitungsprobleme sowie die mangelnde Leistungsfähigkeit der verschiedenen Faserarten schränkten deren Einsatzgebiet bislang ein.



Multiaxiales Gelege (g = 250 g/m²; 4.0 x 4.0 cm)

Textile Bewehrung – Alternative zu konventioneller Stahlbewehrung

Als praktikable Alternative zur aufwen-



Zuschneiden der textilen Bewehrung

digen Stahlbewehrung einerseits und der Faserbewehrung andererseits ist die textile Bewehrung zu sehen. Auf Grund des derzeitigen Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist als Ausgangsmaterial für die textile Bewehrung die Glasfaser bevorzugt. Dank ihres vergleichsweise hohen Elastizitätsmoduls ($E \sim 75.000 \text{ N/mm}^2$) zeigt die Glasfaser gegenüber der Kunststofffaser ($E \sim 10.000 \text{ N/mm}^2$) innerhalb des Betons die bessere Wirkung. Gegenüber den Fasern mit noch höherem Elastizitätsmodul wie z.B. Karbon ($E \sim 200.000 \text{ N/mm}^2$) hat die Glasfaser jedoch einen Kostenvorteil. Für die Verwendung im Beton mit seinem alkalischen Milieu ist unabdingbar eine alkaliresistente Glasfaser (AR-Glasfaser) zu verwenden.

Die Verarbeitung der Glasfasern (Endlosstränge als Rovings) zu einem textilen Flächengebilde erfolgt nach den verschiedenen textiltechnischen Verfahren. In Anlehnung an die übrigen textilen Strukturen lassen sich Gewebe mit den entsprechenden Maschenweiten fertigen. Von Vorteil für die Verwendung im Beton sind jedoch Gelege, die durch Aufeinanderlegen von Fadensystemen in mehrere Richtungen und einem Fixieren der Kreuzungspunkte entstehen. Somit lassen sich nicht nur wie bei dem Gewebe biaxiale Gitterstrukturen (Bild 1) sondern auch multiaxiale Strukturen (Bild 2) herstellen.

Versuche haben gezeigt, dass insbesondere die multiaxialen Strukturen die höheren Festigkeiten im Verbund mit dem Beton liefern. Zur besseren Handhabung der Gitterstrukturen sind die Kreuzungspunkte ausreichend zu fixieren, um unerwünschte Verschiebungen der einzelnen Fadensysteme zu vermeiden. Bei den Geweben behilft man sich mit einer Beschichtung, mit dem Nachteil, dass die Beschichtung allenfalls den Verbund der Glasfaser mit dem Beton reduziert oder gar verunmöglicht. Eine Beschichtung zum Schutz der Glasfaser gegenüber dem Beton ist bei der Verwendung von alkaliresistentem Glas nicht erforderlich.

Die derzeit in großem Stil verwendeten Putzgitter, die den mineralischen Außenputz z.B. der Wärmedämmverbundsysteme bewehren, und somit vor Rissen sichern sollen, bestehen aus unbeständigem E-Glas und einer entsprechenden Beschichtung. Versuche haben gezeigt, dass die Beschichtung insbesondere die Kreuzungspunkte nicht

ausreichend schützen kann, und somit das Glas in Verbindung mit dem mineralischen Putz seine Festigkeit verliert und die gewünschte Bewehrungs- und Tragfunktion ausbleibt. Die derzeit verwendeten beschichteten Putzgitter aus unbeständigem E-Glas haben mehrere gravierende Nachteile. Sie ermöglichen nur einen mangelhaften Verbund zwischen Beton und Bewehrung, und das E-Glas verliert seine Festigkeit innerhalb kurzer Zeit.

Gitterstrukturen aus alkaliresistenten Gläsern brauchen dagegen als Schutz gegenüber dem Beton keine Beschichtung. Um die Handhabung der Gitterstrukturen zu gewährleisten, müssen die Kreuzungspunkte der Fäden ausreichend fixiert sein. Bei den Geweben lässt sich dies ohne eine nachträgliche Beschichtung nicht erreichen. Bei den Gelegen wird der Kreuzungspunkt mit einem entsprechenden Hilfsfaden fixiert. Insbesondere die multiaxialen Gelegen gewährleisten eine ausreichende stabile Handhabung, da die Fäden der verschiedenen Richtungen die Kreuzungspunkte bestens fixieren.

Eigenschaften textiler Bewehrung aus AR-Glasfasern

Eine der wichtigsten Eigenschaften der textilen Bewehrung aus Glasfasern gegenüber der konventionellen Stahlbewehrung liegt darin, dass sie nicht korrodiert. Der passive Schutz der Bewehrung durch eine ausreichende Betonüberdeckung ist somit nicht erforderlich. Somit lässt sich die textile Bewehrung oberflächennah einbauen, ohne oder nur mit geringster Betonüberdeckung. Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass das Glasgitter direkt auf die Schalung verlegt werden kann, und nach dem Verdichten des Betons bereits weitestgehend von den Feinanteilen umhüllt ist (Bild 8). Belastungstests an derart hergestellten Platten bestätigten ein ausreichendes Verbundverhalten des Glasgitters.

Der oberflächennahe Einbau der Glasgitterstruktur reduziert den Arbeitsaufwand, da die Abstandshalter für die untere und obere Bewehrung entfallen. Denn während die untere Bewehrung ohne Distanzhalter direkt auf die Schalung verlegt wird, lässt sich die obere textile Bewehrung auf der frischen Betonoberfläche abrollen (Bild 7) und ebenfalls durch leichtes Andrücken in die Feinbestandteile einarbeiten. ▶



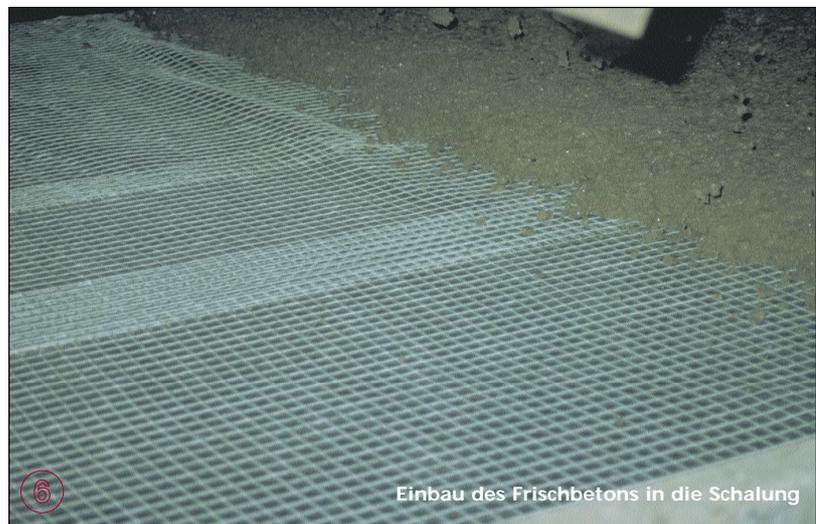
Ausrollen der unteren Bewehrungslage direkt auf die Schalung



komplette untere Bewehrungslage auf der Schalung verlegt

Dank des Einbaus der textilen Bewehrung direkt an der Oberfläche der jeweiligen Bauteile, kann die statische Höhe zur Aufnahme der Biegebeanspruchungen vergrößert werden. Bei den im Hochbau üblichen Konstruktionsstärken von ca. 200 mm lassen sich durch den Wegfall einer Überdeckung von ca. 20 mm bereits ca. 10% Höhe gewinnen und damit entsprechend den Biege widerstand steigern.

Ein weiterer Vorteil der Textilien Bewehrung liegt in der flexiblen Handhabung. Gelege mit Flächengewichten von ca. 250 - 500 g/m² lassen sich von der Rolle leicht abrollen (Bild 3, 4). Das Ablängen oder das Anpassen an Einbauten innerhalb der Schalung erfolgt mit der Schere (Bild 3), da Glasfasern sich mit einer scharfen Schneide durchtrennen lassen. Zulaufen z.B. an den Rändern oder bei Aussparungen lassen sich leicht zurecht schneiden und ebenso leicht verlegen.



Einbau des Frischbetons in die Schalung

Eine entsprechend sorgfältige Überdeckung ist, wie bereits erwähnt, nicht erforderlich.

Während die leichte Handhabung ei-

ne manuelle Verarbeitung von der Einzelrolle erlaubt, ist insbesondere in der industriellen Fertigung der automatische Einbau einer Gitterstruktur über die gesamte Breite und Länge des jeweiligen Bauteils in unterer und oberer Lage möglich. Entsprechend sind die Rollen in der Breite und Länge zu konfektionieren.

Für den Betonbau mit Größtkornabmessungen von bis zu 16 mm werden grobmaschige Gitterstrukturen bevorzugt. Einzelne oder mehrere gebündelte Glasfaserstränge werden zu einem Gitter mit einer gewünschten Maschenweite von > 20 mm zusammengefügt. Die Anzahl der Glasfaserrovings pro Meter bestimmt das Flächengewicht und damit die aufnehmbare Zugkraft. Werden beispielsweise 50 Rovings mit einer Feinheit von 2.500 tex innerhalb der Breite von einem Meter mit einem gegenseitigen Abstand von 20 mm zusammengeführt, entsteht ein Bewehrungsquerschnitt von 46.3 mm²/m. Wird die Aufteilung in beide Richtungen vorgenommen, ergibt sich ein Flächengewicht für diese Gitterstruktur von ca. 250g/m². Unter Ausnutzung der Spannung von ca. 700N/mm² in der Glasfaser kann eine Zugkraft von 32.0 kN/m aufgenommen werden. Im Vergleich mit einer Stahlbewehrung, deren Stahlspannung bei ca. 500N/mm² liegt, ergibt sich eine äquivalente Querschnittsfläche von ca. 65 mm²/m. Unter Verwendung der vorstehenden Angaben für den Querschnitt und das Flächengewicht, müsste beispielsweise eine Gitterstruktur von ca. 500 g/m² erstellt werden, um eine Stahlmatte Q131 zu ersetzen. An diesen Zahlen wird deutlich, dass die textile Bewehrung die tragende



Abrollen der oberen textilen Bewehrung auf der frischen Betonoberfläche



Glasfasergelege ist in den frischen Beton eingearbeitet

Stahlbewehrung nicht ersetzen kann, sondern ihre Anwendung auf bestimmte Bereiche beschränkt bleibt. Zu diesen Gebieten zählen:

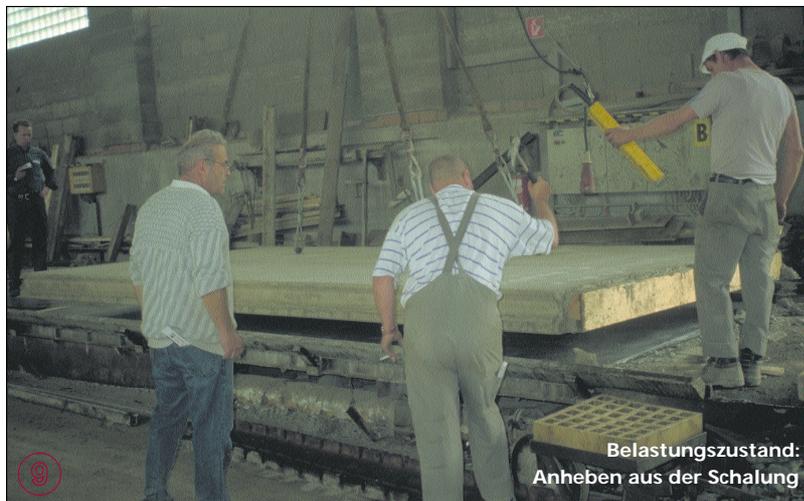
- gering bewehrte Betonquerschnitte,
- konstruktiv bewehrte Betonbauteile,
- in Ergänzung zu einer Stahlbewehrung, um die Rissbreiten zu reduzieren sowie
- für Montage und Bauzustände.

Praktische Anwendung der textilen Bewehrung bei Betonfertigplatten

Um die Eigenschaften der textilen Bewehrung zu testen, wurden Betonplatten ausschließlich damit bewehrt und getestet. Selbst die Tragbewehrung in der unteren Lage wurde durch die Glasfaserbewehrung ersetzt. Zum Einsatz kam eine Gitterstruktur von 250 g/m², was gemäß der vorgängig aufgezeigten Berechnung einer Stahlbewehrung von ca. 65 mm²/m entspricht.

Innerhalb einer langen Schalungsbahn wurde eine Betonplatte mit den Abmessungen von 2.50 x 5.00 m und einer Konstruktionsstärke von d=0.20 m hergestellt. Die Verlegung des Glasfasergitters für die untere Lage erfolgte in mehreren Bahnen direkt auf die Schalung ohne jegliche Abstandhalter (Bild 3,4,5). Nach dem Einbau des Betons (Bild 6) und der Verdichtung über die Außenrüttler der Bahn wurde die Oberfläche abgezogen und geglättet.

Die Überprüfung der Unterseite der Platte am nächsten Tag ergab, dass die Gitterstruktur ausreichend in den Beton eingebettet wurde. Anschließend wurden die Bahnen der oberen Glasfaserbewehrung auf die frische Betonoberfläche abgerollt (Bild 7) und in den weichen Beton eingedrückt, bzw. eingewalzt. Die Feinbestandteile des Betons an der Oberfläche umschließen die Fasern und stellen bereits einen ausreichenden Verbund her (Bild 8). Vier Transportanker wurden ohne weitere Bewehrung in den frischen Beton



Belastungszustand:
Anheben aus der Schalung

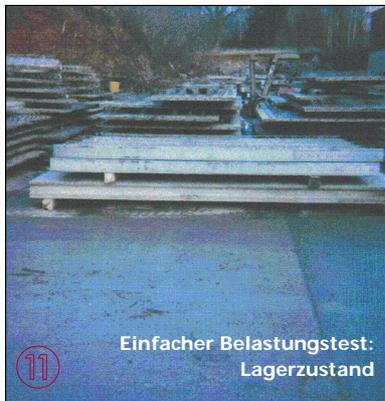
durch die obere textile Bewehrung hindurch eingebaut.

Die Verarbeitung selbst war ausgesprochen einfach und die Handhabung erfolgte ohne große Probleme. Die Platte verblieb ca. 16 Stunden in der Schalung und der Beton hatte zu diesem Zeitpunkt eine Druckfestigkeit von ca. 25.0 N/mm². Danach wurde die Platte punktförmig über die vier vorbereiteten Ankerstellen angehoben und aus der Schalung gehoben (Bild 9). Die Beanspruchung für die obere Bewehrung ist zu diesem Zeitpunkt am größten, da außer dem Eigengewicht die Haftungskräfte mit der Stahlschalung überwunden werden mussten. Dieser Vorgang ließ sich ausführen, ohne dass Risse auftraten. Anschließend wurde die Platte (Bild 10) auf einen Stapler umgeladen, um die vielfältigen Transportbeanspruchungen innerhalb eines Fertigteilwerkes zu simulieren. Die beidseitigen Auskragungen von ca. 2.0 m verursachen hohe Biegemomente an der Oberseite der Platte.

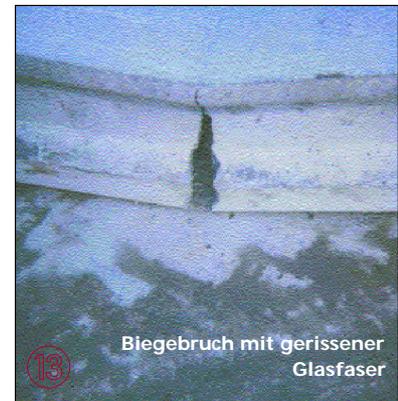
Abschließend wurde die Platte einer vielfältigen, am Fertigteilwerk orientierten Belastungsserie unterworfen. Die auf Lagerplätzen übliche Stapelung mehrerer Platten übereinander (Bild 11) führt bereits zu größeren Biegebeanspruchungen in der untersten Platte. Für diesen Beanspruchungszustand wurde rechnerisch eine erforderliche Stahlbewehrung von ca. 185 mm²/m ermittelt, was bereits über der eingebauten Glasfaserbewehrung lag. Anschließend wurde die Platte mittig mit einer großen Einzellast, bestehend aus zwei gefüllten Betonfässern à 200 ltr. [entspricht ca. 1000 kg = 10 kN] und 6 Personen à 80 kg belastet (Bild 12). Diese Lastanordnung ergab eine Gesamtlast von ca. 14.8 kN, die über die Breite von 2.50 m verteilt einer Linienlast von 5.92 kN/m entsprach.

Die zugehörige, rechnerisch ermittelte Biegebeanspruchung ergab für den Betonquerschnitt ein Biegemoment von 15.9 kNm/m und eine erforderliche Bewehrung von 300 mm²/m. Die zugehörige Biegezugspannung am Querschnittsrand betrug rechnerisch ca. 2.50 N/mm². Unter diesen Lasten konnten keinerlei Risse in der Platte und keine Verformungen festgestellt werden. Mit hin war der Plattenquerschnitt noch im homogenen, ungerissenen Zustand. Gemäß den auch in anderen Versuchen gemachten Erfahrungen erhöht die oberflächennahe textile Bewehrung die Betonzugfestigkeit und ermöglicht somit ein höheres aufnehmbares Bie-

BETONTECHNIK



kann als Ergänzung zu einer Stahlbewehrung eingesetzt werden, um allfällige Risse fein zu verteilen und damit unschädlich zu machen. Weiterhin kann sie vielfach die konstruktive Bewehrung in Betonbauteilen ablösen und damit den Aufwand beim Bewehrungseinbau reduzieren. Mit Sicherheit ist ihre Tragwirkung dank dem zielgerichteten Einbau an der Oberfläche bedeutend effizienter als eine Faserbewehrung, deren Wirkung sich dreidimensional über den Querschnitt verliert. Somit ist die textile Bewehrung als Ersatz für eine Faserbewehrung zu betrachten. Unter Umständen ist die Kombination einer Faserbewehrung mit einer textilen oberflächennahen Bewehrung für spezielle Einsatzbereiche von Vorteil.



gemoment im homogenen Zustand. Ein Bruch der Platte ließ sich mit den aufgezeigten einfachen Hilfsmittel der Belastungsanordnung nicht herbeiführen. Erst das Gewicht des Staplers, welches über die auf die Fässer abgestützten Gabeln auf die Platte aufgebracht wurde, verursachte den Bruch der Platte, wobei die Faserbewehrung glatt riss. (Bild 13). Daraus ist auch zu schließen, dass der Verbund der Glasfasern mit dem Beton ausreichend war, da keine Fasern herausgerissen wurden.

Erfahrungen und weitere Untersuchungen

Die sehr an der Praxis orientierten und einfachen Versuche an Fertigbetonplatten mit einer Bewehrung aus Glasfasergitter zeigten, dass eine oberflächennah eingelegte textile Bewehrung die homogenen Eigenschaften des Betons vergrößern kann. Mit diesen Eigenschaften lassen sich geringe Beanspruchungen des Bauteils bereits aufnehmen, ohne dass der Querschnitt reißt. Selbstverständlich muss die textile Bewehrung als Mindestbewehrung ausgelegt sein, um beim Reißen des

Querschnitts die freiwerdenden Betonzugspannungen vollständig aufnehmen zu können, ohne dass die Bewehrung bereits vollständig reißt.

Diesbezüglich sind weitere Versuche durchzuführen, um entsprechende Richtwerte für eine ausreichende Bewehrung zu liefern. Dennoch lässt sich bereits feststellen, dass eine textile Bewehrung die in Betonfertigteilen oftmals angeordnete konstruktive Bewehrung mit geringer Querschnittsfläche ersetzen kann. Im Gegensatz zu der aufwendigen Stahlbewehrung lässt sich die textile Bewehrung jedoch sehr flexibel und mit geringem Aufwand einbauen. Für Fertigteile aus haufwerkporigem Beton (Leichtbeton, Bims) ist die textile Bewehrung dank ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Korrosion eine echte Alternative gegenüber den aufwendigen Maßnahmen und Verfahren, die Stahlbewehrung dauerhaft zu schützen.

Schlussbemerkungen

Eine textile Bewehrung kann und wird die Stahlbewehrung nicht ersetzen. Sie

Die aufgezeigten Versuche wurden im Fertigteilwerk der Firma Gebr. Schmid Betonbau GmbH & Co. KG in 35410 Hungen, Deutschland, durchgeführt. Wir danken Herr Gerhard Schmid für seine großzügige Unterstützung bei der Herstellung der großformatigen Probekörper und der anschließenden Durchführung der Versuche.

Weitere Informationen:

Dipl.-Ing. Thomas Friedrich
NOVACRET AG
Eisengasse 9
CH-8032 Zürich
Tel. ++41 (0) 1 266 92 51
Fax: ++41 (0) 1 266 92 61
www.novacret.com

Novacret
Faserbaustofftechnik GmbH
Balduinstraße 1A
D-54470 Bernkastel-Kues
Tel. ++49 (0) 65 31 / 96 82 41
Fax ++49 (0) 65 31 / 96 82 42
E-Mail: info@novacret.com
www.novacret.com