

Teil II: Vom Glasfaserspritzbeton zum Glasfasermixbeton

Glasfaserbeton (GFB): von der handwerklichen zur industriellen Fertigung

Die Möglichkeiten der Faserverbundkunststoffe in vielen technischen Anwendungsgebieten (z.B. Automobilbau, Maschinenbau) während der vergangenen Jahre stand unter anderem auch Pate für die Ent-

wicklungen des Glasfaserbetons. Die Faserverbundkunststoffe bestehen aus einem hohen Anteil an Glasfasern, die mit entsprechenden Harzen zusammengefügt werden.

VERFASSER:

Thomas Friedrich,
Novacret AG

1. Einleitung

Die Faszination derartiger Verbundkonstruktionen ist die nahezu beliebige Formgebung, die dünne Konstruktionsform und die entsprechende Steifigkeit. Es lag somit nahe, die teuren Kunststoffe durch den überall verfügbaren und mengenmässig am häufigsten verwendeten Baustoff Zement zu ersetzen. Zement dient als idealer Klebstoff, der zudem kostengünstig zur Verfügung steht.

Fasziniert von der Dünnwandigkeit der mit Glasfaserbeton zu erzeugenden Produkte entwickelte sich eine neue Denkart in einigen wenigen Köpfen der Stahlbetonzunft. Stahlbeton, noch heutzutage vielfach als Massivbau bezeichnet, zeugt von ebendiesen massiven grossformatigen Abmessungen. Dennoch der Baustoff Beton in Kombination mit der Stahleinlage zur Aufnahme der Zugkräfte hat weltweit im letzten Jahrhundert einen unvergleichlichen Siegeszug angetreten. Um so attraktiver erschien die Möglichkeit, den etablierten Baustoff Beton mit Hilfe der Glasfasern als Bewehrung schlanker, filigraner zu machen.

In den Anfängen dieser neuen Entwicklung hat man sich somit weitgehend von den Möglichkeiten des Glasfaserkunststoffs leiten lassen und versucht, deren Technik nahezu vollständig zu übernehmen. Somit hat man bei der Herstellung der dünnwandigen Betonbauteile die erprobte Spritztechnik übernommen. Diese uneinge-

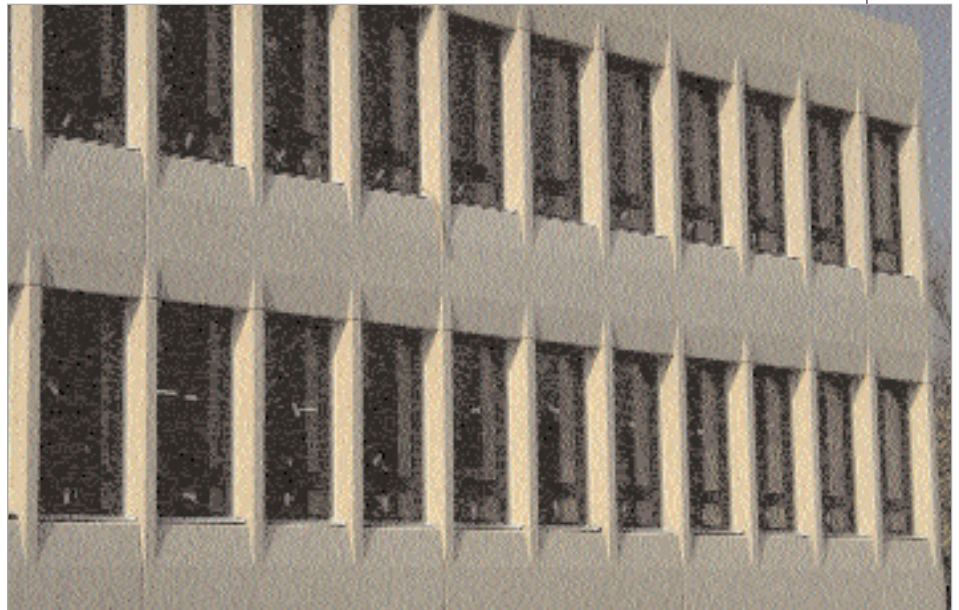


Bild 1: Glasfaserbeton als Kopie sonstiger Werkstoffe

schränkte Übernahme der Techniken der Faserverbundkunststoffe hat dann unter anderem auch dazu geführt, sich in Bezug der Formgebung der Betonbauteile keinerlei Beschränkung aufzuerlegen. Beispiele dieser ungewöhnlichen Gestaltung mit Beton sind die Fassadenkonstruktionen, deren üppige Formgebung an andere Baustoffe als Beton erinnert (Bild 1). So wie eine ornamentreiche Steinfassade der kirchlichen und auch weltlichen Kathedralen unserer Vorfahren die handwerkliche Kunst der Steinmetze erforderte, bleibt auch die diesen Strukturen nachempfundene Fassade aus Glasfaserbeton aufgrund ihrer komplexen Geometrie immer eine manuelle und handwerkliche Tätigkeit.

Weiterhin ist man anfänglich dem Irrglauben aufgesessen, die für die Faserverbundkunststoffe verwendeten Glasfasern, welche als sogenannte E-Glasfasern Verwendung finden, auch im alkalireichen Betonmilieu zu verwenden. Von den beiden vorgenannten aus dem

Faserverbundkunststoff übernommenen Techniken bzw. Ausgangsmaterialien musste und muss der Glasfaserbeton sich lösen, um im Baubereich erfolgreich und dauerhaft zu bestehen. Die handwerkliche Technik bleibt heutzutage aus Kostengründen auf wenige Anwendungen beschränkt. Vielmehr gilt es, Produkte aus dem überragenden Baustoff Glasfaserbeton industriell herzustellen und somit die Überlegenheit des zementgebundenen Materials auch zu nutzen. Zudem müssen für den zementgebundenen Baustoff spezielle Glasfasern verwendet werden, die den chemischen Angriffen aus der relativ hohen alkalireichen Umgebung dauerhaft widerstehen.

Um dennoch grössten Nutzen für die heutzutage angesagte industrielle Fertigung von Glasfaserbetonbauteilen zu gewinnen, lohnt sich der Blick auf die Vergangenheit und die Entwicklungsfänge und damit auf die handwerkliche Technik. ▶

2. Alkali resistente Glasfasern für die zementgebundene Matrix

Wie erwähnt, stand am Anfang der Entwicklung des Glasfaserbetons das Kopieren der erfolgreichen Technik des Faserverbundkunststoff. Spritztechnik und auch die gleiche Glasfasern wurden übernommen. Die zu diesem Zeitpunkt bislang bekannten konventionellen E-Glasfasern wurden anfänglich auch im Betonmilieu verwendet. E-Glasfasern werden jedoch in der alkalireichen Umgebung (pH-Wert ≈ 13) sehr rasch angegriffen und innerhalb kürzester Zeit vollständig vernichtet. Die vorgesehene Verstärkungswirkung als Bewehrung kann sich somit nicht entfalten, da die konventionellen E-Glasfasern im erhärteten Beton nicht mehr vorhanden sind.



Bild 2: Spritzkopf für Matrix und Glasfasern

Eindrucksvoll ist die Schilderung eines Produzenten von Glasfaserbeton-elementen, die als sogenannte integrierte Schalung dienen. Nach der Herstellung wurden die einzelnen Elemente gelagert und waren nur durch ihr absolut geringes Eigengewicht belastet. Nach wenigen Tagen bereits zerbrachen die Elemente ohne weitere äussere Einwirkung in einzelne Bestandteile. Ursache dieses schadhaf-



Bild 3: Glasfaser im Original als Roving

Versagens war die Unwirksamkeit der eingebauten konventionellen E-Glasfasern, die durch den chemischen Angriff in dem alkalireichen Milieu bereits so weit zerstört waren, dass sie als Bewehrung nicht mehr in der Lage waren, auch nur den geringsten Einwirkungen zu widerstehen. Nach der Umstellung der Produktion auf die für den Betonbau absolut notwendigen alkali-resistenten Glasfasern (AR-Glasfasern) konnte die gewünschte Verstärkung erzielt werden und das Produkt als integrierte Schalung erfolgreich seine Funktion ausfüllen. Dies zudem mit weit höheren Einwirkungen als das Eigengewicht.

Alkali-resistente Glasfasern unterscheiden sich von den konventionellen E-Glasfasern durch die spezielle chemische Zusammensetzung in Form eines hohen Zirkongehaltes. Zirkon - ZrO_2 - sorgt für eine unlösliche Oberflächenschicht und damit für eine Schutzschicht, die den alkalischen Angriffen weitaus besser widersteht als konventionelles E-Glas.

Weitere Möglichkeiten, die Glasfasern vor diesen Angriffen zu schützen, bestehen in der Verwendung von zementgebundenen Mischungen, die zu einem geringeren pH-Wert (empfehlenswert $pH \approx 9$) der Matrix beitragen. Zu beachten gilt, dass für sämtliche Beton- bzw. Mörtelzusammensetzungen nur alkali-resistente Glasfasern zu verwenden sind, wenn die angestrebte Verstärkungswirkung erreicht werden soll. Die Verwendung von konventionellen E-Glasfasern, die sich gegenüber den AR-Glasfasern nicht nur durch einen niedrigeren Preis auszeichnen, ist wenig erfolgversprechend, da diese sich bereits nach kurzer Zeit innerhalb der Zementumgebung auflösen haben. Selbst die niedrigen Kosten für das E-Glas kann man sich sparen, da die gewünschte Wirkung nicht zu erzielen ist.

3. Matrixzusammensetzung und Faservolumen

Die für Glasfaserbeton verwendete Feinmörtelzusammensetzung besteht aus gleichen Anteilen aus Zement und feinkörnigem Zuschlag in Form von Sand der Fraktion 0 - 1 mm. Bei einem heutzutage im häufiger eingesetzten Glasfaserleichtbeton kann der Sand gänzlich oder teilweise durch Leichtzuschläge ersetzt werden. Ergänzend



Bild 4: Manuelle Technik: Spritzen von Matrix und Glasfasern

zu den beiden Hauptkomponenten Zement und Zuschlag werden weiterhin Zuschlagstoffe, Zusatzmittel, Wasser und alkali-resistente Glasfasern beigefügt. Man unterscheidet in der Zusage der Glasfasern zwischen einem eigentlichen Glasfaser - Spritzbeton und einem Glasfaser - Mixbeton.

4. Glasfaser-spritzbeton

Beim traditionellen Spritzbeton werden die Feinbetonmatrix und die Glasfasern getrennt zum Spritzkopf geführt. In **Bild 2** ist ein entsprechender Spritzkopf für Glasfaser-spritzbeton dargestellt. Die Glasfasern werden von einem Roving (**Bild 3**) abgezogen in einem am Spritzkopf angebrachten Schneidwerkzeug auf die gewünschte Faserlänge geschnitten, und parallel mit dem Matrixstrom in die Schalung gespritzt. Diese Verfahren zeichnet sich durch den hohen einbringbaren Anteil an Glasfasern aus. Bis zu 5 Vol-% an Glasfasern an der Gesamtmatrix lassen sich auf diese Weise einbringen. Bedingt durch das Verfahren werden die i.d.R. ca. 30 - 50 mm langen Glasfasern in der dünnen aufzubauenden Bauteilschicht statisch wirksam in die beiden tragenden Richtungen verteilt.

Der Spritzvorgang erfolgt i.d.R. durch die manuelle Führung des Spritzkopfes (**Bild 4**). In die vorbereitete Scha-



Bild 5: Manuelle Technik: Verdichten der Matrix mit Glasfasern

lung wird das gesamte Spritzgut in mehreren Arbeitsgängen gleichmässig aufgetragen. Je nach Anordnung der Schalung und dem aufbringbaren Druck des Spritzgutes muss nach jeder Schicht die Matrix verdichtet werden (**Bild 5**). In jedem Fall muss für die aufwendigen Schalungen mit anspruchsvoller Geometrie ein entsprechender Aufwand für die Erstellung und Bearbeitung des Bauteils (**Bild 6**) aufgewendet werden.



Bild 6: Herstellung und Bearbeitung eines Bauteils aus Glasfaserbeton

Handelt es sich bei den herzustellenden Bauteilen um ebene oder rotationsymmetrische Elemente mit einfachen Geometrien (z.B. ebene Plattenelemente oder kreisförmige Bauteile) kann auch ein Spritzroboter eingesetzt werden. Zu beachten gilt dabei, dass das Spritzgut mit entsprechend hohem Druck in die Schalung eingebracht wird, so dass mit dem Auftrag auch die gleichzeitige Verdichtung erfolgt. In **Bild 7** ist ein derartiger Spritzroboter für die Fertigung von grossformatigen Plattenelementen erkennbar. Der Spritzkopf wird über eine in zwei Richtungen verfahrbare Konstruktion geführt. Bei entsprechender Program-

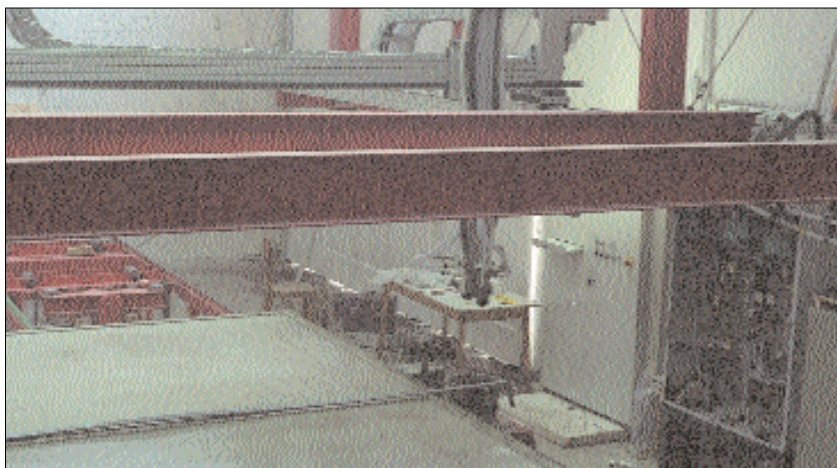


Bild 7: Spritzroboter für grossformatige Plattenelemente)

mierung des Verfahrensweges unter Berücksichtigung der Beschleunigungen und der konstanten Geschwindigkeiten und deren Einfluss auf die einzubringende Menge lassen sich ebene Bauteile mit gleichmässiger Qualität erstellen. Spritzroboter sind bereits die ersten Ansätze, die handwerkliche, manuelle Fertigung in eine industrielle zu überführen.

5. Glasfasermixbeton

Im Gegensatz zum Glasfaserspritzbeton wird beim Mixbeton die Glasfaser in entsprechender Menge bereits der Matrix beigemischt. Zu beachten gilt, dass die Glasfasern erst nach dem Abschluss der sonstigen Mischvorgänge der fertigen Mischung zugefügt werden und innerhalb einer kurzen Mischzeit von maximal einer Minute untergemischt werden. Bei diesem Verfahren bleibt aufgrund des Mischvorgangs der maximale einmischbare Fasergehalt auf maximal 3 Vol-% beschränkt. Die Länge der Fasern beträgt bei diesem Verfahren bevorzugt maximal 24

mm. Der Glasfaser-Mixbeton ist jedoch gegenüber dem Spritzverfahren bedeutet einfacher in der Verarbeitung, da er sowohl als Spritzbeton als auch bei weiteren Produktionstechniken wie das Giessen in vorbereitete Formen und das Injizieren in geschlossene Schalungen verwendet werden kann.

Eine Abwandlung des Mixbetons ist der Glasfaser-Premix, bei dem eine vorgefertigte Trockenmischung als Sack- oder Siloware angeliefert wird und mit dem entsprechenden Wassergehalt zur flüssigen Matrix verarbeitet wird. Dabei kann die Glasfaser entweder

dem Mischvorgang zum Schluss beigegeben werden oder die Glasfasern sind bereits in der Trockenmischung enthalten. Die Trockenmischung wird in den Mischer eingefüllt (**Bild 8**), mit Wasser angemacht und allenfalls über eine Pumpe der weiteren Verwendung zugeführt. Trockenmischungen mit Glasfasern sind äusserst praktisch bei speziellen Rezepturen, die aus mehreren Komponenten bestehen. Der Bedarf an speziellen Rezepturen in Kombination mit den Glasfasern steigt mit den au-

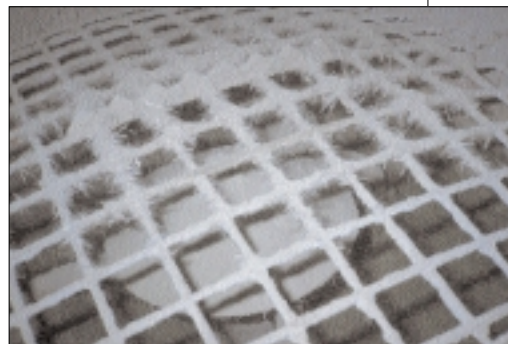


Bild 8: Trockenmischung als Glasfaser-Premix



Bild 9: Brandschutzmörtel aufgetragen als Glasfaser-Premix

genblicklich vielen neuartigen Anwendungen. Als Beispiel seien genannt Feinbetonmischungen für das Injektionsverfahren, für Leichtbetone und für Putze. Diese Mischungen können ebenfalls in vielfältiger Art und Weise verarbeitet werden. Auch die Anwendung als Spritzbeton ist machbar, indem die faserreiche Matrix zum Spritzkopf gefördert wird und in die Schalung oder auf die entsprechende Fläche gespritzt wird. Eine typische Anwendung für eine derartige Anwendung ist ein Brandschutzmörtel auf Zementbasis, der in geringer Stärke auf das zu schützende Bauteil aufgebracht wird. **Bild 9** zeigt den Spritzvorgang mit dieser Matrix für eine Stahlstütze. Durch die spezielle Zusammensetzung der Matrix lässt sich die Mischung in einem Arbeitsgang in voller Stärke auf das zu schützende Bauteil aufbringen ohne Rückprallgut.



Bild 10: Geschnittene Glasfasern

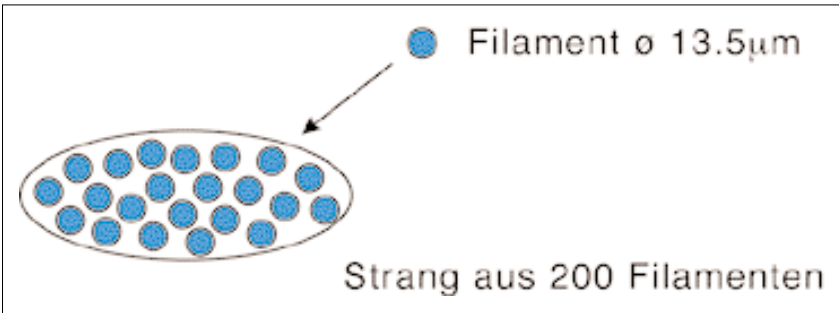


Bild 11: Aufbau von Glasfasernbündel mit einzelnen Filamenten

6. Alkali-resistente Glasfasern als Roving, geschnittene Fasern oder konfektioniert zu Netzen, bzw. Gitter

Vom vorherbeschriebenen Spritzverfahren ist bekannt, dass Glasfasern vom Roving abgewickelt werden, um direkt dem Matrixstrom am Spritzkopf beigefügt zu werden. Der Mixbeton erfordert vorgängig geschnittene Fasern in der Länge von 12 bis 24 mm (**Bild 10**). Mit der heutzutage am meisten verbreiteten Anwendung des Mixbetons ist der Bedarf an geschnittenen Fasern gefragt. Eine weite Palette von einzelnen geschnittenen Fasertypen hilft mit, für die entsprechende Anwendung die richtige Faser auszuwählen. Der einzelne Strang der Glas-

fasern setzen sich zusammen aus einer Vielzahl von sogenannten Filamenten (**Bild 11**), der kleinsten Fasereinheit, die während des Produktionsvorganges von der Schmelze gezogen wird. Die einzelnen Filamente haben einen Faserdurchmesser von 13µm. Ein einzelner Roving besteht aus mehreren Glasfasersträngen. Durch die Verwendung einer für den jeweiligen Fasertypen definierten Schlichte werden die einzelnen Filamente zu den entsprechenden Typen zusammengeführt. Man unterscheidet Fasertypen mit 50, 100, 200 und 400 Filamenten. Zudem unterscheidet man hauptsächlich zwischen integralen und wasserdispersiblen Fasertypen. Während die integralen Typen als Gesamtheit in der Matrix auch während des Verarbeitungsvorgangs zusammengehalten werden, lö-

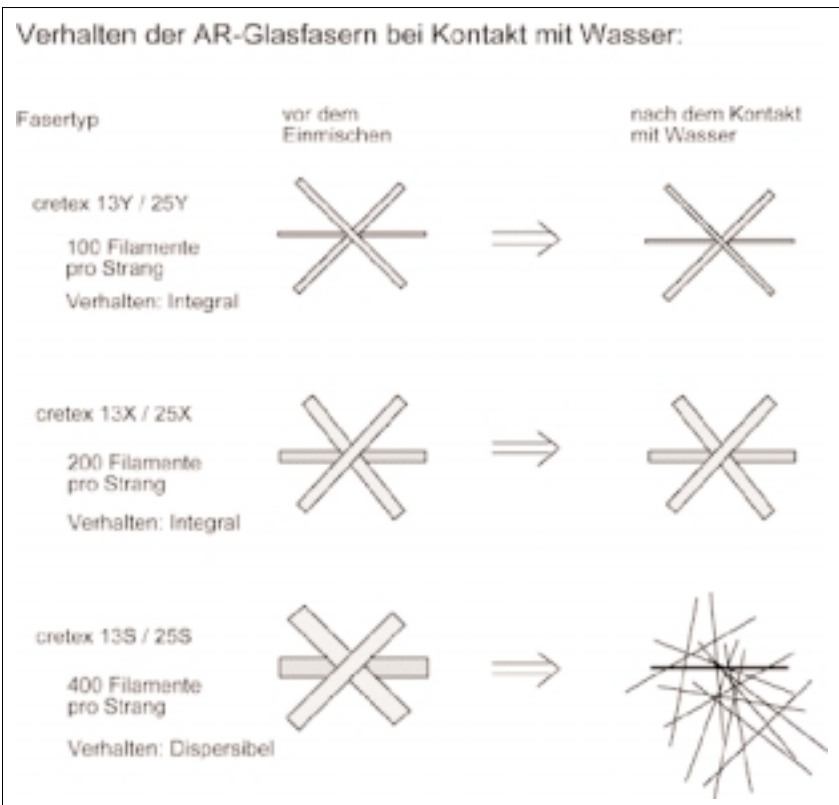


Bild 12: Gängige Glasfasertypen

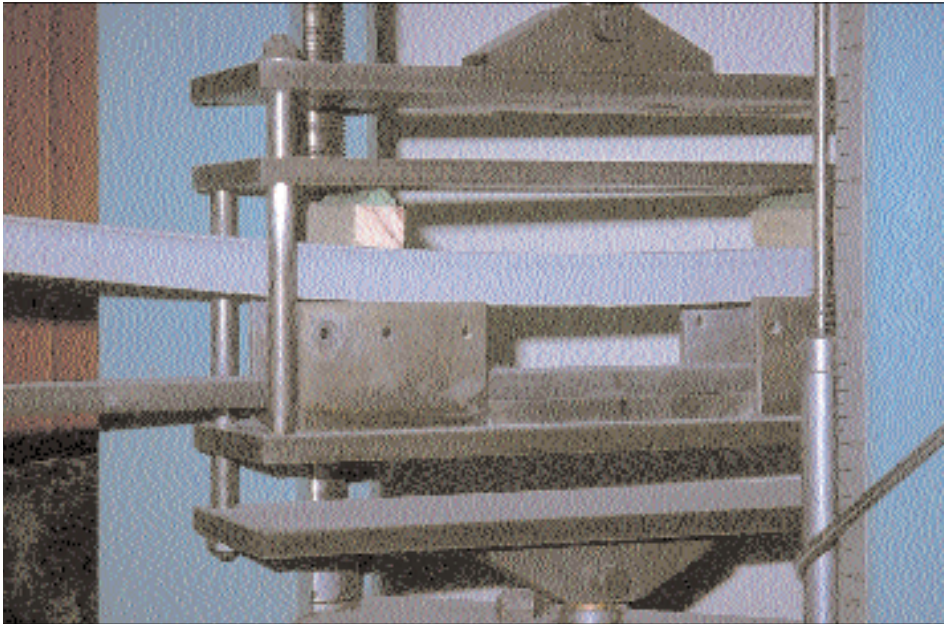


Bild 13: Biegeversuch am Bauteil mit eingebettetem Glasfaserroving

sen sich die dispersiblen Typen in Gegenwart von Wasser in die einzelnen Filamente auf. Die integralen Fasertypen bilden eine grobe Bewehrung, während die dispersiblen eine äusserst feine Mikrobewehrung darstellen. Die dispersible Faser hat zudem den grossen Vorteil, sich als Gesamtheit in eine Matrix (insbesondere Trockenmatrix) gut ein- und unterzumischen und erst in der flüssigen Matrix in die gewünschten Einzelfaser zu zerfallen, um auf diese Weise den maximalen Anteil an Faser einzubringen. Eine Übersicht der gängigsten Fasertypen vom Typ Cretex®- NEG-AR-Glasfasern ist in **Bild 12** dargestellt.

Glasfasern sind bei den neueren Produktionsverfahren nicht nur Verstär-

kung in Form von Bewehrung, sondern auch Prozessfasern. Auszugsweise seien einige Möglichkeiten der Matrix- und Prozessbeeinflussung erwähnt. Glasfasern halten die flüssige Matrix zusammen und verhindern Entmischungen auch während langer Transportvorgänge. Glasfasern dienen der Entwässerung und erhöhen die Grundsatzfestigkeit des Feinbetons.

Im Vergleich von Glasfaser-spritz- und Mixbeton wird deutlich, dass die Verstärkung durch die Glasfasern beim Mixbeton geringer ausfällt. Die einmischbare Fasermenge ist geringer und die Verteilung der Fasern erfolgt dreidimensional und somit weit weniger wirkungsvoll ist als die beim Spritzbeton erzwungene zweidimensionale

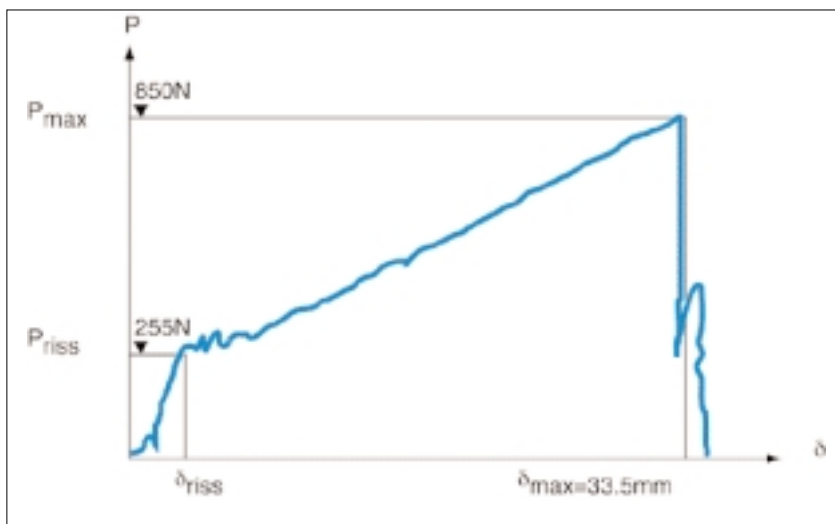


Bild 14: Lastverformungsdiagramm am Plattenstreifen

Verteilung. Dennoch lassen sich Konstruktionen, die in einem Verfahren mit Mixbeton hergestellt werden, äusserst wirkungsvoll verstärken. Dazu dient vorderhand der einzelne Roving, der gezielt an der erforderlichen Stelle des Bauteils, nämlich in der Zugzone eingelegt wird, um konzentriert die Zugkräfte aufzunehmen. Die gezielte Verstärkung mit einem oberflächennah eingelegten Roving ist weitaus wirkungsvoller als die räumlich verteilte Anordnung der Kurzfasern. Tests mit oberflächennah eingelegten Rovings (**Bild 13**) an dünnwandigen Bauteilen zeigen nicht nur einen hohen Widerstand, sondern auch ein hohes Verformungsvermögen und damit die im Betonbau gewünschte Duktilität (**Bild 14**). Eine typische Anwendung für eine derartige Bewehrungsanordnung mit einzelnen Rovings ist eine dünnwandige Rippenplatte. Die einzelnen Rovings bilden die Biegebewehrung in der schlanken Rippe und verleihen der gesamten Plattenkonstruktion die gewünschte hohe Steifigkeit (**Bild 15**).



Bild 15: Platte mit Verstärkung der Rippen durch eingebettete Rovings

Eine Weiterentwicklung der individuellen Verstärkung mit einzelnen Rovings und damit einer weiterer Schritt zur industriellen Fertigung wurde mit den als Gewebe bzw. als Gelege konfektionierten Netzgebilden getan. Multiaxiale Gelege bieten die Möglichkeiten, ausgezeichnete Richtungen gezielt vor dem Einbau in das Bauteil zu verstärken. Unterschiedlichen Bean-

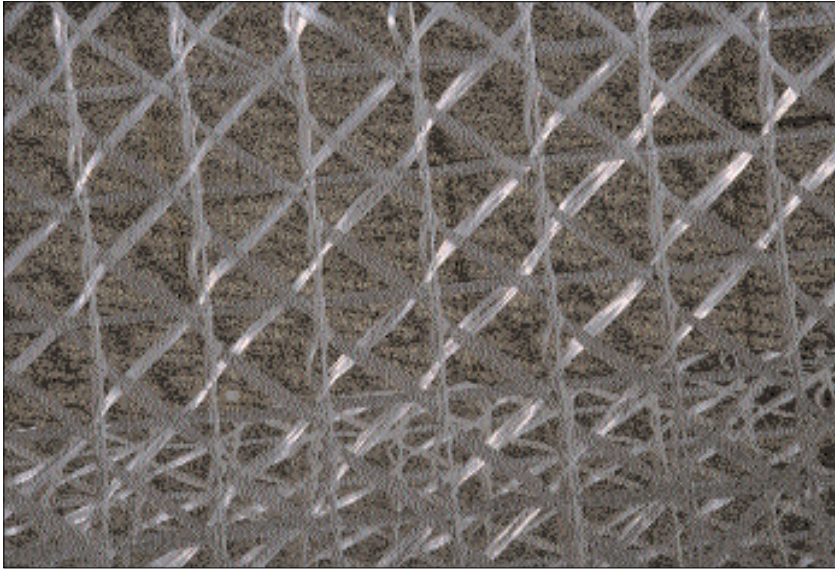


Bild 16: Quadraxiales Glasfasergelege

spruchungen innerhalb des späteren Bauteils kann auf diese Weise gezielt entgegengewirkt werden. Man unterscheidet je nach Anwendung unidirektionale, bidirektionale, quadraxiale (Bild 16) und multiaxiale Gelege. Diese Netzstrukturen haben den grossen Vorteil, dünnwandige Bauteile aus Glasfaserbeton gezielt an der dafür ausgezeichneten Stelle zu verstärken. Zudem sind derartige Strukturen innerhalb eines industriellen Prozess gut handhabbar. Als Beispiel sei eine industrielle Produktion erwähnt, die zementgebundene Platten mit der entsprechenden oberflächennahen Verstärkung mit einem textilen Gelege aus AR-Glasfasern herstellt (Bild 17).

7. Zusammenfassung und Ausblick

Bauteile aus Feinbeton werden durch die unterschiedlichen Formen der Zugabe von alkaliresistenten Glasfasern verstärkt. Landläufig ist diese Form des Beton als Glasfaserbeton bekannt. Traditionell wird Glasfaserbeton in einem manuellen Fertigungsprozess als sogenannter Spritzbeton hergestellt. Dabei lässt sich ein hoher Anteil an Glasfasern und damit eine grosse Verstärkung in die Matrix einbauen. Erste Ansätze zu einer industriellen Fertigung sind in einem Spritzroboter zu sehen. Ergänzend dazu hat sich der Glasfaserbeton entwickelt. Während die Verarbeitung bedeutet einfacher ist, und somit die Anwendungsvielfalt steigt, ist die Verstärkung durch den verfahrensbedingten geringeren An-

neue Techniken zur gezielten Positionierung der gerichteten Glasfaserstränge an. Eine Weiterverarbeitung der Rovings zu speziellen Netzstrukturen und deren gezielte Ausrichtung der Verstärkung dank der Gelegetechnik ist ein weiterer Schritt zu einer industriellen Fertigung und damit weg von der handwerklichen Fertigung.

Erst mit den einfachen, jedoch bedeutenden Schritt zum Glasfaser-Mixbeton oder gar Glasfaser-Premix und der gezielten Verstärkung mit Gelegetstrukturen eröffnet sich seit kurzem ein erfolversprechender Weg zur seriellen Fertigung von dünnwandigen, dreidimensional geformten Bauteilen aus Glasfaserbeton.

So gesehen wird erst heutzutage der

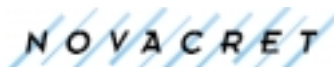


Bild 17: Plattenbauteil mit eingebettetem quadraxialem Glasfasergelege

teil an Glasfasern entsprechend kleiner. Dem wiederum kann auf andere Weise abgeholfen werden, indem die Glasfaser im Original, als Roving gezielt eingebaut wird. Durch das Aufschliessen neuer Anwendungs- und Produktionsmöglichkeiten mit dem Glasfaserbeton, bieten sich zudem

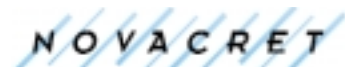
Schritt vollzogen von der traditionellen und manuellen Fertigung nach dem Spritzverfahren hin zu einer industriellen Anwendung von Glasfaserbeton. Damit stehen wir erst am Anfang einer Reihe von Neuentwicklungen in der Produktionstechnik sowie in den Produkten.

Weitere Informationen:
für die Deutschland



Novacret Faserbaustoff-Technik GmbH
Postfach 1270 – Balduinstraße 1A
D-54462 Bernkastel-Kues
Tel.: ++49 6531 96 82 41
Fax: ++49 6531 96 82 42
E-Mail: info@novacret.com
Internet: www.novacret.com

Weitere Informationen:
für die Schweiz



Novacret AG
Postfach – Eisengasse 9
CH-8032 Zürich
Tel.: ++41 1 266 92 51
Fax: ++41 1 266 92 61
E-Mail: info@novacret.com
Internet: www.novacret.com