

Teil I: Übersicht

Glasfaserbeton (GFB): von der handwerklichen zur industriellen Fertigung

Glasfaserbeton besteht aus einem zementgebundenen Feinbeton und einer Verstärkung aus alkaliresistenten Glasfasern. Der spröde Werkstoff Beton weist gute Druckfestigkeiten, jedoch geringe Zugfestig-

keiten auf. Dieses Manko läßt sich durch die Herstellung eines Verbundwerkstoffes bestehend aus Beton und einer zugfesten Einlage überwinden, wodurch wiederum ein duktiler Werkstoff entsteht.

VERFASSER:

Thomas Friedrich,
Novacret AG

1. Einleitung

Der bekannteste Verbundwerkstoff ist der Stahlbeton. Der Stahl ist innerhalb des Betons eingebettet und wirkt im Verbund mit diesem zur Aufnahme von äußeren Beanspruchungen. Betonfasern beteiligen sich je nach Dosierung ebenfalls an der Zugaufnahme innerhalb des Betons und machen aus dem spröden einen



Bild 1: Zäher und duktiler Baustoff Glasfaserbeton

duktilen Baustoff (Bild 1). Im Gegensatz zum Stahl muß die alkaliresistente Glasfaser nicht vor Korrosion geschützt werden. Damit entfällt die für Betonbauteile mit metallischer Bewehrung erforderliche Betonüberdeckung und somit können die Bauteile dünn, schlank und schlußendlich leicht ausgebildet werden.

Die Verstärkung von spröden Baustoffen mit Fasern hat eine lange Tradition, insbesondere wenn dünne Bauteile angesagt waren. Im Betonbau hat man sich anfänglich mit der Verstärkung durch alkaliresistente Asbestfasern beschäftigt und einige typische Bauelemente wie Dachplatten, Fassadenelemente und Rohre hergestellt. Durch das Gesundheitsrisiko im Umgang mit der Asbestfaser mußte diese Technik aufgegeben werden. Ersatz wurde in der Glasfaser gefunden, die jedoch speziell für die Anwendung im Betonbau durch den chemischen Aufbau alkaliresistent gemacht wurde.

Mit der Verwendung der Glasfasern lag es nahe, sich bei der Verarbeitung an den Möglichkeiten zur Herstellung von Faserverbundwerkstoffen aus Kunststoffen zu orientieren. Diese Technik hat in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung genommen. Verbundkunststoffe aus Duromeren und Thermoplasten werden mit textilen Strukturen aus Glasfasern verstärkt und so in der Geometrie beliebigen, stabilen und leistungsfähigen Bauelementen gefertigt.

2. Handwerkliche Technik

Die Entwicklung im Betonbereich hat jedoch anfänglich einen anderen Weg, den im Baubereich üblichen konservativen Weg genommen. Handwerkliches war angesagt. Man verwendete die im Betonbau übliche Schalungsform, in die hinein die Feinbetonmatrix und die Verstärkungsfasern eingebracht werden mußten. Obwohl die Glasfasern in der



Bild 2: Auftragen der Schicht aus Glasfasern und Feinbeton und Verdichten



Bild 3: Spritztechnik: hoher Anteil an Glasfasern



Bild 4: Spritztechnik für aufwendige Geometrie

Herstellung als gezogene Faser und somit als Endlosfaser zur Verfügung stehen, wurde deren Einbau in die Feinbetonmatrix als geschnittene Kurzfasern bevorzugt. Der Einbau einzelner Rovings analog dem Bewehrungsseisen war zu aufwendig, da deren exakte Positionierung innerhalb der dünnwandigen Bauteile manuell nicht zu bewerkstelligen ist. Mit dem damit verbundenen Verzicht auf die gezielte Verstärkung am richtigen Ort innerhalb des Querschnitts mußte eine entsprechend hohe Menge an Kurzfasern in die Matrix eingebracht werden, um bei deren ungerichteter Verteilung dennoch den entsprechenden Nutzen für die Zugverstärkung zu erzielen. Die somit erforderlichen Mengen an geschnittenen Glasfasern (5% Faservolumen)

ließen sich jedoch nicht in die Feinbetonmatrix mit den üblichen Mitteln einmischen. Somit verblieb nur die Spritztechnik, indem Matrix und Faser getrennt zu einem Spritzkopf geführt werden, um unter Druck innerhalb eines gemeinsamen Düsenstrahls in die Schalung aufgetragen zu werden (**Bild 2**). Die gesamte Konstruktionsstärke muß in mehreren dünnen Schichten, d.h. Spritzvorgängen aufgetragen werden, um die Ausrichtung der Fasern in eine weitgehend zweidimensionale Richtung zu zwingen. Ergänzend muß die aufgetragene Schicht Matrix mit der Glasfaserbewehrung verdichtet werden.

Dieses Verfahren hat zwei entscheidende Nachteile:

- a) Die Qualität der Spritzbetonschicht ist entscheidend von den manuellen Fähigkeiten des Düsenführers abhängig. Sein Geschick entscheidet über die richtige Mischung von Matrix und Fasern und über den schichtenmässigen Aufbau. Für die Herstellkosten ist der hohe Anteil an Lohnkosten mitentscheidend.
- b) Der ungerichtete Eintrag der Fasern macht ein hohes Gesamtvolumen (**Bild 3**) erforderlich, da nur ein geringer Anteil davon in der den Tragwiderstand bestimmenden Zugzone liegt. Der weit aus größere Anteil der Fasern liegt weitgehend ungenutzt innerhalb des Querschnitts, da der Gesamtquerschnitt nur zu einem Bruchteil aus Zugzone liegt. Eine Betondruckzone braucht dank der hohen Druckfestigkeit des Betons keine Faserverstärkung. Die Glasfasern machen einen hohen Anteil an den Materialkosten aus.

Die Kosten für die Herstellung ei-

Alkaliresistente-Glasfasern für GFB

- geschnittene Fasern
- Roving
- Textile Gebilde (Gewebe, Gelege)
- formgebende textile Gebilde (z.B. Abstandstextil)

Tabelle 1: Entwicklung bei den Fasern

nes Produkts aus Glasfaserbeton nach dem Spritzverfahren werden entscheidend durch die hohen Lohn- und Materialkosten bestimmt. Trotz der bekannten Nachteile hat sich diese Verarbeitungstechnik lange gehalten und ist heutzutage noch anzutreffen. Für spezielle Bauweisen wie z.B. in der Geometrie aufwendige Formen (**Bild 4**) ist auch eine andere Technik als die Spritztechnik nicht anwendbar. Vielleicht ist das beharrliche Festhalten an dieser kostenintensiven Spritztechnik auch der Grund für die bislang geringe Verbreitung der Glasfaserbetontechnik.

3. Entwicklungen

Im Laufe der Jahre haben sich parallel zueinander verschiedene Entwicklungen abgespielt. Die Entwicklungen betreffen im wesentlichen drei unterschiedliche Aspekte des Glasfaserbetons:

- 1) das wichtigste Ausgangsmaterial, die alkaliresistenten Glasfasern
- 2) die Produkte, die aus Glasfaserbeton hergestellt werden
- 3) die Verarbeitungstechniken zur Herstellung der Glasfaserbetonprodukte

In all diesen Bereiche wurden teilweise unabhängig voneinander Weiterentwicklungen vorangetrieben. Dabei haben sich die einzelnen Entwicklungen gegenseitig beeinflusst, und oftmals nur gemeinsam zu einer neuen Richtung geführt, so daß nicht mehr eindeutig auszumachen ist, was nun den entscheidenden Einfluß für ein neues Produkt oder Verfahren gegeben hat. Von Bedeutung ist jedoch, daß damit die entscheidende Weiterentwicklung des Glasfaserbetons vorangetrieben wurde, die nach heutigen Stand der Technik sich im Umfeld einer industriellen Produktion befindet. Der Schritt von der handwerklichen Fertigung zu einer mechanisierten Produktion hat damit seinen Anfang genommen.

4. Alkaliresistente Glasfasern für GFB

(Tabelle 1)

Das wichtigste Ausgangsmaterial für den Glasfaserbeton, die Glasfaser an sich, läßt sich in unterschiedlich konfektionierter Form verwenden.

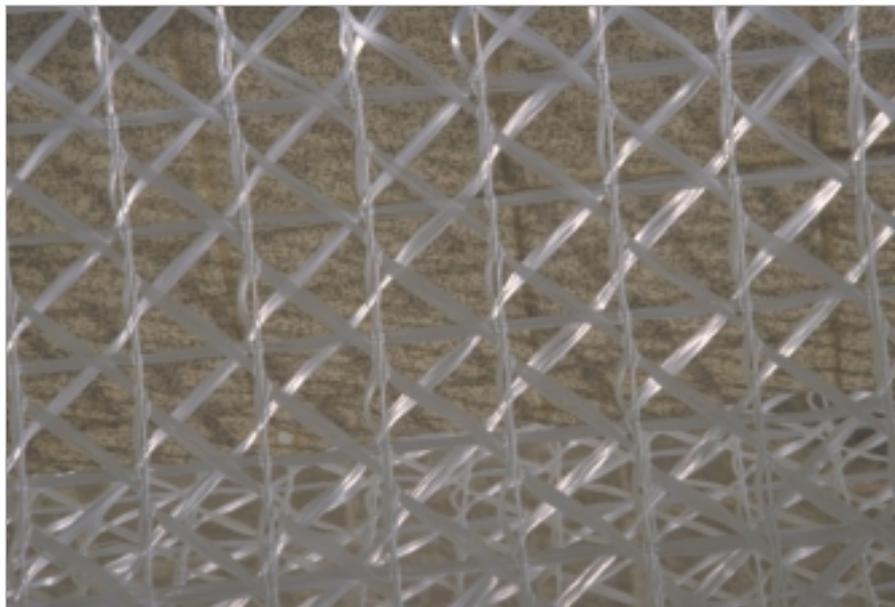


Bild 5: Textile Bewehrung aus Glasfasern (multiaxiales Gelege)

ten mit vorwiegend zweidimensionaler Ausdehnung. Entsprechend wurden plattenförmige Bauteile hergestellt, die als Fassadenelemente eingesetzt wurden. Dank den Möglichkeiten, auch beliebige Geometrien herzustellen, konnten somit auch geformte Fassadenelemente produziert werden, die mit den ebenen Platten eine Abwechslung bilden (**Bild 7**). Mit dieser Technik wurde klar, daß sich sehr dünnwandige Bauteile mit entsprechend großer Tragfähigkeit herstellen lassen. Stabil und dauerhaft in der Nutzung und dennoch leicht im Handling, eröffneten sich bald neue Anwendungsmöglichkeiten. Im Bauprozess von Häuser sind an vielen Stellen leichte, jedoch tragfähige Elemente gefragt. Sie sollen den Bauprozess erleichtern, indem



Bild 6: Formgebendes Textil

Neben der bislang verwendeten Form als Roving und als geschnittene Faser haben sich textile Flächengebilde als interessante Alternative etabliert (**Bild 5**). Die Textiltechnik hat einen entscheidenden Anteil daran, Flächenstrukturen aus Glasfaserrovingen zu erstellen, die positioniert in die Struktur eingelegt, die entscheidende Verstärkung liefern. Über die Form als flächiges Bewehrungsgitter hinaus, lassen sich zudem geschlossene Flächengebilde herstellen, die in Form einer Schalung die äußere Hülle bilden, die mit Matrix



Bild 7: Fassadenstruktur aus geformten GFB-Elementen

Produkte aus GFB

- dünnwandige, flächige Bauteile (z.B. Platten)
- Flächenbauteile mit beliebiger Geometrie (z.B. Fassaden)
- klein bis mittelgroße Bauteile mit geringem Reproduziergrad
- Standardbauteile mit verschiedenen Typen und entsprechender Wiederholung
- Massenprodukte mit hoher Wiederholung

Tabelle 2: Entwicklung der Produkte

gefüllt die endgültige Form entstehen läßt. Zudem bildet die äußere Hülle die oberflächennahe Bewehrung des Produkts (**Bild 6**).

5. Produkte aus GFB (Tabelle 2)

Die Spritztechnik erlaubt die Herstellung von flächigen Bauelemen-

sie in die übrige Konstruktion bleibend zu integrieren sind. Als ein typisches Beispiel ist die integrierte Schalung einer Fensterlaibung zu sehen, die während des Bauprozesses die Schalung ersetzt und zugleich alle detaillierten Abmessungen und Anschlüsse für die Aufnahme des Fensterrahmens aufweist (**Bild 8**). Dabei handelt es sich um ein Bau-

Bild 8:
Kellerfenster-
rahmen aus
GFB



Auch hier wurde nach anfänglicher Produktion nach dem Spritzverfahren nach anderen Fertigungsverfahren gesucht, um die rationelle Fertigung sicherzustellen.

Die Möglichkeiten und die Vorteile des Glasfaserbeton für dünnwandige Bauteile wurden erkannt und von der individuellen Plattenfertigung für die Fassade auf Produkte mit großer Reproduzierbarkeit übertragen. Anfänglich wurden die neuen Produkte noch nach der traditionellen Spritztechnik hergestellt. Bald jedoch wurde bewusst, dass ein kostengünstiges Standard- oder Massenprodukt nur mit einer anderen Technik her-



Bild 9: Fensterbank aus GFB

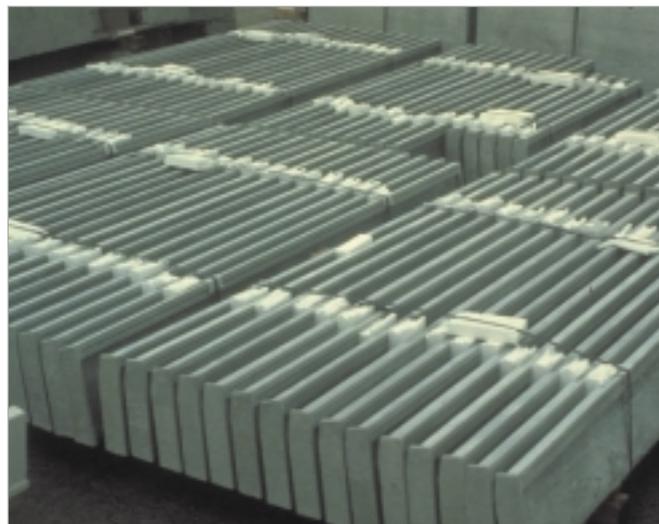


Bild 10: Massenprodukt Fensterbank aus GFB

teil mit entsprechendem Wiederholungsgrad. Die Anfänge in der Herstellung dieses Produkts gehen noch auf die traditionelle Spritztechnik zurück. Um jedoch kostengünstig zu fertigen, mußten bald andere Wege als die Spritztechnik für die Herstellung der gleichbleibenden Form gesucht werden.

Ein Standardprodukt aus GFB ist die Fensterbank, die in großen Stückzahlen herzustellen ist. Als Ersatz für Fensterbänke aus Natur-, Kunst- oder Werkstein und auch in Konkurrenz zu Metall ist die dünne Bankkonstruktion aus GFB eine echte Alternative. In ihrer häufigen Anwendung kommt sie einem Massenprodukt gleich (**Bild 9,10**).

zustellen ist. Damit wurden die Zeichen für die Verwendung des Mixbetons gesetzt. Feinbeton muss sich auch bei direktem Einmischen der Kurzfasern verarbeiten lassen. Die Reduktion des Faseranteils von 5 Vol% auf ca. 2 Vol% ermöglichte die Verarbeitung des Mixbeton, bestehend aus einem Feinbeton und den bereits eingemischten Kurzfasern. Die

Verarbeitung von GFB

- Spritztechnik (getrennte Zuführung von Mörtel und geschnittenen Fasern)
- Plattenproduktion mit gerichtetem Einbau von Rovings, bzw. textiler Bewehrung
- Verarbeitung von Mixbeton (Fasern dem Beton direkt beigemischt) mit und ohne Einbau einer gerichteten Bewehrung in Form von Roving oder Textil durch folgende Techniken:
 - Giessen in eine bereichsweise offene Form mit anschließendem Rütteln
 - Injizieren in eine allseits geschlossene Form
 - Extrudieren über ein Formstück für lineare Elemente
 - Walzen, Strangpressen
 - Injizieren und Auspressen in einer geschlossenen Form
- Giessen bzw. Injizieren in ein formgebendes Textil (oberflächennahes Textil als Bewehrung)

Tabelle 3: Entwicklung bei den Verarbeitungstechniken



Bild 11: Serielle Fertigung von kleinformatischen, dreidimensionalen Bauteilen

mit der Reduktion verbundene Einbusse an Zugwiderstand mußte durch andere Maßnahmen kompensiert werden. Das kann entweder durch eine entsprechende konstruktive Ausbildung der Bauteile erfolgen, oder durch die Verwendung einer textilen Bewehrung.

Die Entwicklung neuer Bauteile bzw. Produkte aus GFB zog zwangsläufig die Bereitstellung neuer Bewehrungstechniken bzw. das vermehrte Interesse an neuen Produktionstechniken mit sich.

6. Verarbeitung von GFB

(Tabelle 3)

Parallel zu der vorgenannten Material- und Produktentwicklung ent-

stand der Zwang zur Verwendung effizienter Fertigungstechniken. Ob dieser Vorgang eigenständig erfolgte oder explizit durch die übrigen Entwicklungsaktivitäten injiziert wurde, ist nicht immer für jede Technik auszumachen. Ausgehend von der mit hohem manuellem Aufwand zu betreibenden Spritztechnik hat man anfänglich versucht, die einzelnen Vorgänge zu automatisieren. Spritzautomaten führten zu teilautomatischer Fertigung. Gleichbleibende Plattenelemente ließen sich in einem kontinuierlichen Prozeß unter zur Hilfenahme von vielerlei Hilfsmitteln, wie gleichbleibendem Matrix- und Fasereintrag und auch durch gezielte Positionierung von Rovings herstellen. Die Folge war jedoch eine aufwendige Maschinerie, die Lohn- und Materialkosten für die GFB-Produkte senkte, andererseits jedoch hohe Investitionskosten verursachte. Das wiederum schloß die Anwendung für die mittelständigen Betriebe gänzlich aus.

Die Wende in der Fertigung wurde mit der Verwendung von Mixbeton vollzogen. Fertiger Beton mit entsprechendem Faseranteil liess sich wie der übliche Beton gießen und verdichten, injizieren und darüber hinaus für Techniken aus anderen Werkstoffbereichen erschließen. Techniken wie Extrudieren, Walzen, Strangpressen und Verdichten unter hohem Druck lassen sich neu auch für den Werkstoff Beton nutzen. Mit dieser Entwicklung wurde die neueste Phase eingeläutet, die nicht nur neue Produkte aus GFB ermöglicht, sondern erstmalig eine industrielle Fertigung in Serie (Bild 11) erlaubt. Damit wird der Schritt vollzogen von der handwerklichen zur industriellen Fertigung. Als wirkungsvolle Verstärkung der spröden Betonmatrix wird nicht mehr alleine die Kurzfa-



Bild 12: Verstärkung durch oberflächennahe Textilbewehrung

ser dienen, sondern eine textile Bewehrung, die sich speziell für das jeweilige Produkte konfektionieren läßt. Innerhalb des Fertigungsprozess im Produkt exakt positioniert, oder oberflächennah eingebaut (Bild 12) verleiht sie dem dünnwandigen Produkt eine ausreichende Steifigkeit zur gesicherten Aufnahme der vorgesehenen Einwirkungen.

7. Entwicklungstendenzen

Die dem traditionellen Baugewerbe angesiedelte Glasfaserbetontechnik hat sich von den Anfängen mit der Nutzung der aufwendigen Spritztechnik gelöst. Neue Bewehrungsstrukturen und neue Fertigungsverfahren ermöglichen einen Schritt in Richtung einer automatischen Produktion. Neue Produkte sind die Folge. Damit vollzieht der Glasfaserbeton neben den Betonfertigteiltbau den Schritt zu einer industriellen Fertigung.

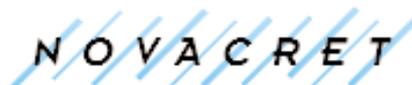
Die vorgängig nur angedeutete Entwicklung der Glasfaserbetontechnik soll einen ersten Überblick vermitteln. Die folgenden Berichte werden sich im Detail mit den einzelnen Materialien, Produkten und Techniken befassen, um einen vertieften Einblick zu vermitteln. ■

Weitere Informationen:
für 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
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
www.novacret.com