

Teil III: Vom Glasfaserbeton zum 5-Stoff-System und dessen industrielle Verarbeitung

Glasfaserbeton (GFB): von der handwerklichen zur industriellen Fertigung

Verfasser:
Thomas Friedrich, Novacret AG

1. Einleitung: Glasfaserbeton – kein zeitgemäßer Begriff

Begrifflich ist der Glasfaserbeton heutzutage ein Anachronismus. Spricht man von der Betonbauweise, so unterscheidet man zwischen dem Werkstoff „Beton“ an sich und dem Werkstoff „Bewehrung“ und dem daraus entstandenen neuen Material, einem Verbundwerkstoff mit den entsprechenden Eigenschaften. Die Unterscheidung in die Ausgangswerkstoffe ist notwendig, um sowohl die Eigenschaften der Einzelkomponenten des Verbundwerkstoffs ausreichend zu beschreiben, als auch deren Zusammenwirken besser beurteilen zu können.

Beton lässt sich mit den heutigen Möglichkeiten zu einem entsprechend leistungsfähigen Werkstoff entwickeln. Um sein Defizit – ausreichend Zugkräfte zu übertragen – auszugleichen, geht er mit der wie auch immer gearteten Bewehrung eine Verbindung zum Verbundwerkstoff ein.

Glasfaserbeton vermischt die Begriffe Beton und Bewehrung, indem die beiden Ausgangsstoffe nur und ausschließlich durch die entsprechende Verarbeitung – das gleichzeitige Spritzen von Mörtel und Fasern in eine Scha-

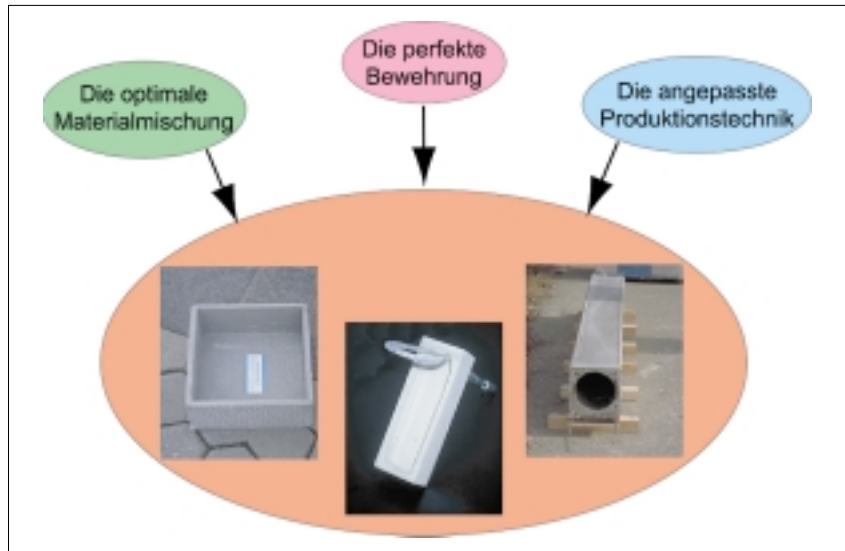


Bild 1: Grundlagen einer erfolgreichen Produktentwicklung

lung – zum Endprodukt, dem Faserverbundwerkstoff gelangen. Dabei ist die Verarbeitung zugleich untrennbar mit dem Werkstoffbegriff verbunden. Denn die Glasfasern wirken in der hohen Konzentration von maximal 5 Vol% als Bewehrung, die jedoch nur dank der vorgenannten Verarbeitungstechnik in die Matrix überhaupt eingebracht werden kann.

Es trägt jedoch zum Verständnis der Verbundwerkstoffe und deren Anwendungsmöglichkeiten sowie deren Verarbeitung bei, wenn man sich der heutigen, auf den jeweiligen Ausgangs-

baustoff bezogenen Betrachtungsweise im Betonbau anschließt. Zur Herstellung eines neuen Produktes bietet sich dann die folgende Vorgehensweise an (Bild 1):

- A) Man optimiert die Matrix im Hinblick auf die gewünschten Eigenschaften an den Frischbeton, den Festbeton und die Verarbeitung.
- B) Man entscheidet sich für die perfekte Bewehrung.
- C) Schlussendlich wählt man eine angepasste Produktionstechnik zur Herstellung des Produktes.

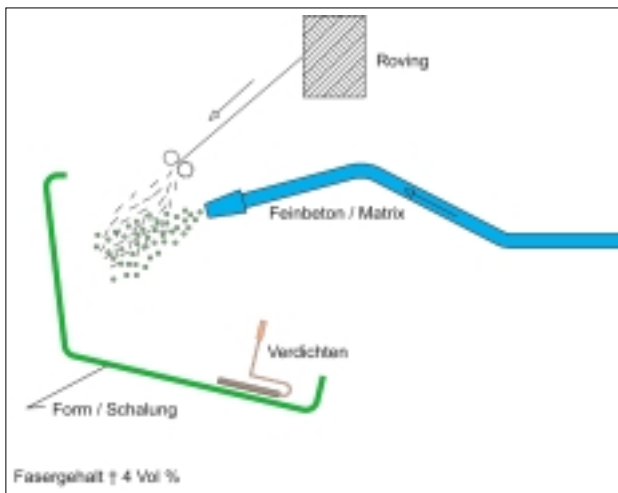


Bild 2: Faserbeton im Spritzverfahren



Bild 3: Spritzroboter für Faserbeton im Spritzverfahren

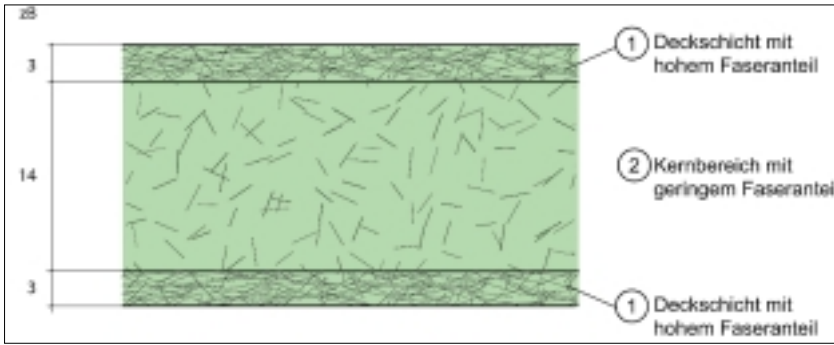


Bild 4: Sandwichquerschnitt aus Faserbeton im Spritzverfahren

Selbstverständlich beeinflussen die einzelnen Schritte sich gegenseitig, und so muss das Optimum auf den gesamten Prozess abgestimmt sein.

2. Faserbeton im Spritzverfahren – die Gehversuche eines leistungsfähigen Werkstoffs

Um den Blick mit voller Konzentration auf die neueren Anwendungen zu richten, lohnt oftmals auch die Betrachtung des Vergangenen und Althergebrachten.

In Anlehnung an die Herstellung von Produkten aus Faserverbundkunststoffen werden beim Glasfaser-spritzbeton alkaliresistente Glasfasern gleichzeitig mit dem Feinbeton in eine ebenflächige Schalungsform gespritzt (Bild 2). Durch den Auftrag in mehreren, dünnen Schichten richten sich die Fasern weitgehend zweidimensional aus und wirken in der hohen Konzentration als Flächenbewehrung innerhalb der dünnwandigen Bauelemente. Die Anwendung bleibt beschränkt auf in der Geometrie komplexe Bauteile (z.B. profilierte Fassadenelemente, architektonische Dekorationselemente). Der Aufwand sowohl für das Material (hoher Anteil an Glasfasern) als auch für die Verarbei-

tung (hoher Lohnanteil) ist entsprechend groß, und somit kostenintensiv.

Um den Aufwand an Lohn und Material zu reduzieren, bot sich die Mechanisierung des Spritzvorgangs mit Hilfe eines Spritzroboters [1] an. In gleichmäßiger Schichtdicke und mit konstanter Qualität lassen sich mit dem Roboter ebene und rotationssymmetrische Flächen auftragen (Bild 3). Zudem lassen sich durch den Aufbau des Querschnitts in mehreren gespritzten Schichten diese in ihrer Zusammensetzung variieren, um Materialkosten einzusparen. Mit dieser Produktionstechnik lassen sich die aus dem Leichtbau bekannten Sandwichquerschnitte realisieren. So lassen sich Querschnitte mit optimalen Festigkeitseigenschaften für Biegebeanspruchungen herstellen. Die beiden in der Zugzone des Querschnitts liegenden Deckschichten werden mit einem hohen Anteil an Glasfasern ausgeführt, während der Kernbereich entweder ohne Glasfasern auskommt, oder die gespritzte Matrix eine geringe Dosierung an Glasfasern bereits enthält (Bild 4). Insbesondere der zuletzt genannte Aspekt ermöglicht die Herstellung von vielfältigen Verbundkonstruktionen mit unterschiedlichen Materialzusammensetzungen auf relativ einfache Art und Weise.

Bedingt durch die flächenmäßige Herstellung dünnwandiger Elemente, ließ sich die dünne Mörtelschicht im „grünen Zustand“ zu profilierten Querschnitten verformen. Nachdem die Platte auf einer stabilen Folie hergestellt war, konnte die dünne Mörtelschicht mitsamt der Folie in einer festen Form profiliert [1] werden. Gewellte Platten, ebenso Trogquerschnitt für z.B. Lüftungskanäle konnten derart hergestellt werden. Dennoch hat die Spritztechnik die Entwicklung neuer Anwendungen, bestehend aus Beton und dessen Verstärkung mit Glasfasern nicht sonderlich weitergeführt.

Es ist heutzutage die Leistungsfähigkeit des Betons und dessen verschiedene Verstärkungsmöglichkeit mit einer mannigfaltigen Bewehrungsart und -form, die die Entwicklung innovativer Produkte und deren Herstellprozess maßgeblich beeinflussen. Somit ist es angezeigt, sich mit den Ausgangsmaterialien direkt zu beschäftigen und deren Kombinierbarkeit in dem Herstellungsprozess optimal zu nutzen.

3. Die optimale Materialmischung

Beton hat sich von einem einfachen Gemisch bestehend aus den drei Komponenten Zement, Zuschlag und Wasser unter Verwendung von Zusatzstoffen und Zusatzmitteln zu einem vielseitigen Werkstoff entwickelt. Entsprechend spricht man heute von einem 5-Stoff-System für den Beton (Bild 5). Während der Stahlbeton seit seiner Erfindung durch den Gärtner Monier im Jahre 1849 eine wichtige, jedoch über die Jahre auch unspektakuläre Rolle spielte, hat mit der Entwicklung des Verflüssigers vor ca. 35 Jahren eine stürmische Entwicklung eingesetzt. Die letz-

Matrix	Zement
	Zugabe Wasser
	Zusatzstoffe - Flugasche, Trass, Silica-Staub - Gesteinsmehl - Pigmente, Kunststoff (-Dispersion) - Fasern (Stahl-, Glas-, Kunststoff-)
	Zusatzmittel
Korngerüst	Zuschlag Gesteinskörnung

Bild 5: Beton als 5-Stoff-System

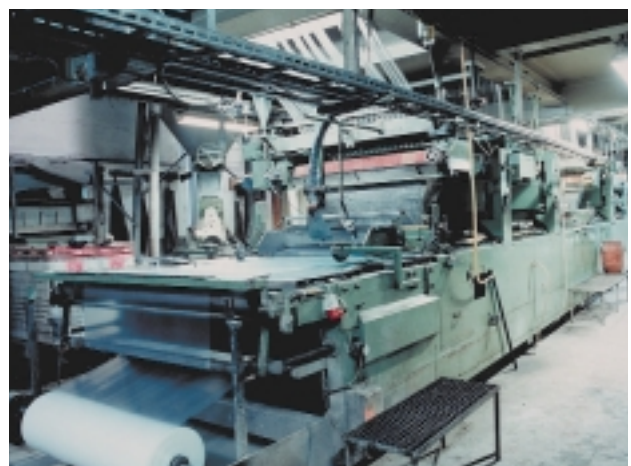


Bild 6: Wellcrete Technologie

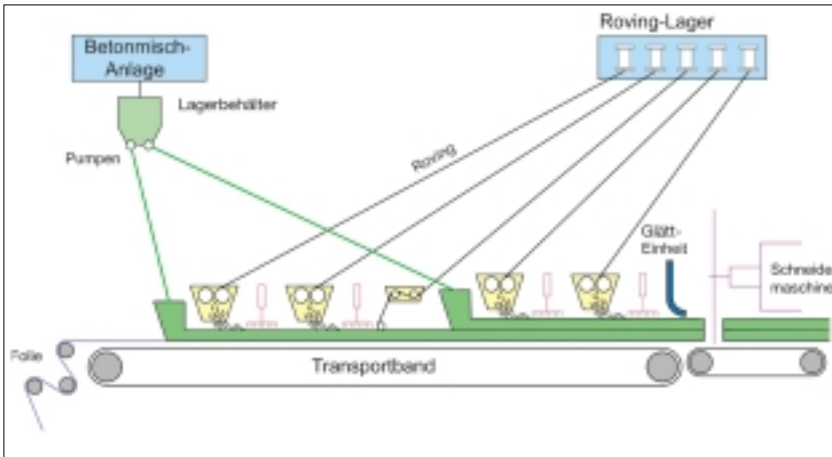


Bild 7: Schemazeichnung der Wellcrete Produktionstechnologie

ten 30 Jahre haben zu großen Fortschritten bei Zement, Zusatzmitteln und Beton geführt [2]. Entsprechend den Anforderungen z.B. an die Dauerhaftigkeit, die Verarbeitbarkeit, den Herstellprozess und die Festigkeit sind die einzelnen der fünf Stoffe optimal auszuwählen und miteinander zu kombinieren. Insbesondere die Zusatzstoffe haben große Bedeutung erlangt. Mit ihrer Hilfe lässt sich insbe-

haben entscheidenen Anteil an der Verarbeitung und damit großen Einfluss auf das Herstellverfahren. Ein Glasfaserbeton nach hergebrachter Sprachregelung ließe sich heutzutage besser klassifizieren mit einem Beton bzw. Mörtel nach dem 5-Stoff-System.

4. Die perfekte Bewehrung

Beton bzw. Mörtel eignet sich hervorragend zur Aufnahme von Druckspannung, weist jedoch bei der Zugspannung ein erhebliches Defizit auf. Demzufolge braucht Beton eine Bewehrung, um die Zugkräfte aufnehmen zu können. Neben der klassischen metallischen Bewehrung hat sich insbesondere für die dünnwandigen Konstruktionen die textile Bewehrung etabliert. Im Gegensatz zum klassischen Glasfaserbeton mit seinen vielen, dreidimensional verteilten Kurzfasern übernehmen gerichtete Endlosfasern in Form von Rovingen oder Gittern bzw. Netzen die Aufgabe der Verstärkung. Deren Wirkung ist weit aus größer als die räumlich verteilten Kurzfasern, da sie innerhalb des Querschnitts an den Stellen der größten Zugbeanspruchung positioniert werden können. Infolge ihrer größeren Wirkung lässt sich insgesamt Bewehrungsmaterial einsparen, und damit die Kosten reduzieren.

Somit ist es nicht verwunderlich, dass neuere Entwicklungen auf die Verstärkung mit einer textilen Bewehrung setzen.

5. Großindustrielle Entwicklung in der Plattenproduktion

Der handwerklichen Verarbeitung des Glasfaserbetons stand lange Zeit, abgesehen von der Mechanisierung durch den Spritzroboter keine Alternative in Form einer industriellen Produktion gegenüber. Dann jedoch wurde um ca. 1987 eine Großtechnologie gestartet, die gegenüber der handwerklichen Fertigung hinsichtlich Investitionen eine andere Größenordnung markierte. Es handelt sich dabei um die von der Heidelberger Zement entwickelte Wellcrete Technologie [3] (Bild 6). Die im vorherigen Abschnitt erwähnten Bewehrungsmöglichkeiten wurden aufgegeben, indem in Richtung der Haupttragbeanspruchung Rovinge innerhalb des Querschnitts eingelegt wurden. Auf einem Transportband (Bild 7) werden kontinuierlich einzelne, dünne Schichten von Matrix aufgetragen. Vororientierte Kurzfasern werden ergänzend mit entsprechenden Hilfsmitteln eingearbeitet. Zwischen die einzelnen Schichten werden Rovinge eingebettet, die zur Aufnahme der in dieser Richtung auftretenden Beanspruchungen dienen (Bild 8). Durch die gezielte Positionierung der Tragbewehrung wurden Materialkosten eingespart. Das mechanisierte Auftragen der Matrix reduzierte die Lohnkosten. Damit war erstmalig ein Anfang gemacht, in großem Stil industrialisiert zu produzieren. Bedingt durch die hohen Investitionskosten ist die Anwendung auf wenige Massenprodukte und auf wenige Hersteller beschränkt. Derzeit werden weitgehend Flach- und Wellplatten in großem Stil hergestellt.

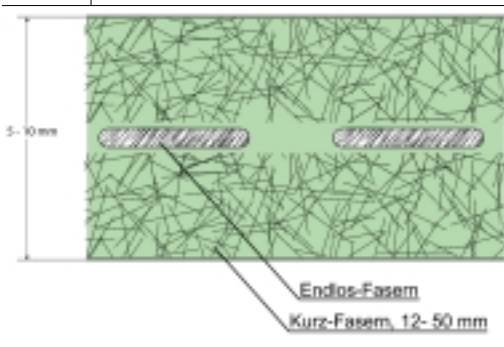


Bild 8: Querschnittsaufbau mit Kurz- und unidirektionalen Langfasern

sondere im „Mikrobereich“ die Matrix beeinflussen und damit die Eigenschaften verbessern. Hat man früher nur das Korngerüst der Zuschläge nach optimierten Sieblinienverläufen (z.B. Fuller-Kurven) aufeinander abgestimmt, ist man heutzutage bestrebt, den Bereich unterhalb des Zementkorndurchmessers von ca. $\phi \leq 20 \mu\text{m}$ optimal zu füllen und damit eine hohe Packungsdichte zu erzielen. Dichte Betone führen zu hohen Festigkeiten und weisen hohe Eigenschaften hinsichtlich der Dauerhaftigkeit auf. Fasern, aus welchem Material und in welcher Form zählen mit zu den Zusatzstoffen und gewährleisten ein duktileres Materialverhalten. Auch die leistungsfähigen Zusatzmittel wie z.B. Verflüssiger, Stabilisierer etc.

Herstelltechnik	Produkt-Geometrie	Erhärtungsvorgang	Verdichten	Verarbeitungs-Konsistenz
Glessen in Schalung	2-D	in Schalung	Rütteln	weich
Injizieren in geschlossene Form	3-D	in Schalung	Injektionsdruck	weich
Extrudieren	1,5-D	ohne Schalung dank Grünstandsfestigkeit	Förderdruck	erdfeucht
Walzen	2-D	ohne Schalung dank Grünstandsfestigkeit	Anpressdruck	erdfeucht
Injizieren und Entwässern	3-D	ohne Schalung dank Grünstandsfestigkeit	Pressendruck	weich

Bild 9: Übersicht über die Herstelltechniken

6. Angepasste Produkttechnik für kleine und mittlere Unternehmen

Weder die handwerkliche Fertigung mit dem Glasfaserstanzverfahren hat eine Zukunft, noch die großindustrielle Produktion à la Wellcrete ist für den Einsatz in den vielen betonverarbeitenden Fertigteilbetrieben geeignet. Um die Möglichkeiten eines mit Glasfasern bewehrten Betons zu nutzen, müssen wir uns zuerst von dem traditionellen Begriff des Glasfaserbetons lösen. Dazu betrachten wir die dank der Zusatzstoffe und Zusatzmittel vielfältigen Variationsmöglichkeiten einer neuzeitlichen Betonmischung (5-Stoff-System). Zudem beziehen wir die Verstärkungsmöglichkeiten mit einer textilen Bewehrung aus alkaliresistenten Glasfasern in die Produktgestaltung mit ein. Dank der gezielten Einstellung der Betonmischung im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit, die Verarbeitbarkeit, die Festigkeit und schlussendlich auf den Herstellprozess gelingt es nun, das für das jeweilige Produkte optimale Zusammenspiel von Matrix, Bewehrung und Produktionstechnik zu ermitteln.



Bild 10: Gießen in zweidimensionale Schalung

Das bedeutet, dass der Beton bzw. der Mörtel i.d.R. bereits mit einer bestimmten Menge an Glasfasern im angemachten Zustand durchsetzt ist. Im klassischen Sprachgebrauch handelt es sich um einen Glasfasermixbeton. Reicht diese Menge an AR-Glasfasern zur Gewährleistung der geforderten Festigkeit des Produkts nicht aus, ist eine zusätzliche Verstärkung mit einer textilen Bewehrung vorzusehen. Hinsichtlich der Herstellung bieten sich mehrere Mög-

lichkeiten an. Die Auswahl wird weitgehend bestimmt durch die Geometrie des zu fertigenden Produkts, sowie den Erhärtungsvorgang. Die Erhärtung des Betons hat einen wichtigen Einfluss auf die Kosten, da beispielsweise bei der Fertigung in Schalung, diese entsprechend oft vorgehalten werden muss, um die gewünschte Menge zu produzieren. Bei der Zusammenstellung der verschiedenen Herstelltechniken (Bild 9) sind die Beschränkungen des jeweiligen Verfahrens durch die zu fertigende Geometrie und den Erhärtungsvorgang wiedergegeben. Informationen über die Konsistenz des Betons und dessen Verdichtung vervollständigen die Auswahlkriterien.

6.1 Giessen in eine Schalung

Analog der gebräuchlichsten Verarbeitungstechnik im üblichen Betonbau ist das Gießen der Matrix in eine Schalung (Bild 10) eine gängige Vorgehensweise. Die nichtrostende, textile Bewehrung kann direkt auf die Schalungsoberfläche verlegt werden. Die oberflächennahe, verbundfeste Einbindung der textilen Fäden in den frischen Mörtel lässt sich je nach Betonkonsistenz und Verdichtungsverfahren sicherstellen.

6.2 Injizieren in eine geschlossene Schalung

Während bei dünnwandigen Querschnitten das Gießen auf eine mehr oder weniger ebene Schalungsfläche mit seitlichen Abschaltungen beschränkt bleibt, lassen sich mit dem Injizieren aufwendige, dreidimensionale Geometrien mit dünnwandigen Abmessungen herstellen (Bild 11). Bei dem Injektionsvorgang ist auf die gleichmäßige Verfüllung der geschlossenen Schalung zu achten. Die durch den Füllvorgang verdrängte Luft muss entweichen können. Die Mischung darf durch den Vorgang nicht entmischt werden. Unter Beachtung dieser Hinweise können auch Materialmischungen mit Leichtzuschlägen injiziert werden. Nachteilig wirkt sich die relativ lange Verweildauer der Matrix bis zur Erhärtung in der Schalung aus. Dieser Vorgang kann durch eine Warmbehandlung oder durch chemische Zusätze beschleunigt werden.

6.3 Extrudieren und Walzen

Verarbeitet man den Beton von Beginn an mit einer steifen Konsistenz, lässt er sich mit einem entsprechend ho-

hen Bearbeitungsdruck mittels einer temporären Schalung formen. Durch die steife Konsistenz besitzt der junge

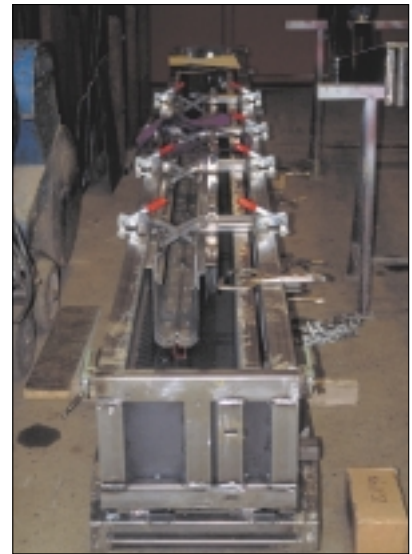


Bild 11: Geschlossene Schalung für Injektion

Beton eine ausreichende Grünstandfestigkeit, dass das geformte Profil nach dem Formgebungsprozess auch ohne weitere Unterstützung erhalten werden kann. Dieses Verfahren wird mit dem üblichen Beton z.B. bei der Stein- und Rohrfertigung eingesetzt. Bei feingliedrigeren Bauteilen unterscheidet man zwischen dem Extrudieren und dem Walzen. Während das Extrudieren für eindimensionale Profile zur Anwendung (Bild 12) kommt, lassen sich beim Walzen auch zweidimensionale Flächen mit einer entsprechenden Oberflächenprofilierung herstellen. Die Herstellung von dreidimensionalen Elementen kann damit jedoch nicht erfolgen.



Bild 12: Profilierter Querschnitt aus Extruder

6.4 Injizieren und Entwässern durch Pressen

Bei diesem Verfahren werden die Vorteile des Injizieren insbesondere das Füllen von dünnwandigen, komplexen Form-

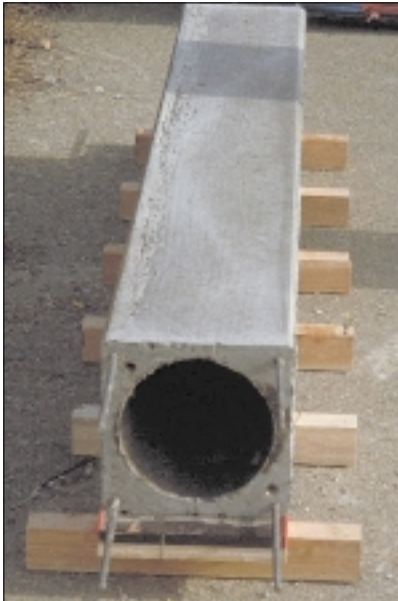


Bild 13: Dreidimensionale Geometrie

teilen kombiniert mit der raschen Entschalung dank der erzielbaren Grünstandsfestigkeit. Im Gegensatz zu den vorgenannten Herstelltechniken mit einem anfänglich steifen Beton, wird die gewünschte Grünstandsfestigkeit erst durch die Entwässerung des flüssigen Beton erzielt. Diese Prozessreihenfolge erlaubt die Befüllung von dreidimensionalen, komplexen Schalungsformen (Bild 13). Durch die rasche Entschalung kann die in den Herstellkosten aufwendige Schalungseinheit jedoch für einen vielfachen Einsatz genutzt werden (Bild 14). Interessant ist dieses Verfahren für die serielle Herstellung von klein bis großformatigen Bauteilen. Massenprodukte (Bild 15) sind damit aus Beton mit geringsten Abmessungen und Wandstärken herstellbar, die bislang nur in Kunststoff oder aus Blech gefertigt werden konnten.

7. Entwicklung zum Hochleistungsbeton

Wie erwähnt, erlauben die heutigen Zusatzstoffe und -mittel eine den Anforderungen angepasste Werkstoffentwick-

lung. Die Folge davon ist auch – jedoch nicht nur – die Festigkeitssteigerung des Betons, in einem Masse, die bislang für nicht möglich gehalten wurde. Haben wir uns im Betonbau erst in den letzten Jahren an den hochfesten Beton mit Druckfestigkeitswerten bis zu 130 N/mm² gewöhnt, spricht man bereits vom ultrahochfesten Beton (UH-PC) mit Festigkeitswerten von 500 bis zu 1.000 N/mm². Fester Bestandteil dieser Entwicklung ist der Faserbeton und die entsprechenden Herstelltechniken, die identisch sind mit den vorgenannten Verfahren und Herstellprozessen (Bild 9) [2]. Entsprechend dieser Auflistung nimmt die Festigkeit zu mit der zum Verfahren gehörenden Verdichtungstechnik. Über das Rüttelverdichten, Walzen, Extrudieren zum Pressen wird die Matrix soweit verdichtet, dass schlussendlich keinerlei „Defekte“ mehr vorhanden sind. Damit eröffnen die vorgestellten Verfahren nicht nur die Möglichkeit zu einer rationellen Produktion, sondern sie erlauben zugleich, Hochleistungsbetone herzustellen.

Damit lassen sich Bauelemente industriell fertigen, die den Anwendungsbereich von Betonfertigteilen erheblich vergrößern. Als futuristisches Beispiel ist der einem Stahlprofile nachemp-



Bild 15: Verwahrkasten aus Beton als Massenprodukt

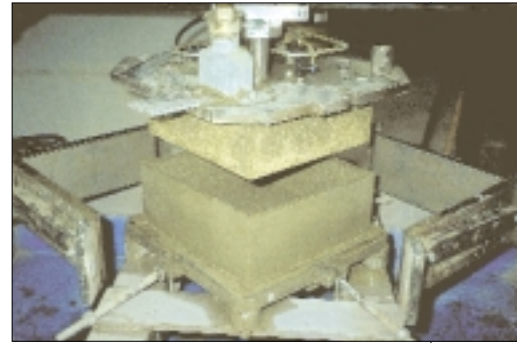


Bild 14: Komplexe Schalungseinheit

fundene Querschnitt aus Beton zu erwähnen [2]. Der mit Glasfaserrovings in der Zugzone bewehrte Querschnitt erreichte im Versuch eine Biegezugfestigkeit von 50 N/mm².

Filigrane und leistungsfähige Strukturen aus Beton rücken damit in den Vordergrund zukünftiger Betrachtungen. Eine Auswahl dieser neuen Möglichkeiten vermitteln einige Beiträge anlässlich dem erst kürzlich stattgefundenen Glasfaserbetonkongress in Dublin [4]. Dünnwandige Maste für die Telekommunikation erlauben dank der Leichtigkeit eine einfache Montage. Leichte Kanalsysteme erleichtern die Montage und damit große Abschnittslängen. Dünnwandige vorfabrizierte Plattenelemente mit einer Stärke von ca. 12 mm wurden für die Herstellung von Getreidesilos mit einem Durchmesser von \varnothing 7.5 m und einer Höhe von 3.60 m verwendet. All dies ist die Bestätigung dafür, dass in Zukunft filigrane jedoch leistungsfähige Strukturen in Beton mit einer textilen Bewehrung Aufgaben übernehmen werden, die bislang dem massiven Stahlbeton vorbehalten waren.

8. Literatur

- [1] Unterlagen vorm. Hasenfratz GmbH, Wolfach-Kirnbach, private Kommunikation mit Hubert Hasenfratz
- [2] M. Schmidt: Quo Vadis, Baustoff? Stand und zukünftige Entwicklungen in der Forschung und Lehre; Bauingenieur Band 76, April 2001
- [3] A. Meyer: Glasfaserbeton als Asbestzementersatz in Kolloquium Glasfaserbeton, ETH-Zürich, 1993, Fachvereinigung Faserbeton e.V.
- [4] GRC 2001 Proceedings of the 12th International Congress of the International Glassfibre Reinforced Concrete Association, Dublin, 14 - 16. May 2001

Weitere Informationen:

NOVACRET

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:

NOVACRET

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