

Textilbewehrter Beton

Neue Prozesstechnologien und Anwendungen

Dr. – Ing. Ulrich Pachow
DuraPact - Haan

1. Glasfaserbeton – Textilbewehrter Beton

Glasfaserbeton - GFB - besteht im Wesentlichen aus einer zementgebundenen Matrix und alkaliwiderstandsfähigen AR-Glasfasern; er kann als anorganisches, nicht brennbares Gegenstück zum glasfaserverstärkten Kunststoff – GFK – betrachtet werden. Es lag nahe, teure Harze durch den kostengünstigen, einfach zu verarbeitenden, überall verfügbaren Zementleim zu ersetzen. Eine vollständige Substitution ist aufgrund anwendungsspezifischer Forderungen an die Produkte nicht möglich.

Die Bewehrung von Bauteilen aus Glasfaserbeton erfolgt über geschnittene AR-Glasfasern mit einer Länge von 12 bis 50 mm, die gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sind, d.h. die Lage und die Orientierung kann im Verbundwerkstoff nicht eindeutig definiert werden. Der Fasergehalt beträgt zwischen 4 und 5 Gew. % und liegt oberhalb des kritischen Fasergehaltes. [1]

Auf den Grundlagen des Glasfaserbetons mit Kurzfasern-Armierung baut die Entwicklung des "Textilbewehrten Betons" auf. Durch gezielte Positionierung der Bewehrungselemente soll der Wirkungsgrad und die Effektivität gegenüber ungerichtet in die Feinbetonmatrix eingelegten Kurzfasern wesentlich gesteigert werden.

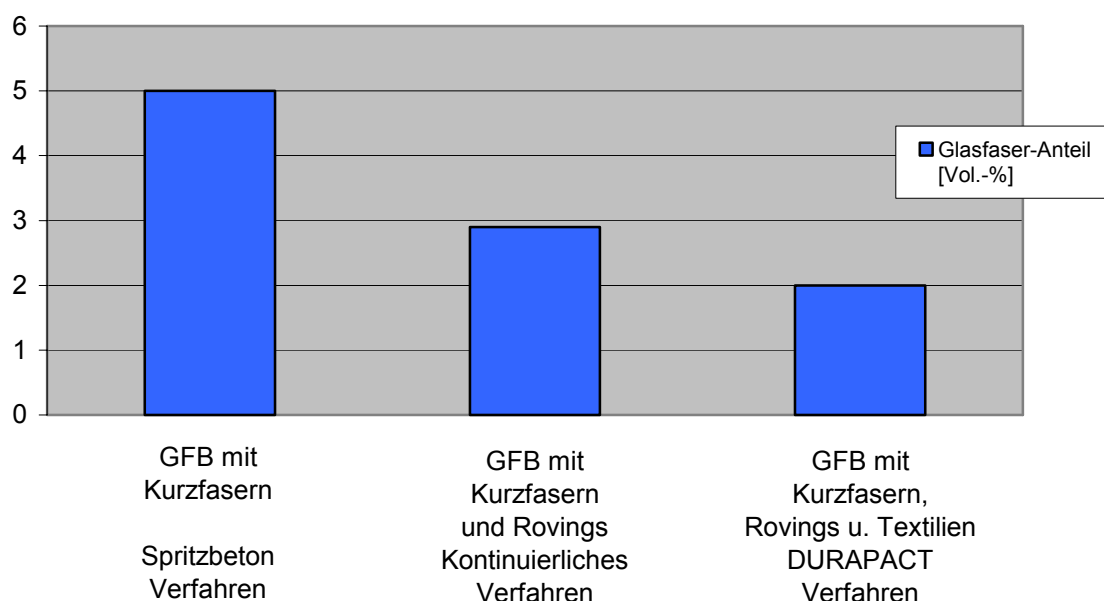


Bild 1: Bewehrungsanteil in Vol-% eines faserverstärkten Feinbetons mit etwa gleicher Biegezugfestigkeit, 15 - 18 N/mm² [2].

2. Textilien für die Bewehrung von Feinbeton

Wie eingangs erwähnt, besteht eine gewisse Analogie zwischen Glasfaserbeton und glasfaserverstärktem Kunststoff. Die für die GFK – Industrie entwickelten textilen Flächenprodukte, Gitter, Matten, Vliese usw. sind mit ähnlichem Aufbau und Struktur – jedoch aus alkaliwiderstandsfähigen AR-Glasfasern - für den Textilbewehrten Beton einsetzbar.

Für den Feinbeton sind allerdings wesentlich offenere Strukturen notwendig, da sie für die gegenüber Harzen relativ groben Zementpartikel und Sand mit der Korngröße bis 2 mm durchlässig sein müssen und eine optimale Einbindung in die zementgebundene Matrix gewährleisten muss.

Inzwischen wurden verschiedene technische Textilien mit unterschiedlichen Bewehrungsprofilen, Flächengewichten und Beschichtungen entwickelt, die für Demonstratoren und auch bereits bei einigen Produkten Anwendung finden.

Hier einige Beispiele:

1. Fasermatte

50 mm lange AR-Glasfasern ohne Vorzugsrichtung sind mit einem wasserlöslichen Binder miteinander verklebt. Die Glasfasermatte kann unmittelbar an der Bauteiloberfläche angeordnet werden, da AR-Glasfasern nicht korrodieren. Sie wird besonders häufig bei Produkten angewandt, die direkt nach der Herstellung einer spezifischen Formgebung unterzogen werden, wie z.B. Wellplatten, die aus Flachplatten durch ein spezielles Ondulierverfahren geformt werden, oder Felsstrukturen oder dekorative Bauelemente.



Bild 2: Applikation mit AR-Glasfasermatten

2. Unidirektionales Gelege

AR-Glasfasern, Carbonfasern und eine Kombination aus beiden werden am Markt angeboten. Die Herstellung erfolgt, indem Rovings in einem exakt definierten Abstand mit einem Hilfsfaden parallel angeordnet werden. Es gibt eine Reihe von Produkten, die unidirektional bewehrt werden, so z.B. Wellplatten, Kabelkanalabdeckungen sowie andere Flachplatten.



Bild 3: Unidirektionales Gelege bei Handfertigung

3. Gittergewebe

Gittergewebe aus E-Glasfasern werden seit vielen Jahren für Wärmedämmverbundsysteme eingesetzt. E-Glas hat in alkalischer Umgebung keine Beständigkeit, korrodiert kurzfristig und wird daher für diese Anwendung mit Kunststoff nachträglich getränkt. Der Kunststoffanteil beträgt etwa 25 % des Gesamtgewichtes. Neben den Kosten, der Unsicherheit, ob die Beschichtung vollständig ist – ein Problem stellen die Knotenpunkte dar – bedeutet der schlechte Verbund zur Matrix einen erheblichen technischen Nachteil.

Gittergewebe aus AR-Glasfasern gibt es inzwischen in verschiedenen Qualitäten als Standardware mit unterschiedlichen Öffnungen, unterschiedlichen Flächengewichten und unterschiedlichen Kett- und Schussfäden.

Prinzipiell sind Gittergewebe in beliebigen Strukturen herstellbar. Wirtschaftlich sehr interessant ist die Bewehrungskombination aus einem Gittergewebe mit Kettfäden geringer Tex-Zahl mit großem Parallelabstand und großem Glasquerschnitt in Schussrichtung sowie den preiswerten ungeschnittenen Rovings in Längsrichtung, Bild 4.



Bild 4: Gittergewebe und Rovings im Produktionsprozess

4. Weitere Entwicklungen

Neue Entwicklungen in der Textiltechnik mit AR-Glasfasern erlauben die Herstellung triachsialer Strukturen oder dreidimensionaler Textilien. Eine bestimmte Profilierung, z.B. Rohr- oder Sandwich- Konstruktion mit Abstandsgeweben, ist dann schon bei der Herstellung der Bewehrung als Halbzeug möglich. Eine industrielle Anwendung ist z.Z. nicht bekannt.

Eine weitere Variante zur Vorkonfektionierung von Bewehrungssystemen kann die gezielte Verstärkung durch Kleben, Nähen oder Sticken darstellen. An derartigen Systemen wird z.Z. geforscht und entwickelt.

3. Herstellverfahren

Die Verfahren zur Produktion von Bauteilen aus Glasfaserbeton und Textilbewehrtem Beton reichen von einer handwerklichen Fertigung für individuelle Einzelanwendungen und Kleinserien bis zu automatisch arbeitenden, industriellen Serienproduktionen. Charakteristisch für das jeweilige Verfahren ist der Vorgang der Zusammenführung und Vermischung von Matrix und Bewehrung zum Verbundwerkstoff.

AR-Glasfasern in Form von Kurzfasern, Rovings oder Textilien lassen sich durch:

- Einmischen
- Einspritzen
- Eindrücken
- Einlegen

in eine zementgebundene Matrix einarbeiten [3].

Im Folgendem werden alle gebräuchlichen Verfahren prinzipiell kurz beschrieben, charakterisiert und Anwendungsbeispiele aufgezeigt.

3.1. Manuelle Verfahren

Die hier beschriebenen Verfahren werden für Einzelanfertigungen oder Kleinserien angewandt

3.1.1 Mixbeton – Verfahren

Beim Mixbeton – Verfahren werden geschnittene AR-Glasfasern in die Matrix eingemischt und die noch fließfähige Glasfaserbetonmischung in die Form gegossen. Die Faserverteilung ist annähernd dreidimensional.

Bewehrung : Kurzfasern 6 – 25 mm

Fasergehalt : bis 2,5 Vol %

Anwendungen : Dickwandige Bauteile

3.1.2 Spritzbeton – Verfahren

Bei diesem Verfahren kommen Rovings (endlose Faserstränge) zur Anwendung. Im Spritzkopf werden sie auf eine gewünschte Länge geschnitten und gemeinsam mit der separat aufbereiteten Matrix in die Form gespritzt. Dadurch ist eine annähernd zweidimensionale Faserverteilung möglich.

Bewehrung : a) Kurzfasern 12 – 50 mm

b) Textilien möglich

Fasergehalt : bis 5 Vol %

Anwendungen : dünnwandige, hochbelastbare Bauteile

3.1.3 Mix / Spritzbeton – Verfahren

Eine Kombination beider Methoden stellt das Mix / Spritzbeton – Verfahren dar. Kurzfasern werden in die Matrix eingemischt und in die Schalung gespritzt. Der Fasergehalt ist mit bis zu 2 Vol - % relativ niedrig. Da der Auftrag lagenweise erfolgt, ist die Faserverteilung zweidimensional. i. d. R. werden hochbeanspruchte Zonen mit Glasfasermatten oder anderen Textilien gezielt bewehrt.

Bewehrung : a) Kurzfasern 6 - 25 mm
b) Textilien

Fasergehalt : bis 2 Vol - % Kurzfasern und Textilien

Anwendungen : von dickwandigen bis hochbelastbaren, dünnwandigen Bauteilen

3.2 Industrielle Fertigungsverfahren

3.2.1 Verfahren für Produkte mit Kurzfasern – Bewehrung

Die stetige technische Weiterentwicklung auf der Materialseite führte bei den Anwendungen auch zu neuen Produkten, die in größeren Serien zu fertigen waren. Damit konnten Lohnkosten gesenkt und vor allem reproduzierbare Qualitäten hergestellt werden, eine Voraussetzung für bauaufsichtliche Zulassungen.

Die Forderung nach Anlagen für eine kontinuierliche Fertigung führte zunächst zur Automation des Spritzverfahrens, indem Spritzköpfe auf einer Traverse befestigt, über das Produktionsband oszillieren und auf diese Weise Produkte lagenweise aufgebaut wurden.

Eine interessante Variante stellt das Asahi–Verfahren dar, gekennzeichnet durch einen Matrixstrahl, der durch Abbürsten einer mit Matrix bedeckten Walze entsteht (Modifikation des Spritzvorgangs), und Kurzfasern, die von einem Breitschneidwerk über der Anlage in den Spritzstrahl fallen. Das so entstandene Gemisch aus Matrix und Bewehrungsfasern wird auf ein Filtertuch aufgetragen und entwässert.

Die Automatisierung der Spritztechnik führte zu höheren Stückzahlen und geringeren Lohnkostenanteilen, so dass erste in Großserie hergestellte Produkte entstanden.

3.2.2 Verfahren für Produkte mit Kurzfasern, Rovings und Textilien

Der Einsatz von Extrudern für die Herstellung faserbewehrter Produkte stellt eine wesentliche Weiterentwicklung der Prozesstechnologie dar.

Die Herstellung ist nicht auf die Verwendung von Kurzfasern beschränkt, ungeschnittene Stränge, sog. Rovings, und ggf. Textilien sind einsetzbar.

Die Verfahren sind:

- unkompliziert,
- ohne starke Staubentwicklung,
- ohne große Lärmbelästigung
- und erlauben die konzentrierte Anordnung von Fasern oder Textilien in starke beanspruchten Querschnitten
- sowie hohe Produktionsgeschwindigkeiten.

3.2.2.1. Wellcrete - Technologie

Nach umfangreichen Vorversuchen wurde vor ca. 15 Jahren die erste großtechnische Wellcrete – Anlage zur kontinuierlichen Herstellung von Platten in Betrieb genommen. Den schematischen Ablauf des Verfahrens zeigt Bild 5 [4].

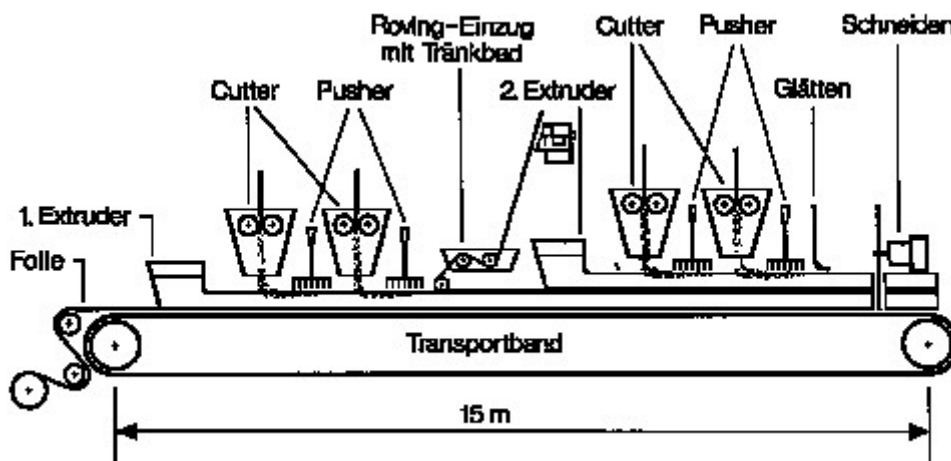


Bild 5: Kontinuierliche Plattenherstellung, Wellcrete - Anlage

Die auf einer solchen Anlage gefertigte Wellplatte ist das erste serienmäßig hergestellte tragende Element aus Glasfaserbeton. Die Wellplatte wurde vom Institut für Bautechnik 1987 allgemein bauaufsichtlich zugelassen [5].

Die Platte wird aus 2 Schichten zusammengefügt. Die Extruder bringen die jeweilige Matrix – Schicht in gewünschter Breite und Dicke auf das Produktionsband auf.

Oberhalb des Bandes schneiden Cutter die Rovings zu Kurzfasern in der gewünschten Länge, die über die Breite verteilt werden. Die exakte Orientierung und Verteilung der Kurzfasern beim Aufstreuen erfolgt durch besonders gestaltete Fallschächte. Anschließend werden mit Spezialwerkzeugen – Pusher – die Kurzfasern benetzt und in die gewünschte Tiefe eingedrückt. Der Vorgang des Aufstreuens und Eindrückens der Kurzfasern wird wiederholt.

Die Kurzfasern stellen die Querbewehrung der Platte. Die Längsbewehrung erfolgt durch das Einführen von Rovings.

3.2.2.2. DURAPACT - Prozesstechnologie

Das Wellcrete - Verfahren war grundsätzlich entstanden, um Substitutionsprodukte für Asbestzement kostengünstig herstellen zu können. Dementsprechend ist es relativ unflexibel und auf die Massenproduktion eines Standardproduktes ausgerichtet.

Die DURAPACT – Prozesstechnologie stellt eine Weiterentwicklung dar mit größerer Flexibilität hinsichtlich der Produkte, der Möglichkeiten zum Einsatz textiler Flächenstrukturen, geringerem Platzbedarf und wesentlich geringere Investitionskosten [6].

Prinzipiell wird beim DURAPACT – Verfahren eine dünne Schicht der mit Kurzfasern zwischen 0,5 und 2,0 Vol - % bewehrten Matrix über einen Extruder in die Schalung direkt oder auf eine Prozessfolie aufgetragen. Die exakt justierbare Austragslippe des Extruders gewährleistet über die gesamte Plattenbreite eine Matrixschicht gleicher Dicke. Auf diese Schicht werden Rovings oder Textilien als Tragbewehrung aufgelegt.

Sie richtet sich nach den Anforderungen und den Dimensionen des Produktes. Die Kurzfasern in der Matrix sollen das Entstehen unbewehrter Schichten verhindern, die sehr rissanfällig sind.

Die Tragbewehrung wird so eingearbeitet, dass sie exakt in den statisch beanspruchten Zonen positioniert ist. Dadurch kann die relativ teure Bewehrung sehr effektiv und Kosten sparend eingesetzt werden.

Flachplatten können auf diese Weise mit einem hohem Bewehrungsgrad in den äußeren Zonen und gering armierter Schicht in der Mitte hergestellt werden.

Die einzelnen Lagen können durch mehrere, über dem Produktionsband positionierte, Extruder zu einem Produkt aufgebaut werden oder an einer Stelle mit einem Mehrkammer-Extruder. Hierbei werden die Rovings und/oder Textilien durch den Extruder geführt und dabei mit der Matrix gut penetriert.

Es gibt inzwischen drei Varianten der DURAPACT – Prozesstechnologie.

a) Modulare Technologie

Die DURAPACT – Fertigungsanlage ist aus einzelnen Modulen aufgebaut, so dass sie beliebig ergänzt oder bei Produktwechsel in kürzester Zeit umgerüstet werden kann. Bei Bedarf können kleinere Anlagen auf einfachste Weise erweitert werden.

Das modulare Konzept ist bei der Entwicklung der DURAPACT – Prozesstechnologie konsequent angewandt worden. Das Basismodul besteht aus einem Produktionsband, einem Aufbaurahmen und einer Wartungsplattform (optional). Es wird immer baugleich geliefert und kann mit den erforderlichen Stationen bestückt werden.

Die Produktionsgeschwindigkeit ist variabel zwischen 2 und 8 lfm pro Minute.

Die DURAPACT Standard-Anlage besteht aus drei Modulen

- Positioniermodul M-02
Positionieren und Einführen der Schalungen in die Fertigungsanlage oder bei Verwendung von Folie, faltenfreies Auflegen der Folie.
- Extrudermodule M-03
Auftragen der Matrix, die mit Kurzfasern modifiziert sein kann, in konstanter Schichtstärke.
- Kompaktiermodul M-04
Einarbeiten der Armierungsfasern in die Matrix und Verdichtung.

Auf der DURAPACT Standard-Anlage kann mit Schalungen oder auf Folie gearbeitet werden. Die DURAPACT – Prozesstechnologie ermöglicht eine konstante Dicke des Produktes und ein exaktes Positionieren und Orientieren der Bewehrungsfasern. Dadurch kann mit einem geringen Faseranteil als Bewehrung eine maximale Wirkung erzielt werden.

Module für zusätzliche Arbeitsschritte, wie

- Glätten- und Kalibrieren
- Querschneiden

usw. sind entwickelt und können je nach Produkt in die Gesamtanlage integriert werden.

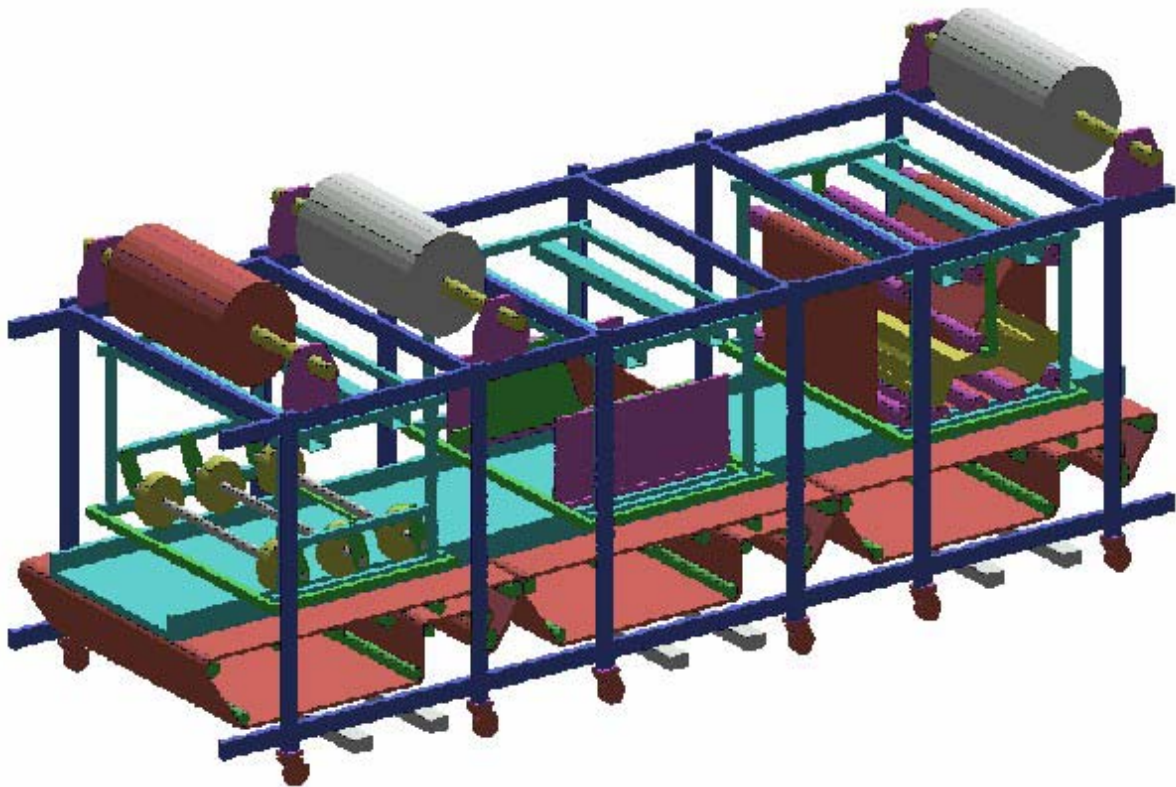


Bild 6: DURAPACT – Anlage

b) Stationäre Technologie

Anlagen, auf denen über lange Zeit ein Standardprodukt in Großserien laufen, werden nicht wie das modulare System in Leichtbauweise sondern sehr robust ausgebildet.

Sie bestehen i. d. R. aus einem durchgehenden Fertigungsband, das mit einem Mehrkammerextruder bestückt ist. Das Produkt wird auf einer Prozessfolie beim Extruderdurchlauf aufgebaut und anschließend auf einer Form, die z.B. aus einem flachen Schalungsblech bestehen kann, abgelegt.



Bild 7: Anlage in den Niederlanden

Das Produkt wird in der Schalung vom Band abgehoben, gestapelt und nachbehandelt. Nach dem Abnehmen des Produktes wird die Schalung gereinigt und dem Produktionsprozess wieder zugeführt.

c) Vertikal Technik

Derzeit arbeiten wir an einem neuen Verfahren, das durch die Fertigung einer Platte über Kopf und den vertikalen Auslauf in eine Schalung gekennzeichnet ist.

Zwei Platten werden jeweils mit der halben Materialstärke der Endplatte, wie bereits erwähnt hergestellt und über eine speziell ausgelegte Kompaktier- und Kalibrierstrecke zusammengefügt. Je nach Bewehrungskonzept können Kurzfasern, Rovings oder beliebige Textilien verwendet werden. Das auf diese Weise gefertigte Produkt hat folgende Eigenschaften:

- zwei "schöne" Ansichtsseiten
- exakte Kalibrierung mit geringsten Toleranzen
- vollkommen symmetrischer Aufbau.

Die Rohplatte wird vertikal oder horizontal in die Schalung geführt, in der sie erhärtet. Es besteht die Möglichkeit, die vertikal nach unten gefahrene Rohplatte in der Distanz zwischen Kalibrierwalzen und Schalung über eine Anordnung von Rollen und Walzen vorzuprofilieren.

Weiter besteht ein großer Vorteil dieser Prozesstechnologie darin, dass sie zwar eine gewisse Höhe beansprucht, aber nur geringen Platzbedarf hat. Die Prozessüberwachung wird durch das Komprimieren der Fertigungsschritte auf einen eng begrenzten Raum erheblich erleichtert.

Prototypen werden bereits auf der Pilotanlage gefertigt.

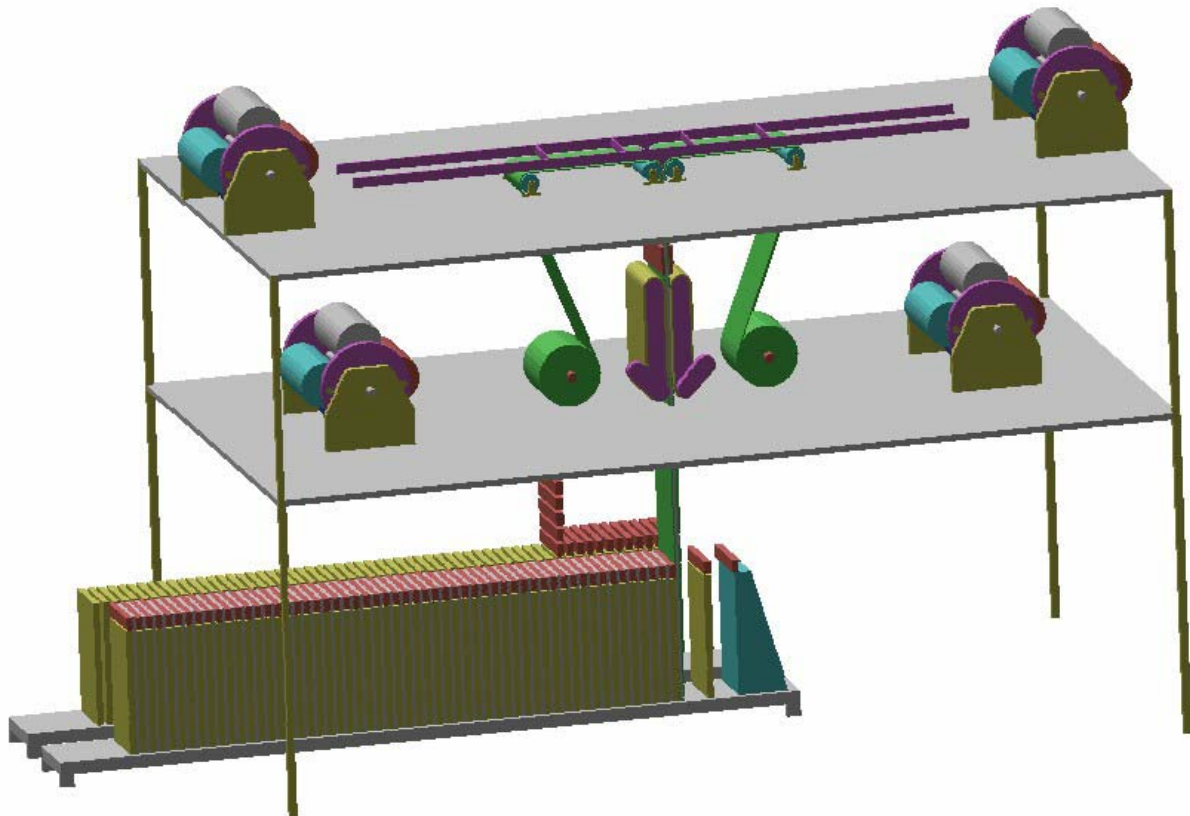


Bild 8: DURAPACT - Vertikal-Anlage

3.3. Injektionsverfahren

Diese Technik wird für Formteile angewandt, die in großer Stückzahl produziert werden. Eine fertige Mischung aus Zement, Bewehrungsfasern, Zusatzmitteln und Wasserüberschuss wird in eine zweiteilige Form injiziert, entwässert, aus der Form gehoben und zum Erhärten in eine Stützschalung abgelegt. Auf diese Weise können auch komplizierte Formteile in einem Produktionszyklus von 2 – 3 min hergestellt werden. Das Einlegen von Textilien ist möglich.

Für dieses Verfahren ist die Verwendung spezieller Matrices notwendig, die für den Pressvorgang geeignet sind. Positiv wirkt sich die Verwendung von Retensionsmitteln und sehr kurzen Fasern aus, die nicht zur Festigkeitsbildung beitragen, sondern den Prozess unterstützen.



Bild 9: Injektionsverfahren

4. Anwendungen

Im Folgendem werden zu jedem hier vorgestellten Fertigungsverfahren ein oder mehrere Produkte gezeigt, die aber nur einen sehr eng begrenzten Ausschnitt der Gesamtpalette der z. Z. hergestellten glasfaserbewehrten Produkte darstellen.



Mixbeton - Verfahren



Spritzbeton - Verfahren



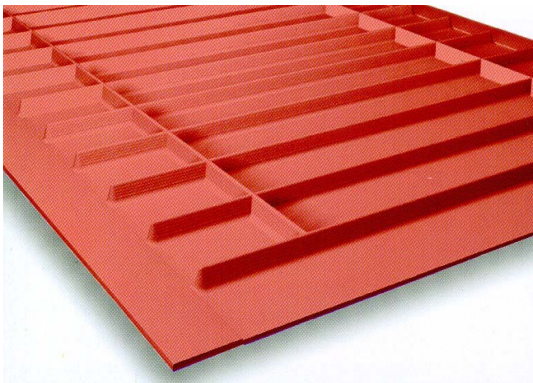
Mix / Spritzbeton - Verfahren



Spritzbeton-Verfahren (autom.)



Wellcrete-Verfahren



DURAPACT-Verfahren

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung einer zementverträglichen, alkaliwiderstandsfähigen AR–Glasfaser war die Voraussetzung für einen neuen Verbundwerkstoff mit dem preiswerten Bindemittel Zement. Zunächst wurden Fertigungsverfahren aus der GFK–Industrie adaptiert, die zwar heute noch angewendet, aber durch neue, individuelle Prozesse ergänzt werden, die durch

- niedrige Lohnkosten
- hohe Kapazitäten
- reproduzierbare Qualitäten
- saubere, umweltfreundliche Prozesse
- Ressourcenschonung
- hohen Nutzungsgrad der Bewehrung

gekennzeichnet sind.

In der Zukunft bleiben die handwerklichen Verfahren weiter für Einzelanfertigungen und Kleinserien bestehen. Großanlagen für einzelne Massenprodukte sind nur begrenzt erforderlich, während kleinere, flexible Fertigungsanlagen in den nächsten Jahren gute Entwicklungschancen besitzen.

Anders sieht es in den Schwellenländern aus, in denen z.B. immer noch Asbestzement–Produkte in großen Mengen hergestellt werden, hier sind mittelfristig Großanlagen notwendig.

Es werden neue Textilien auf den Markt kommen, mit größerer Leistungsfähigkeit, den Anforderungen des Produktes angepasst und vor allem durch die größeren Fertigungsmengen auch zu günstigeren Preisen.

Bei der DURAPACT – Prozesstechnologie ist beispielsweise ein spezielles Webmodul vorstellbar, auf dem inline ein Textil gefertigt wird mit optimalen Armierungseigenschaften für das quasi gleichzeitig gefertigte Produkt.

Große Entwicklungsmöglichkeiten bestehen für die Injektionsverfahren, die in Deutschland bisher sehr selten zur Anwendung kamen. Die Probleme liegen bisher vor allem bei

- Hohen Investitionen
- Extrem hohen Kosten für jedes einzelne Werkzeug, entsprechende Stückzahlen erforderlich machen
- Geringerer Qualität
- Prozesswasser

Die Produktentwicklung wird auf allen Gebieten voranschreiten, besonders ist jedoch die "Fassade" hervorzuheben, für die Textilbewehrter Beton die besten Voraussetzungen mitbringt. Die früher bestandenen Hemmnisse und Hürden durch die deutschen Genehmigungsverfahren können überwunden werden, da bereits eine Reihe von Einzelgenehmigungen zur Verfügung stehen und allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erteilt wurden.

Literatur

- [1] Fachvereinigung Faserbeton Glasfaserbeton - Konstruieren und Bemessen (94)
- [2] Meyer, A. Glasfaserbeton - Ein Baustoff mit vielen Chancen
BFT 3/02
- [3] Engberts, E.
Pachow, U. Industriell, flexibel und seit Jahren bewährt...
Tagungsband FVF Dresden, 20.11.01
- [4] Pachow, U. AR-Glasfasern für zementgebundene Baustoffe
Sommerkolloquium Inst. für Gesteinshüttenkunde,
RWTH Aachen 1998
- [5] Pachow, U. Wellplatten aus Glasfaserbeton, Baumarkt 4/92
- [6] Deutsches Institut für Bautechnik Zulassung Nr. 4.5-69, Glasfaserbeton-Wellplatten
- [7] Pachow, U. Durapact Prozesstechnologie
BDB-Report 2/VI 1998
- [8] Hegger, J.
Molter, M. Textilbewehrter Beton - Tragverhalten und
Anwendung; Österreichische Vereinigung für
Beton- und Bautechnik, Schriftenreihe Heft 47/01