

Textile Verstärkungsstrukturen – Übersicht der Forschungsaktivitäten im Rahmen des SFB 532

T. Gries¹, S. Janetzko¹, P. Kravaev¹

Zusammenfassung: Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurden im Rahmen der Teilprojekte B1 und B2 des SFB 532 alkalibeständige Glas- und Carbonrovings eingesetzt, die zu offenmaschigen 2D-Textilien verarbeitet wurden. Untersuchungen des Verbund- und des Tragverhaltens der Verstärkungsstrukturen in Pull-Out- und Dehnkörperversuchen haben gezeigt, dass das Potential der Verstärkungsfasern aufgrund einer unvollständiger Durchtränkung der Bewehrung nicht vollständig ausgeschöpft werden kann. Auch Defizite bei der Produktionstechnik wurden erkannt und für zukünftige Entwicklungen analysiert.

Um das Potential der verwendeten Verstärkungsfaser vollständiger auszuschöpfen, wurden innovative Garnkonstruktionen, die sich positiv auf den inneren und/oder den äußeren Verbund auswirken, entwickelt und erprobt. Anhand von Versuchsreihen auf der Textilebene wurden unterschiedliche Textilparameter, wie Art der Bindung, Gittergröße und Wirkfadenspannung, identifiziert, die unmittelbar die Tragfähigkeit der Verbundbauteile beeinflussen. Für die gängigen Produktionstechniken Laminieren, Gießen, Spritzen, Schleudern und Extrudieren wurden entsprechende Bewehrungskonstruktionen abgeleitet, die den Anforderungen des jeweiligen Prozess angepasst wurden.

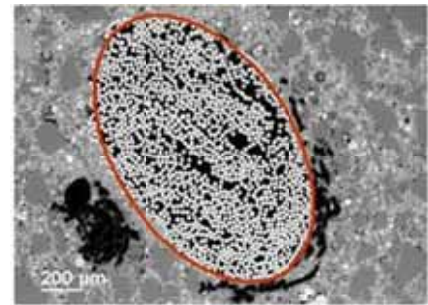
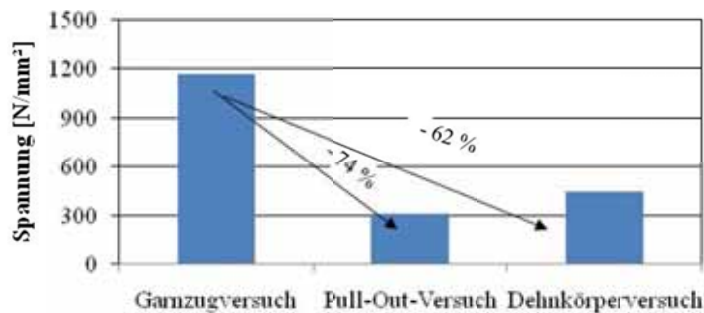
Ein weiterer Punkt der Forschungsaktivitäten stellte die Entwicklung der Maschinenteknik zur Herstellung von Verstärkungstextilien dar. Am Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University wurde in Zusammenarbeit mit Industriepartnern ein Maschinenkonzept entwickelt und umgesetzt, das die Herstellung von 3D-Abstandsgewirken mit einer freien Gestaltung der Deckflächen mit marktrelevanten Produktionsgeschwindigkeiten ermöglicht. Zur gezielten Einstellung der Wirkfadenspannung wurde ein Regelungssystem konzipiert und technisch umgesetzt, mit dem eine reproduzierbare Fertigung von textilen Verstärkungsstrukturen möglich wird.

¹ Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University

1 Einleitung und Problemstellung

Zur Herstellung textiler Verstärkungsstrukturen für Betonanwendungen werden alkalibeständige Glas- und Carbonrovings eingesetzt, die zu verschiedenen offenmaschigen 2D-Textilien verarbeitet werden. Untersuchungen des Verbund- und des Tragverhaltens der Verstärkungsstrukturen in Pull-Out- und Dehnkörperversuchen zeigten jedoch, dass das Potential der Verstärkungsfasern nicht vollständig ausgeschöpft wird. Wie in Bild 1 a zu erkennen ist, beträgt die Tragfähigkeit eines 2400 tex AR-Glasrovings in Pull-Out- und in Dehnkörperversuchen lediglich 26 % bzw. 38 % der Garnzugfestigkeit. Grund dafür ist die unvollständige Durchtränkung der Bewehrung mit der Betonmatrix (siehe Bild 1 b). [1][2]

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit der textilbewehrten Betonbauteile wurden unterschiedliche Strategien erstellt. Diese beruhen auf der Herstellung komplexerer Bewehrungssysteme, deren Ziel die Verbesserung der Verbundeigenschaften innerhalb des Garnes (innerer Verbund) oder zwischen Garn und Beton (äußerer Verbund) ist. [2][3][4][5][6]



a) Unvollständige Ausschöpfung des Bewehrungspotentials

b) AR-Glasroving im Beton

Bild 1: Verbundverhalten eines 2400 tex AR-Glasrovings

2 Entwicklung komplexer textiler Verstärkungsstrukturen

Die Entwicklung und Herstellung der Bewehrungskonstruktion erfolgt in Abhängigkeit von den strukturmechanischen Anforderungen an das Bauteil und der Bauteilgeometrie sowie unter Berücksichtigung von technologischen und wirtschaftlichen Aspekten. Sollte bei der Auslegung der Verbundbauteile die mechanische Performance im Vordergrund stehen, werden überwiegend beschichtete biegesteife Bewehrungstextilien aus Carbon- oder AR-Glasfasern eingesetzt. Zur Herstellung von komplexen einfach und mehrfach gekrümmten Bauteilen werden trockene biegeschlauffe Bewehrungssysteme eingesetzt, die aufgrund ihres textilen Charakters problemlos umzuformen sind. [7][8][9][10]

Die Prozesskette zur Herstellung von komplexen textilen Bewehrungssystemen für Betonanwendungen wird in Bild 2 schematisch dargestellt. Der Prozess beginnt mit der Herstellung der Hochleistungsfilamentgarne. Je nach Anforderungsprofil der jeweiligen Anwendung

schließt sich danach der Schritt der Garnweiterverarbeitung an. Hier werden neue Garnkonstruktionen erzeugt, die die Faser-Matrix-Anbindung positiv beeinflussen. Die Rovings bzw. die neuen Garnstrukturen werden zu 2D- oder 3D-Verstärkungstextilien verarbeitet. Der textilen Fertigung schließt sich optional ein Beschichtungsprozess an. Die trockenen oder beschichteten Textilien werden konfektioniert, wenn nötig im Form gebracht und anschließend zu Verbundbauteilen verarbeitet.

Die vorliegende Veröffentlichung gibt einen Überblick der Forschungsaktivitäten in den Bereichen der Garnweiterverarbeitung und Textilherstellung. Weiterhin wird ein Teil der erzielten Ergebnisse zusammenfassend dargestellt und kurz erläutert.

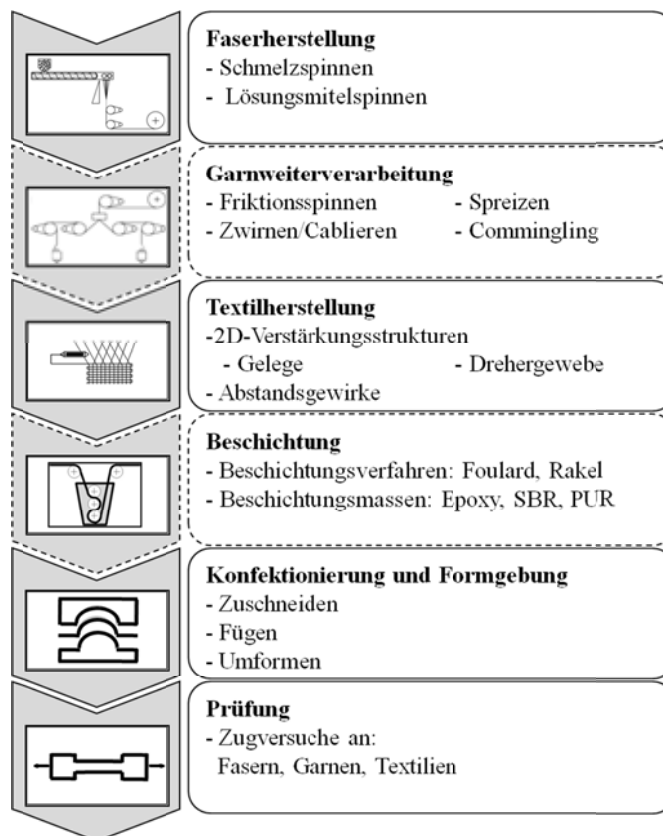



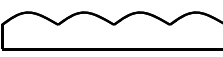





Bild 2: Prozesskette zur Herstellung komplexer textiler Bewehrungsstrukturen

2.1 Garnweiterverarbeitung

Um das Potential der eingesetzten Verstärkungsfasern vollständiger auszunutzen, werden die Ausgangsmaterialien, die Rovings, als Vorlagematerial bei der Entwicklung neuartiger Garnstrukturen verwendet. Dabei werden durch eine Veränderung der Garngeometrie und durch die Kombination unterschiedlicher Textilfasern die Verbundeigenschaften innerhalb des Garnes (innerer Verbund) oder zwischen Garn und Beton (äußerer Verbund) gezielt eingestellt.

Eine Übersicht unterschiedlicher Garnstrukturen, die für die Bewehrung von Betonbauteilen eingesetzt wurden, zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht der entwickelten Garnstrukturen [2]

	Abbildung Garnstruktur	Bezeichnung der Garne	Bez. des Verfahrens	Erwartete Wirkungsweise
Kompakte Garne		Friktionsspinn-Hybridgarn	Friktionsspinnen	Verbesserung des äußeren Verbundes durch Erzeugung einer rauen Oberfläche; Verbesserung des inneren Verbundes durch Reibung; Schutz des Glasrovings bei der Weiterverarbeitung
		Profiliertes Garn	Profilieren	Äußere Profilierung erzeugt mechanischen Verbund
		Gedrehte Multifilamentgarne	Zwirnen	Verbesserung des inneren Verbundes durch erhöhte Reibung zwischen den Filamenten
		Beschichtetes Garn	Maschinelle Tränkung	Verbesserung des inneren und äußeren Verbundes durch die Tränkung der Bewehrung
Offene Garne		Ein- und zweistufig cablierten Garne	Cablieren	Äußere Verbundverbesserung durch Rippenstruktur, Verbesserung des inneren Verbundes durch Reibung
		Comminglinggarne	Commingling	Verbesserung des äußeren Verbundes durch das Öffnen und das Schaffen von freien Räumen im Rovinginneren
		Gespreizte Garne	Spreizen	Verbesserung des äußeren Verbundes durch Öffnen des Vorlagematerials und Erhöhung des Abstands zwischen den Filamenten

Inwieweit die erwartete Wirkungsweise durch die Untersuchungen der Garn- und Verbundeigenschaften nachgewiesen werden konnte, wird anhand der Bild 3 bis Bild 5 verdeutlicht.

Wie aus Bild 3 ersichtlich wird, weisen die Garnkonstruktionen mit Ausnahme der gezwirnten, der commingelten und der gespreizten Garne eine deutlich höhere Garnzugfestigkeit im Vergleich zu dem Ausgangsrovings auf. Dies ist auf die höhere Faser-Faser-Reibung infolge der Kompaktierung bei der Garnweiterverarbeitung zurückzuführen.

Betrachtet man die Ergebnisse der doppelseitigen Pull-Out-Versuchen stellt man fest, dass lediglich die beschichteten und die offenen Garnkonstruktionen (gespreizte und die Comminglinggarne) zu einer signifikanten Verbesserung der Faser-Matrix-Anbindung um ca. 200 % führten. Ähnliche Ergebnisse liefern die Dehnkörperversuche an Textilien, die aus den Garnkonstruktionen erzeugt werden. Mit den offenen Garnstrukturen wird eine Erhöhung der Tragfähigkeit von bis zu 80 % erzielt. [2][3][4][5]

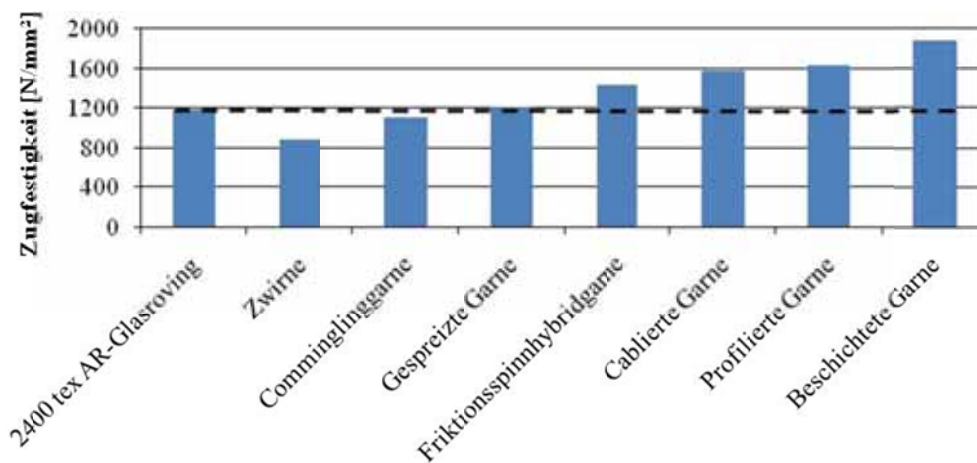


Bild 3: Zugfestigkeit der Garnkonstruktionen

Eine noch bessere Performance von ca. 300 % lieferten die beschichteten Garne. Alle diese Strukturen weisen ein spezifisches Verbundverhalten auf, das in [2] bis [8] ausführlich beschrieben wird.

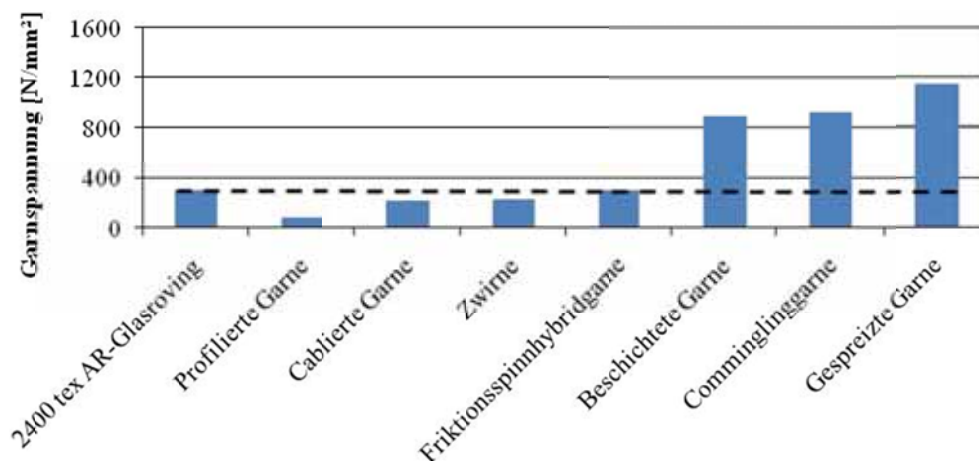


Bild 4: Ergebnisse der Pull-Out-Versuche

Ein Vergleich der Eigenschaften dieser komplexeren Garnstrukturen und ihrer Verbundwirkung mit diesen Ausgangsmaterialien zeigt Bild 5. Wie daraus ersichtlich wird, weisen lediglich die gespreizten, die commingelten und die beschichteten Garne eine höhere Tragfähigkeit im Beton auf als das Ausgangsroving.

Welche dieser Strukturen als Bewehrung eingesetzt werden soll, hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Insbesondere die Bauteileigenschaften und das anzuwendende Produktionsverfahren spielen hierbei eine wichtige Rolle. Sollte bei der Auslegung der Verbundbauteile die mechanische Performance im Vordergrund stehen, werden sich hierfür die beschichtete Bewehrungstextilien aus Carbon- oder AR-Glasfasern (siehe Tabelle 2) empfehlen.

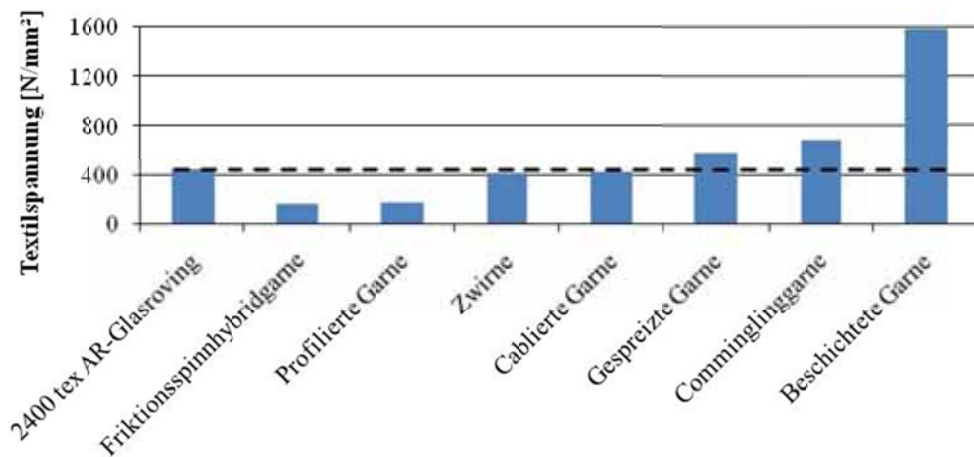

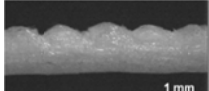
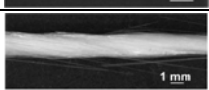


Bild 5: Ergebnisse der Dehnkörperversuche

Wenn Design und filigrane Bauweise im Vordergrund gestellt werden, bietet sich hierfür der Einsatz von Bewehrungstextilien an, die auf Commingling- und gespreizten Garnkonstruktionen basiert sind.

Tabelle 2: Bewertung der Garneigenschaften und des Verbundverhaltens

Garnstruktur		Garnzugfestigkeit	Innerer Verbund	Äußerer Verbund	Gesamt Performance
	Friktionsspinnhybridgarn	-	-	+	-
	Profiliertes Garn	+	+	o	-
	Zwirne	--	+	-	-
	Beschichtetes Garn	++	++	o	++
	Ein- und zweistufig cablierte Garne	++	++	-	-/o
	Comminglinggarne	o	-	++	++
	Gespreizte Garne	o	-	++	+

„--“: deutliche Verschlechterung
 „o“: keine Änderung zum Referenzmaterial
 „+“: positiver Einfluss

„-“: negativer Einfluss
 „++“: deutliche Verbesserung

2.2 Herstellung textiler Bewehrungen

Von Beginn der Forschungstätigkeit im Teilprojekt B2 an, wurden sowohl zweidimensionale als auch komplexe dreidimensionale Textilstrukturen und deren Fertigungsverfahren zur Herstellung von Betonbewehrungen untersucht. Fokus der Entwicklungen von zweidimensionalen Textilstrukturen war die Analyse der unterschiedlichen Einflüsse der Garn- und Textilkonstruktion auf die Verbundtragfähigkeit. Dadurch können schließlich biaxiale Bewehrungsstrukturen hoher Tragfähigkeit für unterschiedliche Bauteilformen und Produktionsverfahren hergestellt werden. Dreidimensionale Textilstrukturen werden mit dem Ziel weiterentwickelt, komplexe endkonturnahe Bewehrungsstrukturen zur Verfügung zu stellen. Besondere Herausforderung ist dabei die Entwicklung einer Maschinentechologie, die eine wirtschaftliche Produktion dreidimensionaler Textilien ermöglicht.

2.2.1 Zweidimensionale Textilien mit hoher Tragfähigkeit

Zu Beginn konzentrieren sich die Untersuchungen auf multiaxiale Bewehrungsstrukturen mit drei Bewehrungsrichtungen. Dabei kommen vorwiegend relativ leichte Rovings mit etwa 600 tex zum Einsatz, womit leichten Textilien mit einem Flächengewicht um 100 g/m² hergestellt werden können. Die Entwicklungen konzentrieren sich auf die Weiterentwicklung der Rovingzuführung vom Gatter und der Textilführung an der Wirkstelle [9]. Aufgrund des vorwiegend zweiachsen Belastungszustands werden zunehmend Textilien hergestellt, die nur noch zwei Bewehrungsrichtungen aufweisen. Aufgrund der Abstimmung der Bindungstechnik auf die Verwendung schwerer Garntiter bis 4800 tex können mit der Multiaxialwirktechnologie nun schwere Bewehrungstextilien über 500 g/m² hergestellt werden, die dennoch eine offenmaschige Gitterstruktur aufweisen [10]. Aufgrund des überwiegenden Bedarfs an Bewehrungen mit zwei Bewehrungsrichtungen wird die Herstellung der Textilien auf biaxiale Maschinentechologie mit maschengerechter Abbindung umgestellt. Deshalb werden die Rovings nicht mehr von den Wirknadeln durchstoßen. Zudem kann die Gitterstruktur der Bewehrungen exakt eingestellt werden. Der Einfluss der Bindungstechnik (Bindungstyp und Maschenreihenabstand) auf die Verbundtragfähigkeit wird grundlegend analysiert.

Um die vielfältigen Möglichkeiten der Wirkereitechnik zur Herstellung von Bewehrungsstrukturen auf ein überschaubares und für Textilbetonanwendungen ausreichendes Maß einzuschränken, wurde von Roye [11] ein fünf Punkte umfassendes Beschreibungsschema entwickelt, das alle grundlegenden Parameter zur Definition eines zweidimensionalen Bewehrungstextils enthält. Die Parameter wurden ausgehend von den Anforderungen an eine Textilbetonbewehrung sowie der Herstellungstechnologie für maschengerechte, biaxiale Kettengewirke abgeleitet. Um ein Textil ausreichend zu beschreiben, müssen alle fünf Kriterien ausreichend definiert werden:

- Kriterium I: Faserstoff und Feinheit
- Kriterium II: Bindungstyp, Wirkfaden
- Kriterium III: Teilung und Einzug in 0°-Richtung
- Kriterium IV: Schussrapport und Schussdichte
- Kriterium V: Maschenreihenabstand

Sind alle fünf Parameter angegeben, lassen sich weitere für die Auslegung und Herstellung von Textilbetonbauteilen notwendige Daten bestimmen. Der wirksame Bewehrungsquerschnitt pro Meter oder das Flächengewicht können beispielsweise aus den Kriterien III und IV in Kombination mit Kriterium I für die jeweilige Bewehrungsrichtung berechnet werden.

Biaxiale kettengewirkte Bewehrungsstrukturen werden mittels Variation der zuvor beschriebenen Kriterien den Anforderungen des Textilbetonbauteils und der Herstellungstechnologie angepasst. Zur Weiterverarbeitung tragfähigkeitssteigernder, geöffneter Garnstrukturen aus dem Teilprojekt B1 eignen sich besonders biaxiale Textilien mit Trikotbindung (Bild 6). Diese Textilstruktur erlaubt die Fixierung der gespreizten bzw. commingelten Rovings, ohne eine erneute Kompaktierung der Filamente zu bewirken.

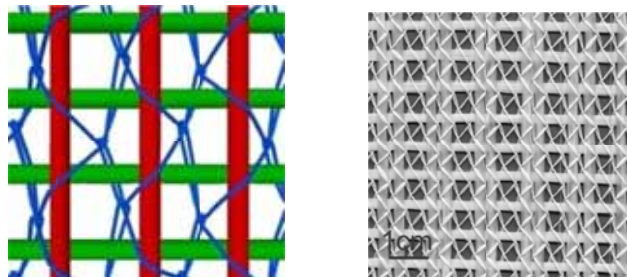
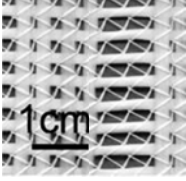
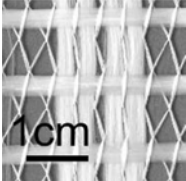


Bild 6: Biaxiale kettengewirkte Bewehrungsstrukturen mit Trikotbindung

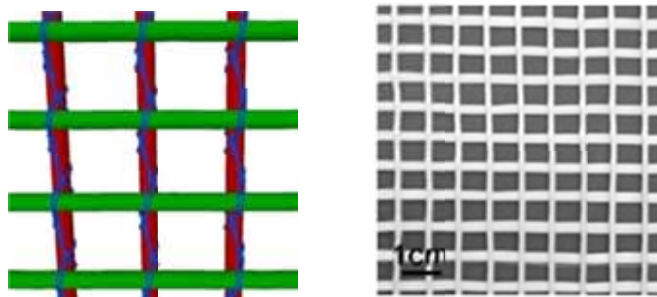
Beispielhaft sind zwei Strukturen mit modifizierter, geöffneter Garnstruktur in Tabelle 3 dargestellt. Diese Textilien lassen sich besonders effizient zur Bewehrung mehrdimensional gekrümmter Bauteile verwenden, die im Laminier- oder Spritzverfahren hergestellt werden.

Sollen jedoch vielmehr Bauteile im Gießverfahren hergestellt werden, muss die Bewehrungsstruktur eine gitterartige Struktur aufweisen, die ein fließfähig eingestellter Feinbeton durchdringen kann. Insbesondere bei Verwendung einer Fransebindung mit versetztem Stehfaden (Bild 7) kann das Gitterraster des Textils auf die Fließfähigkeit und das Größtkorn der Betonmatrix eingestellt werden. Bei der Entwicklung der Garnstrukturen konnte gezeigt werden, dass ein hoher innerer Verbund nicht zu einer Verbesserung des Verbundtragverhaltens der Bewehrungen im Bauteil führt. Da der Wirkfaden bei der Fransebindung den Bewehrungsroving zwangsläufig komprimiert, wurde der Einfluss von Maschenreihenabstand und Wirkfadenspannung in [1] und [12] systematisch analysiert.

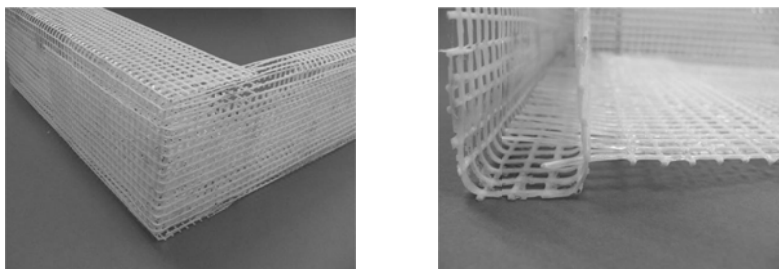
Tabelle 3: Textilien mit modifizierten Bewehrungsgarnen

Textil	0° [Titer, Material]	90° [Titer, Material]	Einzug	Maschenlänge [mm]	Bindung
	2400 tex, AR-Glas, gespreizt	1200 tex, AR-Glas	2v11 E3	2,1	Trikot, geschlossen
	2400 tex, AR-Glas/PVA-Commingling	1200 tex, AR-Glas	2v11 E3	6,3	Trikot, geschlossen

Sowohl eine Erhöhung der Wirkfadenspannung als auch eine Verringerung des Maschenreihenabstands bewirken eine höhere Komprimierung und verringern damit die Betonpenetration in das Innere der Rovings.

**Bild 7: Biaxiale kettengewirkte Bewehrungsstrukturen mit Fransebindung**

Durch die Verwendung einer polymeren Phase als Beschichtungsmaterial für diese gitterartige Textilstruktur kann der nachteilige Effekt der Rovingkompaktierung aufgehoben werden und es lassen sich Bauteile mit sehr hoher Tragfähigkeit herstellen. Insbesondere die Verwendung von leistungsfähigen Prepreg-Harzrezepturen ermöglicht die Weiterverarbeitung flacher zweidimensionaler Bewehrungen zu komplexen Formbewehrungskörben (Bild 8).

**Bild 8: Formbewehrungskorb**

2.2.2 Endkonturnahe dreidimensionale Textilien

Bei dreidimensionalen Textilien wurden zwei grundlegende Strukturtypen untersucht: multi-axiale Schlauchtextilien und biaxial bewehrte Abstandsgewirke. Gegenstand der Untersuchungen bei multiaxialen Rundgewirken waren sowohl die Integration gestreckter Bewehrungsfadenlagen unterschiedlicher Orientierung [9] als auch die Modifikation der Bindung zur Erzeugung biaxialer Schlauchstrukturen mit geringem Wirkfadenanteil [9]. Weiterhin wurde die Maschinenteknologie zur Weiterverarbeitung neuartiger Garnstrukturen zu ultraschallgeschweißten schlauchförmigen Bewehrungen entwickelt und untersucht [10]. Letztlich konnten sich diese Bewehrungsstrukturen aufgrund der wenig flexiblen Produktionstechnik, nur ein möglicher Schlauchdurchmesser an einer Maschine, nicht durchsetzen.

Ein hoher Komplexitätsgrad dreidimensionaler Bewehrungsstrukturen bei flexibler Produktionstechnik kann durch die Verwendung von dreidimensionalen Abstandskettengewirken realisiert werden. Daher wurden für Betonbewehrungen spezielle Abstandskonturenwirkmaschinen sowie neue endkonturnahe Bewehrungsstrukturen mit zwei biaxial verstärkten Deckflächen entwickelt [9], [10]. Damit lassen sich beide Deckflächenstrukturen unabhängig voneinander gestalten und durch die spezielle Musterung der Polfadenstruktur bauteilgerecht verbinden.

Für den Anwendungsbereich der Betonbauteile wurden drei grundlegende Textilstrukturen abgeleitet [11]: 3D-Sandwich mit beidseitig dichten Deckflächen, 3D-Waffel mit einseitig konturierter Deckfläche sowie 3D-Gitter mit beidseitig durchbrochenen Deckflächen. Dafür wurde das Maschinenkonzept der am ITA vorhandenen Maschine bezüglich Textildimensionen und Produktivität auf industrielle Anforderungen erweitert und gemeinsam mit der Fa. LIBA Maschinenfabrik GmbH, Naila zu einer neuen Maschinentyp „Double Weft Spacer“ weiterentwickelt [13] (siehe Bild 9).

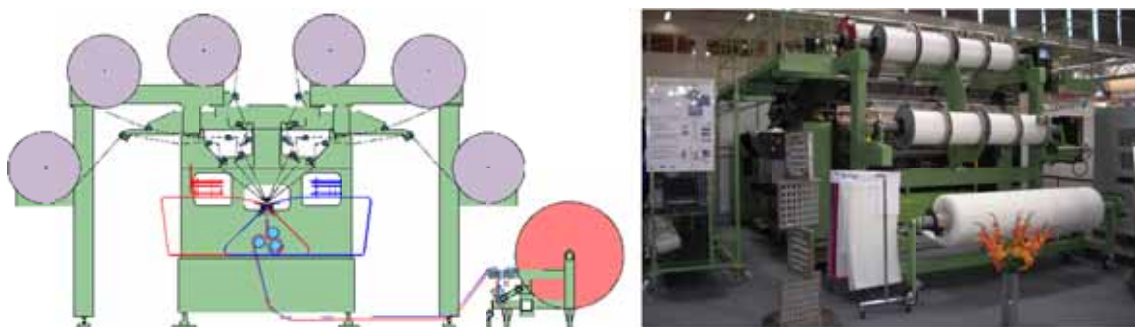


Bild 9: LIBA „Double Weft Spacer“ mit Magazinschusseintrag [13]

Auf diesem Maschinentyp hergestellte Abstandsgewirke werden nun unter dem Produktnamen SITgrid von der V. Fraas GmbH, Helmbrechts vertrieben. Für die Bewehrung wurde

nun eine erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin (DIBt) für das Fassadensystem betoShell® BIG der Hering Bau GmbH & Co. KG, Burbach im Verbund mit dem Abstandsgewirk SITgrid erteilt [15]. Der maßgebliche Vorteil gegenüber der bisher verwendeten 2D-Textilbewehrung liegt in der Prozessvereinfachung zur Herstellung der betoShell®-Platten. Nach dem Betonieren einer ersten Schicht in die Schalung und dem Einlegen der doppelten Bewehrungslage des Abstandsgewirks kann die Platte fertig betoniert werden. Eine zweite Unterbrechung des Prozesses zum Einlegen der zweiten Bewehrungslage entfällt.

3 Literatur

- [1] Kamali Dolatabadi, M.; Janetzko, S.; Gries, T.; Kang, B.-G.; Sander, A.: Permeability of AR-glass fibers roving embedded in cementitious matrix. *Materials and Structures* 44 (2011), H. 1, S. 245-251 DOI 10.1617/s11527-010-9623-7, URL: <http://www.springerlink.com/content/f40016902m101r2l/fulltext.pdf>
- [2] Kolkman, Annette: Methoden zur Verbesserung des inneren und äußeren Verbundes technischer Garne zur Bewehrung zementgebundener Matrices; Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2008 ; Zugl. Aachen : Shaker, 2008
- [3] Sonderforschungsbereich 532 (Hrsg.): Sonderforschungsbereich SFB 532 "Textilbewehrter Beton - Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie". Forschungsantrag 2. Hj. 2008, 2009, 2010, 1. Hj. 2011; Aachen : Sonderforschungsbereich 532, 2008
- [4] Janetzko, S.; Kravaev, P.; Gries, T.; Kang, B.-G.; Brameshuber, W.; Schneider, M.; Hegger, J.: Textile reinforcements with spread and commingled yarn structures; In: Brameshuber, Wolfgang (Ed.): *International RILEM Conference on Material Science, Vol. I: 2nd ICTRC Textile Reinforced Concrete*, Aachen, Germany, September 6-8, 2010. - Bagnex : RILEM Publications, 2010, S. 37-44
- [5] Kravaev, P.; Janetzko, S.; Gries, T.; Kang, B.-G.; Brameshuber, W.; Zell, M.; Hegger, J.: Commingled yarns for reinforcement of concrete; In: Curbach, M.; Jesse, F. (Hrsg.): *Textilbeton : Theorie und Praxis ; Tagungsband zum 4. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung*, Dresden, 3.6.-5.6.2009. - Dresden: Techn. Univ., 2009, S. 17-28
- [6] Gries, T., Kolkman, A.: Garnentwicklung zur zielgerichteten Beeinflussung der mechanischen Garn-Charakteristik. In: Curbach, M. (Hrsg.): *Textile Reinforced Structures : proceedings of the 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS2)*, Dresden 29.09.-01.10.2003.- Dresden : Techn. Univ, 2003, S. 29-40, Paper: ctrs2_03_Gries.pdf

- [7] Hanisch, V.; Kolkman, A.; Roye, A.; Gries, T.: Yarn and textile structures for concrete reinforcements, Ferro-8, Bangkok, Thailand 06.02.2006, In: Nimityongskul, P. [u.a.] (Hrsg.): Ferro-8: Eighth International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, Bangkok, Thailand 06.-08.02.2006. - Pathumthani: Intern. Ferrocement Information Center; Asian Institute of Technology, 2006, S. 275-284
- [8] Kolkman, A.; Roye, A.; Gries, T.: Kombinationsgarne und technische Abstandsgewirke: 3D-Textilien für Textilbeton, DWI Reports 2006/130, Paper: P53_Kolkman.pdf
- [9] Bischoff, T.: Verwirkte Textilien zur Bewehrung zementgebundener Matrices. Aachen: Shaker, 2001. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss. 2000
- [10] Stockmann, P.: Textile Strukturen zur Bewehrung zementgebundener Matrices. Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2002, URL: http://sylvester.bth.rwth-aachen.de/dissertationen/2002/160/02_160.pdf
- [11] Roye, A.: Hochleistungsdoppelraschelprozess für Textilbetonanwendungen. Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2007; Zugl. Aachen: Shaker, 2007
- [12] Kamali Dolatabadi, M.; Janetzko, S.; Gries, T.: Impact of warp knitting process parameters on the AR-glass fiber roving geometry. Proceedings of the 17th STRUTEX International Conference Structure and Structural Mechanics of Textiles, Liberec, Czech Republic, 16th - 19th November 2010.
- [13] Kuckhoff, B.; Janetzko, S.; Gries, T.: Development and industrial manufacturing of innovative reinforcements for textile reinforced concrete. First World Conference on 3D Fabrics and their Applications, Manchester, 10-11 April 2008; Gries, T. (Hrsg.): Mitteilungen des Institutes für Textiltechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 55/2008. - Aachen : Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen, 2009, Paper: 42_Development and industrial manufacturing.pdf
- [14] Chudoba, R.; Vorechovsky, M.; Eckers, V.; Gries, T.: Effect of twist, fineness, loading rate and length on tensile behavior of multi-filament yarns (a multivariate study), Textile Research Journal 77 (2007), H. 11, S. 880-891
- [15] Hering Bau erhält Zulassung für betoShell® BIG mit integriertem SITgrid von V. Fraas Solutions in Textile. URL: http://www.solutions-in-textile.com/119_info.html, Abruf: 15.05.2011