

Textile Betonbewehrungen auf Basis der Multiaxial-Kettenwirktechnik

Chokri Cherif¹, Jan Hausding², Ulrike Berger³, Ayham Younes³,
Roland Kleicke³

Zusammenfassung: Dieser Beitrag bietet einen Überblick über die in zwölf Jahren Forschungsarbeit am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet textiler Betonbewehrungen unter Einsatz der Nähwirktechnik. Standen zunächst die Weiterentwicklung der Nähwirk- bzw. Multiaxial-Kettenwirktechnik und die Integration zusätzlicher Prozessschritte im Mittelpunkt, so wurde dies mit der Einführung neuer Faserwerkstoffe durch die Beantwortung grundlegender Fragen zum Materialverhalten von Glas- und Carbonfasern unter verschiedensten Belastungsszenarien ergänzt. Aufbauend auf den gewonnen Erkenntnissen stehen heute Multiaxialgelege als Bewehrung für Beton zur Verfügung, die ein weites Anforderungsspektrum abdecken können, mit hoher Qualität und Produktivität herstellbar sind und damit den praktischen Einsatz des Textilbetons auf breiter Basis ermöglichen.

Summary: This paper provides an overview on the results of textile concrete achieved in twelve years of research at the Institute of Textile Machinery and High Performance Material Technology (ITM) in the field of textile reinforcements for concrete based on the multiaxial stitch-bonding technology. During the early years the research focused on the development of the textile manufacturing process and the integration of additional functions in stitch-bonding machines. With the introduction of new fiber materials this was shifted towards the description of the material behavior of glass and carbon fibers under different load scenarios. Based on the results of this research, multiaxial multi-ply fabrics are available now as reinforcements for concrete, covering a broad range of applications. These fabrics can be produced with high quality and productivity and enable the practical usage of textile reinforced concrete.

¹ Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Wirt. Ing., ITM, TU Dresden

² Dr.-Ing., ITM, TU Dresden

³ Dipl.-Ing., ITM, TU Dresden

1 Einleitung

Während in der Textilbetonforschung aus Anwendersicht häufig in Neubau und Instandsetzung unterteilt wird, sind die Herangehensweisen bei Betrachtung der textilen Bewehrungen durch den Grad der räumlichen Ausgestaltung der Halbzeuge bestimmt. Vereinfacht dargestellt, kann hier zwischen den in der Herstellung aufwändigen, geometrisch komplexen Abstandstextilien und den einfacher zu fertigenden 2D-Textilien für räumliche Bewehrungsführungen unterschieden werden. Für Letztere kristallisierte sich schon frühzeitig das Nähwirk- beziehungsweise Multiaxial-Kettenwirkverfahren als aussichtsreichste Fertigungslösung heraus, siehe HEMPEL et al. [1]. Erst in jüngerer Zeit steht mit dem Nadelstab-Dreherwebverfahren eine mögliche Ergänzung zur Verfügung. Das anfangs im Rahmen des SFB 528 aus der Glasgelegeherstellung für die Windenergieerzeugung übernommene Nähwirkverfahren steht nun mit dem Übergang von der Grundlagenforschung in die Anwendung als weitgehend überarbeiteter und um Zusatzfunktionen ergänzter Prozess für die Herstellung qualitativ hochwertiger, anforderungsgerechter Bewehrungstextilien aus verschiedensten Faserstoffen von Glas über Basalt zu Carbon zur Verfügung. Dafür notwendig waren die Modifizierung entscheidender Funktionsgruppen der Nähwirkanlagen und ihre Erweiterung, insbesondere um integrierte Beschichtungsmodule. Nachfolgend werden diese Entwicklungen sowie die parallel bearbeiteten materialwissenschaftlichen Fragestellungen aus den Teilprojekten A1, D6, T1 und T9 des SFB 528 zum Verhalten von Glas- und Carbonfilamentgarnen unter verschiedenen Belastungsfällen zusammengefasst.

2 Bestimmung der Materialkennwerte textiler Werkstoffe

2.1 Verhalten von Glasfilamentgarn unter Kurzzeitbelastung

In zahlreichen technischen Anwendungen werden Faserverbundwerkstoffe eingesetzt, die mit Hochleistungsfasern aus Carbon und Glas verstärkt sind und aufgrund ihrer hervorragenden chemischen und physikalischen Eigenschaften ein hohes Bewehrungspotenzial besitzen. Im Bauwesen gewinnen deshalb textile Materialien zur Betonbewehrung immer mehr an Bedeutung. Der sogenannte Textilbeton (TRC) setzt sich aus einer Betonmatrix und textilen Strukturen aus Multifilamentgarnen (Rovings) zusammen. Die eingesetzten Textilien müssen eine hohe Dauerhaftigkeit im alkalischen Betonmilieu aufweisen. Hierfür kommen Carbonfasern oder alkaliresistente Glasfasern (AR-Glas) zum Einsatz.

Grundsätzlich werden die Kräfte im Textilbeton von der Betonmatrix über deren Haftverbund zu den Filamenten sowie über den Reibverbund zwischen den Filamenten der Bewehrung aufgenommen. Die Einzelfilamente eines Garns sind gleichzeitig, aber nicht zwingend gleichmäßig an der Lastabtragung beteiligt. Eine Abschätzung des Garnverhaltens im Beton erfordert es, bei der Ermittlung der Garnfestigkeiten die „innere Filamentreibung“ zu aktivie-

ren, um den Einfluss des Reibverbundes zwischen den einzelnen Filamenten zu erfassen. Eine derart basierte Kennwertermittlung ist nicht nur für die Entwicklung textiler Halbzeuge erforderlich, sondern auch für die Weiterverarbeitung, Optimierung und Qualitätssicherung der Ausgangsmaterialien und textilen Strukturen.

Ein hierfür im SFB 528 am ITM entwickelter Prüfstand beruht auf der Verwendung von Umschlingungsklemmen. Die Garndehnung kann dabei nicht aus der Traversenbewegung der Zugprüfmaschine abgeleitet werden, sodass eine Dehnungsmessung direkt am Garn über optische Längenmesssysteme erfolgt. Gegenüber herkömmlichen Zugprüfverfahren bestehen erhebliche Vorteile bezüglich des Aufwandes für Probenvorbereitung, der Sensibilität gegenüber veränderter Garnpräparationen, der Neigung zum Rutschen der Proben in den Klemmen oder zum Versagen der Proben im Einspannbereich, der realisierbaren Versuchsanzahlen sowie der Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse. Zudem lassen sich aufgrund relativ großer freier Einspannlängen der Garnproben Zusatzanbauten – z. B. zur Hochtemperaturbeanspruchung der Zugproben – in den Versuchsaufbau implementieren (siehe Abschnitt 2.3).

Der o. g. Garnzugversuch bildete im SFB 528 die Grundlage für experimentelle und numerisch basierte Untersuchungen zu Erfassung der Unschärfe von Kenndaten der Filamentgarne. Diese Informationen dienen als Basis für die mathematische Modellierung dieser Unschärfe und zur rechnerischen Bestimmung der Maximalzugkraft von Filamentgarnen, siehe ABDKADER et al. [2].

Gleichfalls konnten anhand der Untersuchungsergebnisse die Einflüsse von Filamentdurchmesser, Garnfeinheit und Schlichte-Beschichtungskopplung (siehe Abschnitt 3.2) auf das Kraft-Dehnungsverhalten von Garnen und Verbundwerkstoffen quantifiziert werden. Für den Kennwertvergleich wurde eine einaxiale Zugprüfung an garnbewehrten Betonen (Dehnkörperversuch) im Teilprojekt B1 des SFB 528 genutzt, deren Ergebnisse in hohem Maße von den Verbundeigenschaften zwischen den Filamenten beeinflusst sind.

Die Darstellung der an Filamentgarnen und Verbundwerkstoffen ermittelten Festigkeiten im Bild 1 zeigt deren linearen Zusammenhang. Diese feststellbare Korrelation zwischen den Garn- sowie den Verbundkennwerten lässt den Schluss zu, dass in beiden Fällen vergleichbare Lastabtragungsmechanismen wirken. Auf dieser Grundlage sind für feststehende Randbedingungen tendenzielle Vorhersagen zur Ausnutzung des Leistungspotenzials von Filamentgarnen im Verbundwerkstoff ableitbar. Dabei sinken nach ABDKADER et al. [3] die Festigkeiten von Filamentgarn und Dehnkörper mit zunehmendem Garnquerschnitt und steigendem Filamentdurchmesser.

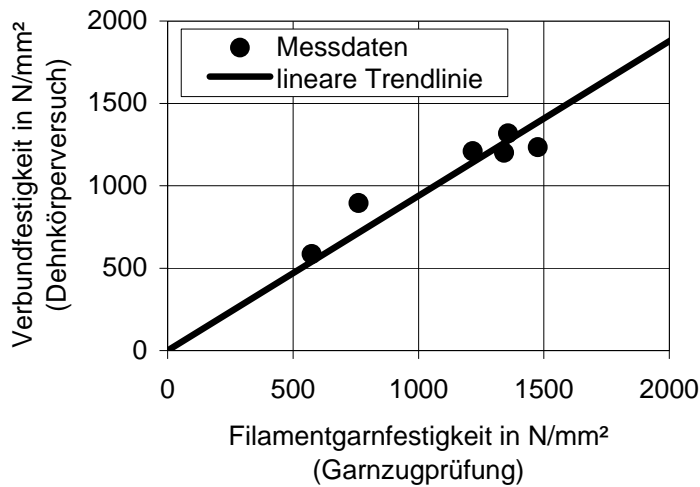


Bild 1: Vergleich zwischen den Filamentgarnfestigkeiten und den Festigkeiten des Verbundwerkstoffes (Dehnkörper) am Beispiel unverarbeiteter AR-Glasfilamentgarne der Feinheit 640 tex

2.2 Dauerlastverhalten von Carbon- und AR-Glasfilamentgarnen

Die hervorragenden mechanischen Eigenschaften der Filamentgarne, insbesondere deren hohe Festig- und Steifigkeiten, dürfen sich auch unter Langzeiteinwirkungen nicht oder nur geringfügig verändern. Um diese Anforderung näher zu betrachten, wurden umfangreiche Untersuchungen von SEIDEL et al. [11] über das zeitveränderliche Materialverhalten unter Langzeitbelastung anhand zahlreicher Experimente mit Carbon- und AR-Glasfilamentgarnen durchgeführt, die Ergebnisse analysiert und die Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Garne verifiziert. Das Ziel dieser Untersuchungen bestand darin, das Langzeitverhalten der eingesetzten textilen Materialien zu charakterisieren und mechanische Modelle zu dessen wirklichkeitsnaher Beschreibung zu entwickeln. Damit ist es möglich, die zu erwartende Lebensdauer textilbewehrter Verbundbauteile zu prognostizieren und die hohen Ansprüche an die Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit zu garantieren.

Im Ergebnis der durchgeführten Arbeiten konnte unter Dauerbelastung eindeutig ein zeitlich veränderliches Verhalten bei AR-Glasfilamentgarnen nachgewiesen werden. Die Kriechdehnungen prägten sich überwiegend innerhalb der ersten Monate aus und erreichten je nach Belastung Werte bis zu 0,5 %. Carbonfilamentgarne hingegen zeigten ein zeitlich konstantes Materialverhalten. Diese Erkenntnisse sind für den Einsatz in technischen Anwendungen von großer Bedeutung, um Langzeitprognosen über die zu erwartende Lebensdauer von Tragwerken geben zu können. Die beobachteten Phänomene des Materialverhaltens unter Langzeitbelastung lassen sich mit Hilfe eines rheologischen Modells beschreiben, welches anhand experimenteller Daten für unterschiedliche Garnmaterialien verifiziert wurde.

2.3 Hochtemperaturverhalten von Carbon- und AR-Glasfilamentgarnen

Verbundwerkstoffe mit Verstärkungen aus Hochleistungsfilamentgarnen, die sich in vielen technischen Anwendungen inzwischen fest etabliert haben, sind oftmals auch extremen thermischen Einwirkungen ausgesetzt. Insbesondere gilt das für Carbon- und AR-Glasfilamentgarne, die in Form mehraxialer Gelege als textile Bewehrungen in Betonbauteilen eingesetzt werden und dort unter anderem auch den sicherheitstechnischen Anforderungen im Brandfall standhalten müssen. Da es jedoch unter thermischer Beanspruchung zu strukturbedingten Veränderungen in den mechanischen Eigenschaften der Garne kommt, die mit einer Herabsetzung der Festigkeitseigenschaften einhergehen, ist die Applikation entsprechender hochtemperaturbeständiger Beschichtungssysteme erforderlich, um die volle Funktionstüchtigkeit der textilen Bewehrungen auch unter Hitzeeinwirkung zu garantieren. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Zertifizierung der Textil-Beton-Verbundbauweisen und somit von großer Bedeutung für den Erfolg dieses neuen innovativen Baustoffs.

Zu dieser Thematik wurden zahlreiche Untersuchungen von YOUNES et al. [14] zu den strukturmechanischen Eigenschaften von Carbon- und AR-Glasfilamentgarnen unter Hochtemperaturbeanspruchung beim Einsatz verschiedener Beschichtungssysteme durchgeführt. Hierbei erfolgte eine Bewertung der thermischen Barrierewirkung von Beschichtungen und deren Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften in Korrelation zur thermischen Beanspruchung. Die Entwicklung neuer und anforderungsgerechter Beschichtungssysteme für textile Betonbewehrungen stellt eine sehr komplexe Aufgabe dar, da neben der Hochtemperaturbeständigkeit ebenso das Verbundverhalten zwischen Filament und umgebender Betonmatrix sowie die Alkalibeständigkeit eine entscheidende Rolle spielen. Die einzusetzenden Beschichtungen müssen allen diesen Aspekten gleichermaßen gerecht werden. Die auf diesem Gebiet erreichten Ergebnisse sind in den Arbeiten von SHAYED et al. [15] ausführlich dokumentiert, wobei sich die aktuellen Forschungen schwerpunktmäßig auf Carbonfilamentgarne fokussieren, die wegen ihrer sehr hohen Steifigkeit die vielversprechendste Alternative oder Ergänzung zur klassischen Stahlbewehrung darstellen.

Die Ergebnisse spezifizieren die temperaturabhängigen Materialeigenschaften und dienen als Bemessungsgrundlage für Textilbetonanwendungen im Hinblick auf mögliche Hochttemperatureinwirkungen. Speziell in den durchgeführten Untersuchungen an Carbonfilamentgarnen wurde die Notwendigkeit zum Schutz der eingesetzten Textilien vor Oxidation festgestellt, die ab Temperaturen von etwa 500 °C beginnt. Dazu dienen geeignete Beschichtungen, die den Carbonroving umhüllen und die Zufuhr des umgebenden Luftsauerstoffes vermindern. Die eingesetzten Beschichtungen reichen von Styrolbutadien, über Polysilazane und Polysiloxane bis hin zu keramischen Applikationen, außerdem wurde durch Einsatz von Tensiden das Benetzungsverhalten im Roving-Coating-Interface gezielt verbessert. Entsprechend ausgerüstete Carbonfilamentgarne können Temperaturen bis über 700 °C standhalten.

2.4 Handhabungsverhalten der textilen Bewehrung

Für die Entwicklung sowie die Sicherstellung eines reproduzierbaren Verarbeitungsverhaltens der textilen Bewehrungen ist eine quantitative Erfassung und Überwachung relevanter Textileigenschaften notwendig. Hierzu wurden im Teilprojekt A1 u. a. durch SCHIERZ et al. [5] Methoden zur Ermittlung einer charakteristischen Formstabilität offener Gitterstrukturen entwickelt. Die Überführung dieser Methoden in labormäßige Prüfverfahren bildete zugleich eine wichtige Basis für die applikationsgerechte Auslegung des Verarbeitungsverhaltens der Bewehrungen. Die Formstabilität der Flächengebilde wird dabei vorzugsweise mit Hilfe von Kennwerten für die Biegesteifigkeit sowie die Verschiebefestigkeit quantifiziert. Optional kann auch eine Scherwinkelbestimmung erfolgen.

Als Standardversuch für die Bestimmung der Biegesteifigkeit gitterartiger Textilien hat sich neben einer ebenfalls am ITM vorgenommenen Weiterentwicklung des Cantilever-Verfahrens (DIN 53362) ein neues Biegeprüfverfahren mit vertikaler Probenanordnung etabliert. Dieses minimiert die deutlichen subjektiven Einflüsse des herkömmlichen Verfahrens und vermeidet einen Einfluss der Schwerkraft auf das Biegeverhalten weitgehend.

Eine weitere Möglichkeit, die Formstabilität textiler Bewehrungsstrukturen zu charakterisieren, bietet die Untersuchung der Verschiebestabilität der Gitterstrukturen. Die ebenfalls durch vorgestellte neue Prüfmethode beruht auf einer definierten Verdrehung des Kraftereinleitungsbereiches gegenüber der lagefixierten textilen Struktur und berücksichtigt somit den Flächencharakter der textilen Bewehrung. Anhand der Prüfergebnisse sind die strukturspezifischen Unterschiede darstellbar, die z. B. aus der textiltechnischen Konstruktion der Bewehrungsstrukturen, den Einflüssen durch die Bindungs- und Haftungseigenschaften der Fadenmaterialien sowie den verfahrens- und materialbedingten Einflüssen einer Beschichtung der Struktur resultieren. Die Versuchsdurchführung ist durch eine einzelmotorische Steuerung der Verdrehbewegung sehr präzise und liefert reproduzierbare Ergebnisse.

3 Weiterentwicklung der Anlagentechnik

3.1 Einführung des Nadelbarrenversatzes

Zu Beginn der Entwicklung textiler Betonbewehrungen auf der Grundlage der Nähwirktechnik stand die Anpassung der Maschinenteknik an die neuen Anforderungen im Mittelpunkt, insbesondere die schonende Verarbeitung von Carbon- und Glasfilamentgarnen, der Übergang von der Herstellung geschlossener hin zu gitterförmigen Textilien sowie die Berücksichtigung der aus dem Gelegeaufbau resultierenden Fadenspannungen bei der Maschinenkonstruktion, siehe WALDMANN et al. [6]. Auf der Basis einer Vielzahl notwendiger Weiterentwicklungen konnte dann die gezielte Beeinflussung der Verbundeigenschaften über die Ausgestaltung der textilen Bewehrung erfolgen. So war aus den ersten Forschungsergebnis-

sen bekannt, dass die Parameter des Nähwirkprozesses (Maschinenfeinheit, Bindung, Stichlänge, Abbindung, Fadenspannung) einen deutlichen Einfluss sowohl auf die Eigenschaften der textilen Bewehrung als auch auf deren Verbund zur Betonmatrix haben. Daraus ergab sich der Ansatzpunkt für die Nutzung des im SFB 528 entwickelten erweiterten Nähwirkprozesses mit versetzbarer Nadelbarre zur Herstellung von Textilbetonbewehrungen mit deutlich verbessertem Verbundverhalten.

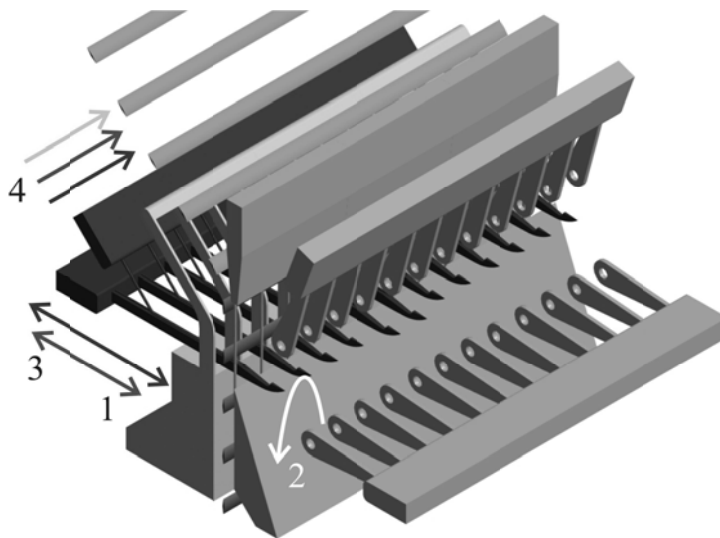


Bild 2: Prinzipdarstellung des erweiterten Nähwirkprozesses mit seitlich versetzbarer Nadelbarre (1: Vorwärtsbewegung von Nadel und Schließdraht; 2: Überlegung der Lochnadeln; 3: Rückwärtsbewegung von Nadel und Schließdraht; 4: Seitwärtsbewegung von Nadel, Schließdraht und Abschlagplatine)

Das ohnehin schon sehr weite Spektrum möglicher Bindungen, die sich auf Nähwirkmaschinen umsetzen lassen, wird mit der Realisierung des Nadelbarrenversatzes weiter vergrößert. Die Modellierung relevanter Bindungskonstruktionen, die mittels Nadelbarrenversatz erzeugt werden können, beruht auf der Entwicklung einer Systematik zu deren theoretischer Beschreibung. Dazu wurde zunächst die etablierte Darstellungsweise für Nähwirkbindungen angepasst. Die konventionelle Darstellung mittels Legungsbild beruht auf der Annahme einer feststehenden Nadelbarre. Das Prinzip des Nadelbarrenversatzes beinhaltet aber gerade die Verschiebung der Nadelbarre, weshalb die neuen Bindungen nicht aus der bisher üblichen grafischen Darstellung erkennbar sind. Auf dieser Grundlage wurde eine verbesserte Beschreibungsmöglichkeit für Nähwirkbindungen entwickelt, siehe HAUSDING & CHERIF [12]. Die eingeführte Neuerung erfordert die Anpassung der bisher üblichen Darstellungsweise von Wirkbindungen. Die Beschreibung der erweiterten Wirkbindungen kann aufbauend auf den klassischen numerischen und grafischen Darstellungen (Legungsplan und Legungsbild) erfolgen. Für die numerische Angabe der Nadelbarrenbewegung im Legungsplan für die Maschinensteuerung wird eine zusätzliche Zahlenfolge eingeführt, die in ihrer Darstellungsweise auf der Angabe der Legebarrenbewegung beruht. Ein Wirkzyklus bzw. die Bildung einer Maschenreihe wird durch zwei Zahlen gekennzeichnet, von denen die erste die Position der

Nadelbarre vor dem Einschwingen der Fadenführer und die zweite die Position der Nadelbarre nach dem Ausschwingen der Fadenführer definiert. Diese Darstellung bietet eine einfache und eindeutige Beschreibung der Nadelbarrenbewegung. Ist eine Modellierung der Bindung erforderlich, so stehen drei Varianten eines erweiterten Legungsbildes zur Verfügung. Mit diesen Darstellungsmethoden ist es möglich, alle Bindungen – falls nötig auch mit mehreren Wirkfadensystemen – zu entwickeln und exakt zu beschreiben. Als Ergänzung dazu wurde ein Berechnungsverfahren abgeleitet, das es erlaubt, konventionelle und erweiterte Bindungen ineinander umzurechnen. Grundsätzlich kann für jede erweiterte Bindung, wenn sie für eine klassische Wirkware und nicht im Nähwirkprozess eingesetzt wird, eine Bindung nach dem konventionellen Verfahren gefunden werden, die einen äquivalenten Fadenverlauf im Textil aufweist.

Die erste maschinelle Umsetzung des erweiterten Nähwirkprozesses erfolgte durch FRIEDRICH et al. [9] in Form eines Prototyps, der auf einer herkömmlichen Parallelschuss-Nähwirkmaschine basiert. Der Prototyp dient der Optimierung des Prozesses hinsichtlich Produktionsgeschwindigkeit, Fadenzuführung, möglicher Versatzbewegungen und Bewegungsabläufe der Wirkelemente. Als Ergänzung zum Prototyp wurde ein manuell bedienbarer Technologie-Demonstrator entwickelt, der die Grundlage für eine ganzheitliche Untersuchung aller möglichen Nadelbewegungen sowie den daraus resultierenden Bindungen diente und die Voraussetzung für die Entwicklung der oben beschriebenen Bindungskonstruktionsmethoden darstellte.

3.2 Integration der Beschichtung in den Nähwirkprozess

Für den erfolgreichen Einsatz textiler Bewehrungen aus Carbon- oder AR-Glasfilamentgarnen ist es notwendig, die Gittergeometrie sowie eine maximale Ausnutzung der Substanzfestigkeit textiler Bewehrungen mittels Online-Beschichtung zu sichern. Dabei wird die Gitterstruktur während des textilen Herstellungsprozesses, im in die Transportkette eingespannten Zustand, beschichtet. Das in den Flächenbildungsprozess integrierte Beschichten der Gitterstrukturen bei unverminderter Produktionsgeschwindigkeit mit filmbildenden wässrigen Polymerdispersionen auf Styrol-Butadienbasis, siehe GAO et al. [4], erfolgt mittels Walzenauftrag und die Trocknung durch eine Kombination aus Carbon-Rundrohr-Infrarot-Strahlern mit Strahlungswandler. Dieses Trocknungskonzept ist aufgrund der dynamischen Prozessführung mit sehr kurzen Auf- und Abkühlzeiten besonders gut für die Integration in einen textilen Fertigungsprozess geeignet, siehe KÖCKRITZ et al. [7].

Der Beschichtungsanteil der textilen Struktur kann über die Steuerung der Relativgeschwindigkeit zwischen Umfangsgeschwindigkeit der Walze und der Transportgeschwindigkeit sowie über den Anteil an organischer Substanz in der wässrigen Dispersion definiert eingestellt werden. Damit lassen sich reproduzierbare Struktureigenschaften (Beschichtungsanteil, Zugfestigkeit, Biegesteifigkeit, Verschiebefestigkeit, Dauerhaftigkeit) erzeugen (Bild 2).

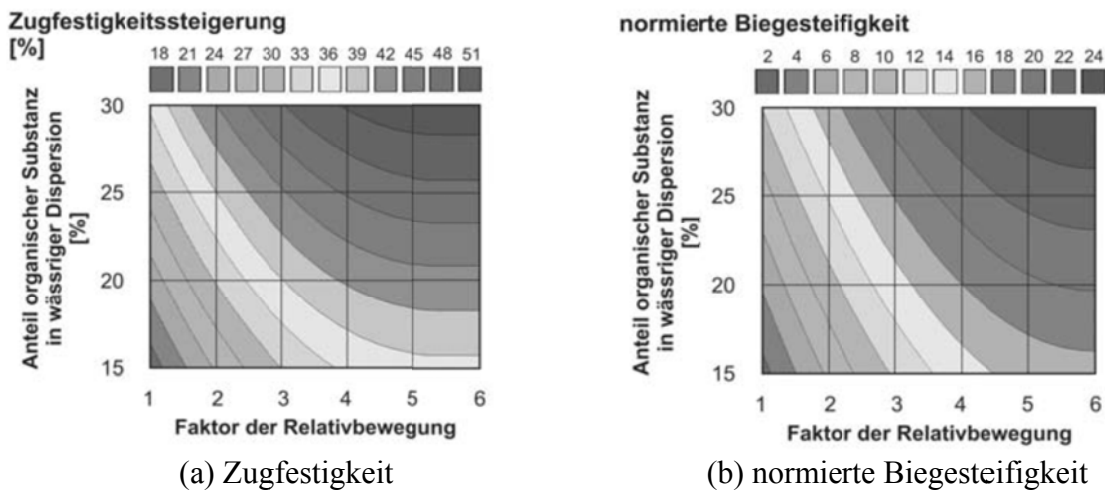


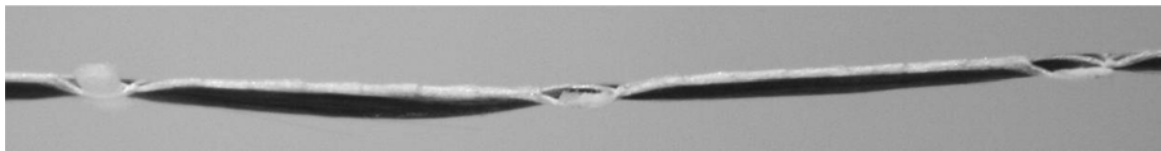
Bild 2: Textileigenschaften in Abhängigkeit von der Auftragsmenge (Faktor der Relativbewegung der Auftragswalze gegenüber der Textilbahn) und dem organischen Anteil der Polymerdispersion (AR-Glas VET-ARG640; 7,2 mm Abstand)

Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit der Beschichtung von preiswerteren 3300 tex Carbon-Fiber-Heavy-Tows (CFHT). Diese CFHT weisen ein von AR-Glas- und Carbonfilamentgarnen abweichende Tränkungs- sowie Trocknungsverhalten auf, siehe BERGER et al. [16]. Aufbauend auf diesem neuen Verarbeitungsverhalten und den Erkenntnissen aus dem SFB 528 bezüglich der Beschichtungsrezeptur und der Beschichtungstechnologie für Gitterstrukturen entsteht derzeit im Transferprojekt T9 ein industrietaugliches Beschichtungs- und Trocknungsmodul zur Integration in Multiaxial-Nähwirkanlagen.

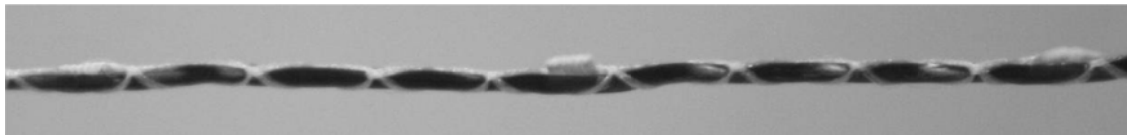
4 Einfluss der Bindungskonstruktion auf die Eigenschaften von Textilbeton

Aus der Vielzahl an Möglichkeiten, das Verbundverhalten des Bewehrungstextiles im Beton durch den textilen Herstellungsprozess zu beeinflussen, soll hier stellvertretend die Nutzung des erweiterten Nähwirkprozesses vorgestellt werden. Ausgehend von dem mit Hilfe des Technologie-Demonstrators untersuchten Umfangs an möglichen Bindungsvarianten nach dem erweiterten Nähwirkprozess (siehe Abschnitt 3.1) erfolgte eine systematische Bewertung und Auswahl von Bindungskonstruktionen unter Beachtung von deren Einflüssen auf die Textil- und Verbundeigenschaften. Bindungsvarianten mit einem hohen Einflusspotenzial wurden mit Hilfe der Prototypmaschine in textile Bewehrungen überführt. Durch die neuen Bindungsmöglichkeiten und die freie Lagenanordnung wird eine deutlich verbesserte Qualität der textilen Bewehrung erreicht, die ein nachweisbar günstigeres Verbundverhalten zeigt als die konventionelle Variante. Durch die sichere Verhinderung von Abplatzungen an der Betonoberfläche bei Gebrauchslast wird eine wichtige Voraussetzung für den praktischen Einsatz textiler Betonbewehrungen geschaffen. Dies verdeutlicht ein von HAUSDING et al.

[18] geführter Vergleich biaxialer Bewehrungstextilien, wobei eine Probe nach dem konventionellen Nähwirkverfahren (5-1) mit einer Bindung RL-Doppel-Trikot, gegenlegig, und zwei Proben nach dem erweiterten Nähwirkverfahren mit der Bindung RL-Trikot, Nadelbarrenversatz um 1, gleichgerichtet, realisiert wurden. Dabei enthält Probe 5-2 ebenso wie 5-1 eine Kettfadenlage aus Carbonfilamentgarnen 800 tex, während Probe 5-3 zwei Kettfadenlagen aus Carbonfilamentgarnen 400 tex aufweist. Es zeigt sich, dass die Auslenkung der Kettfäden stark durch die Bindung und die Lagenanordnung beeinflusst wird. Variante 5-1 (Carbonfilamentgarn 800 tex, Doppel-Trikot) weist das für konventionelle Nähwirkstoffe bekannte Erscheinungsbild einer deutlichen Auslenkung des Kettfadens und der Konzentration des Wirkfadens auf einer Seite der Textilbewehrung auf (Bild 3, oben). Durch Verwendung des erweiterten Wirkprozesses und der Bindung RL-Trikot, Basisversatz 1 (Variante 5-2) kann die Kettfadenauslenkung reduziert werden, der Wirkfaden ist gleichmäßig um den Kettfaden herum angeordnet (Bild 3, Mitte). Durch Anordnung zweier Kettfäden auf den Außenseiten des Nähwirkstoffs (Variante 5-3) wird die Kettfadenauslenkung wirksam vermieden (Bild 3, unten).



Variante 5-1



Variante 5-2



Variante 5-3

Bild 3: Seitenansicht von Nähwirkstoffvarianten in Kettrichtung

Die zur Ermittlung des Verbundverhaltens durchgeführten Fadenzugsversuche ergeben mittlere Auszugskurven, welche die Ergebnisse von zehn Einzelmessungen widerspiegeln (Bild 4). Die bei den gewählten Einbindelängen von 18 mm gemessenen charakteristischen Fadenzugswiderstände werden aufgrund gleicher Dehnsteifigkeiten und Einbindelängen der untersuchten Nähwirkstoffvarianten vereinfacht als Schubfluss τ in N/mm über die im Versuch gemessene Rissöffnung w aufgetragen, siehe LORENZ et al. [17]. Der Schubfluss ist

der Quotient aus der im Versuch messtechnisch bestimmten Zugkraft und der bekannten Einbindelänge.

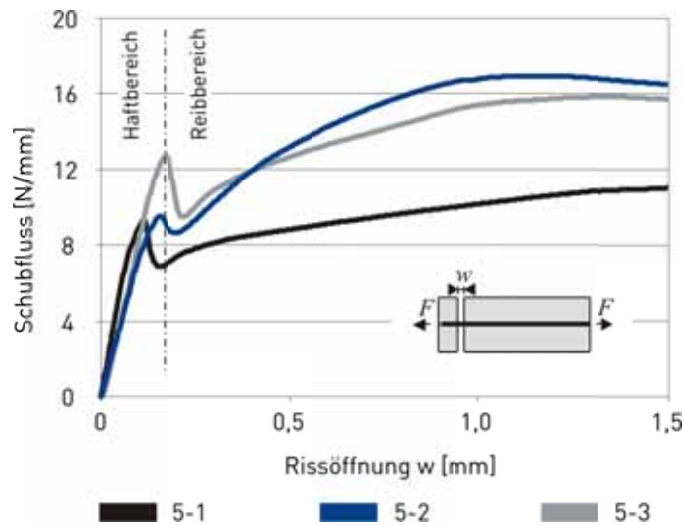


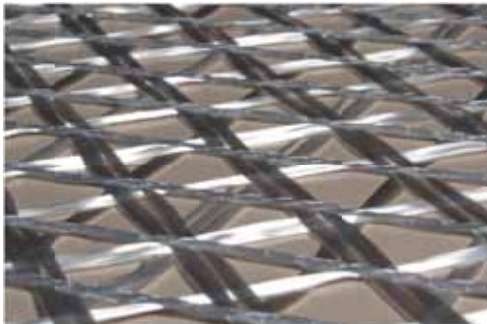
Bild 4: Ergebnisse der Verbundversuche

Bei Rissweiten von etwa 0,1 bis 0,2 mm wird der Haftverbund zwischen der äußeren Hülle des beschichteten Kettfadens und der Betonmatrix überwunden. Der Faden beginnt zu gleiten. Nach einem kurzen Abfall des Auszugswiderstandes schließt sich ein nochmaliger Anstieg der gemessenen Last-Verformungs-Kurve an. Er beruht auf der Reibung zwischen dem Faden und der Oberfläche des Betonkanals, in dem dieser liegt. Der Anstieg ist typisch für beschichtete Bewehrungstextilien und in seiner Größe abhängig vom Beschichtungsgehalt im Textil und von der Textilgeometrie, bei konventionellen Nähwirkstoffen insbesondere dem Ausmaß der Kettfadenauslenkung. Aufgrund gleicher Beschichtungsgehalte sowie in Folge der vergleichbaren Verbundoberfläche sind die gemessenen Anstiege im Haftverbundbereich der in Bild 4 dargestellten Auszugskurven nahezu identisch. Während die Höchstwerte der Auszugskräfte der Proben 5-1 (Carbonfilamentgarn 800 tex, Doppel-Trikot) und 5-2 (Carbonfilamentgarn 800 tex, Trikot, Basisversatz 1) ähnliche Werte von etwa 9 N/mm erreichen, kann bei den symmetrischen Proben 5-3 (Carbonfilamentgarn 400 tex, Trikot, Basisversatz 1) ein deutlich höherer Verbundwiderstand von durchschnittlich 12 N/mm gemessen werden. Die Ursache dafür liegt darin, dass der quer zur Belastungsrichtung liegende Schussfaden bei der dreilagigen Variante 5-3 (Carbonfilamentgarn 400 tex, Trikot, Basisversatz 1) zwischen den beiden Kettfäden fixiert ist und damit die Kontaktflächen zwischen Kettfäden und Beton ungestörter sind, als bei den zweilagigen Varianten. Im weiteren Kurvenverlauf weisen die beiden Varianten nach dem erweiterten Wirkprozess deutliche höhere Auszugskräfte auf, wahrscheinlich begründet durch die reibungserhöhende Wirkung des regelmäßig um den Kettfaden verlaufenden Wirkfadens. Demgegenüber werden die Auszugskräfte durch Kettfadenauslenkungen sowie eine fehlende Rippenwirkung bei der Probe 5-1 (Carbonfilamentgarn 800 tex, Doppel-Trikot) deutlich vermindert.

5 Nutzung der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse der Grundlagenforschung wurden während der gesamten Laufzeit des SFB 528 zur Auslegung und Bereitstellung praxisrelevanter textiler Bewehrungen in breit gefächerten produktvorbereitenden Forschungen und Pilotvorhaben genutzt. So kamen textile Bewehrungen mit beanspruchungsgerechten Eigenschaften zur Instandsetzung und Ertüchtigung von Masten (Bild 5a) und Schalentragerwerken sowie zur Fertigung von Fassadenelementen und Errichtung von Brückenbauwerken mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder entsprechender Zustimmungen im Einzelfall zum Einsatz, siehe ROYE & ENGLER [8], KÖCKRITZ et al. [13] sowie HAUSDING et al. [10].

Ausgehend von der entwickelten Fertigungstechnologie für applikationsgerechte Bewehrungen und den neu verfügbaren Bindungsmöglichkeiten (siehe Abschnitt 4) sowie der maschinenbaulichen Umsetzung der textiltechnologischen Entwicklungen in den Teilprojekten T1 und T9 wurde der Weg für standardisierte textile Betonbewehrungen geebnet, siehe BERGER et al. [16]. Durch eine Weiterentwicklung der Materialzuführung für die Gitterherstellung im Nähwirkprozess konnten auch Carbonfaser Heavy Tows verwendet werden. Dies ermöglicht es, hohe Faservolumengehalte in dünnen Textilbetonschichten auch bei Verwendung von Gitterstrukturen mit großem Raster umzusetzen (Bild 5b).



(a) Multiaxialstruktur aus AR-Glas



(b) Biaxialstruktur aus Carbon

Bild 5: Beispiele für textile Bewehrungsstrukturen

Eine endkonturnahe Bereitstellung von gitterartigen Halbzeugen erleichtert zudem den Transport und die Weiterverarbeitung. Hierfür wurde eine auf multifunktional gestaltbare Hochleistungsgitter abgestimmte Zuschnitteinrichtung eingesetzt. Zur Einsparung von Folgearbeitsschritten liefert das extern angeordnete Schneidmodul anforderungsgerecht zugeschnittene textile Halbzeuge. Für die Integration des Moduls in den textilen Flächenbildungsprozess wurden systematisch aufbereitete Lösungskonzepte erarbeitet.

Zur Herstellung textiler Betonbewehrungen wurden somit völlig neue Prozessschritte und Module (Nadelbarrenversatzvorrichtung, Beschichtungs- und Trocknungseinrichtung,

Schneideinrichtung) zur Integration in Nähwirkmaschinen entwickelt. Durch deren Einführung in den Nähwirkprozess können einerseits die Struktureigenschaften im Hinblick auf die anforderungsgerechte Gestaltung der Hochleistungsgitter verbessert werden. Andererseits lassen sich bauseitig Folgearbeitsschritte minimieren und Ressourcen besser ausnutzen.

6 Literatur

- [1] HEMPEL, R.; CURBACH, M.; OFFERMANN, P.; FRANZKE, G.; ENGLER, TH.; FUCHS, H.; ARNOLD, R.; BARTL, A.-M.; WULFHORST, B.; BISCHOFF, TH.: *Dünne Platten aus textilbewehrtem Beton und ihre Einsatzmöglichkeiten im Fassadenbau*. In: Bauen mit Textilien 2 (1999) 1, S. 22-25
- [2] ABDKADER, A.; GRAF, W.; MÖLLER, B.; OFFERMANN, P.; SICKERT, J.-U.: *Fuzzy-Stochastic Evaluation of Uncertainties in Material Parameters of Textiles*. In: AUTEX Research Journal. 2 (2002) 3, pp. 115-125 – URL: <http://www.autexrj.org/No5/0027.pdf>
- [3] ABDKADER, A., OFFERMANN, P.; JESSE, F.; CURBACH, M.: *Textile reinforced concrete with AR glass filament yarns*. In: Industrial Fabrics Bulletin (2003) 3, S. 50-54
- [4] GAO, S. L.; MÄDER, E.; ABDKADER, A.; OFFERMANN, P.: *Sizings on Alkali-resistant Glass Fibers: Environmental Effects on Mechanical Properties*. In: Langmuir, The American Chemical Society's Journal of Surfaces and Colloids 19 (2003) 6, pp. 2496-2506 – DOI: 10.1021/la020778t
- [5] SCHIERZ, M.; FRANZKE, G.; WALDMANN, M.; OFFERMANN, P.; HES, L.: *Charakterisierung der Handhabbarkeit textiler Bewehrungsstrukturen*. In: Technische Textilien/ Technical Textiles 46 (2003) 2, S. 141-144
- [6] WALDMANN, M.; SCHIERZ, M.; FRANZKE, G.; OFFERMANN, P.: *Directional Dependent Yarn Tensioning Regulation for the Production of Multi-Axial Reinforcement Structures* : 14th International Conference on Composite Materials. San Diego, CA, 2003 July, Paper 2194
- [7] KÖCKRITZ, U.; KLUG, P.; OFFERMANN, P.; GIESSMANN, A.: *Trocknen textiler Strukturen mittels konvektivem Wärmestrom*. In: Technische Textilien 47 (2004) 4, S. 202-206
- [8] ROYE, A.; ENGLER, TH.: *Technical Textiles for the Reinforcement of Concrete*. In: Brameshuber, W. (Ed.): RILEM Report 36, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee TC 201-TRC 'Textile Reinforced Concrete', 2006 (RILEM) – ISBN: 2-912143-99-3
- [9] FRIEDRICH, F.; HAUSDING, J.; FRANZKE, G.; CHERIF, CH.: *Neue Perspektiven mit erweiterter Nähwirktechnologie*. In: Tagungsband zur 12. Chemnitzer Textiltechniktagung. Chemnitz, Oktober 2007

- [10] HAUSDING, J.; ENGLER, TH.; FRANZKE, G.; KÖCKRITZ, U.; OFFERMANN, P.: *Concrete reinforced with stitch-bonded multi-plyes – a review*. In: Aldea, C.-M. (Hrsg.): SP-244: Thin Fiber and Textile Reinforced Cementitious Systems. Farmington Hills : American Concrete Institute, 2007
- [11] SEIDEL, A.; LEPENIES, I.; ENGLER, TH.; CHERIF, CH.; ZASTRAU, B.: *Aspects of Creep Behavior of Textile Reinforcements for Composite Materials*. The Open Materials Science Journal (2009) 3, pp. 67-79 – DOI: 10.2174/1874088X00903010067
- [12] HAUSDING, J.; CHERIF, CH.: *Improvements in the warp knitting process and new patterning techniques for stitch-bonded textiles*. In: The Journal of the Textile Institute 101 (2010) – DOI: 10.1080/00405000802370354
- [13] KÖCKRITZ, U.; CHERIF, CH.; WEILAND, S.; CURBACH, M.: *In-Situ Polymer Coating of Open Grid Warp Knitted Fabrics for Textile Reinforced Concrete Application*. In: Journal of Industrial Textiles (2010) – DOI:10.1177/1528083709102938
- [14] YOUNES, A.; ENGLER, TH.; SEIDEL, A.; CHERIF, CH.: *Effects of high temperature and long term stress on the material behaviour of high performance fibres for composites*. In: World Journal of Engineering 7 (2010) 4, pp. 309-315 – URL: <http://wjoe.hebeu.edu.cn/2010.4/26.pdf>
- [15] SHAYED, M. A.; CHERIF, CH.; HUND, R.-D.; CHENG, T.; OSTEROD, F.: *Carbon and glass fibers modified by polysilazane based thermal resistant coating*. In: Textile Research Journal (2010) 3 – DOI: 10.1177/0040517509357648
- [16] BERGER, U.; HAUSDING, J.; JESSE, F.; PLAGGENBORG, B.; CHERIF, CH.: *High performance textile reinforcements based on carbon fiber heavy tows*. In: ACI 2010 Fall Convention. Pittsburgh, Pennsylvania, USA, October 24-28, 2010
- [17] LORENZ, E.; ORTLEPP, R.; HAUSDING, J.; CHERIF, CH.: *Effizienzsteigerung von Textilbeton durch Einsatz textiler Bewehrungen nach dem erweiterten Nähwirkverfahren*. In: Beton- und Stahlbetonbau. 106 (2011) 1, S. 21-30 – DOI: 10.1002/best.201000072
- [18] HAUSDING, J.; LORENZ, E.; ORTLEPP, R.; LUNDAHL, A.; CHERIF, CH.: *Application of stitch-bonded multi-plyes made by using the extended warp knitting process: reinforcements with symmetrical layer arrangement for concrete*. In: The Journal of the Textile Institute (2011) – DOI: 10.1080/00405000.2010.515729