

Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit steigern durch den Einsatz von verbundgerecht profilierten Textilbetonbewehrungen

Penzel, P.*; Hahn, L.*; Abdkader, A.*; Cherif, C.*

***Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), TU Dresden**

paul.penzel@tu-dresden.de

Abstract

Ressourcenschonend Bauen und dennoch ein hohes Leistungspotential ausschöpfen, ist das überhaupt möglich? Am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) der TU Dresden wurden im Rahmen des Forschungsprojektes IGF 21375 BR verbundgerecht profilierte Textilbetonbewehrungen sowie die dazugehörigen Fertigungstechnologien entwickelt, die genau dies ermöglichen. Auf Basis der Flecht- und Tränkumformtechnik wurden neuartig profilierte Bewehrungsgarne simulationsgestützt entwickelt, die analog zu gerippten Stahlbewehrungen einen sehr hohen Verbund mit der Betonmatrix aufweisen und das hohe Leistungspotential der Carbonfasern hinsichtlich der zugmechanischen Eigenschaften ausnutzen. Damit kann die notwendige Verbundlänge für eine vollständige Kraftübertragung zwischen Textilbewehrung und Beton auf wenige Zentimeter reduziert, und somit bis zu 80 % der bauteilabhängigen Überdimensionierung der Textilbewehrung eingespart werden. Die Weiterentwicklung der Multiaxial-Kettenwirktechnik zur anforderungsgerechten und faserschonenden Verarbeitung der profilierten, konsolidierten Garne zu gitterförmigen Bewehrungsstrukturen ermöglicht die Fertigung von profilierten Textilbetonbewehrungen mit höchsten Verbundeigenschaften für den Einsatz in Carbonbeton-Bauteilen mit maximaler Material- und Ressourceneffizienz.

Ausgangssituation und Problemstellung

Bekannterweise ist der Klimawandel die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts, welcher nur durch eine konsequente Einsparung von Ressourcen und CO₂-Emission erfolgreich bewältigt werden kann. Da die Baubranche mit einem Anteil von ca. 38 % der weltweiten CO₂-Emission, insbesondere aufgrund des enormen Zementverbrauchs, einen erheblichen Beitrag zur bisherigen Klimaerwärmung hat [1], ist ein Wandel zu mehr Energie- und Ressourceneffizienz sowie einem wachsenden Nachhaltigkeitsbewusstsein zwingend erforderlich. Im Zuge dessen etabliert sich insbesondere der ressourceneffiziente Carbonbeton, bestehend aus einer korrosionsbeständigen Textilbewehrung in Kombination mit einer deutlich reduzierten Betondeckung, im Bauwesen als überzeugende Alternative zum konventionellen Stahlbeton zunehmend [2,3].

Aufgrund der hohen Tragfähigkeiten der textilen Bewehrung bei kleineren notwendigen Betonquerschnitten kommt jedoch dem Verbund zwischen Textil und Beton eine außerordentlich große Bedeutung zu. Bisher lag der Fokus der F&E auf der Entwicklung von Tränkungsmitteln und zugehöriger Tränkungssysteme zur Verbesserung des stoffschlüssigen Haftverbundes mit der Betonmatrix [4]. Damit lassen sich jedoch nur geringe Kräfte mit einem Schubfluss von etwa 5-40 N/mm übertragen, eine effiziente Ausnutzung der textilen Bewehrung ist nicht möglich. Signifikante Verbesserungen zur Übertragung der Verbundkräfte versprechen Lösungen mit einer Profilierung der Garnoberfläche [5]. Daher wurden im Rahmen des IGF-Forschungsprojektes 21375 am ITM der TU Dresden neuartige Technologie zur kontinuierlichen und reproduzierbaren Herstellung profilierter textiler Hochleistungsgarne und deren Weiterverarbeitung zu Bewehrungsstrukturen entwickelt. Diese neuartigen,

profilierten Bewehrungen zeichnen sich dadurch aus, dass diese im Betonverbund deutlich höhere Kräfte übertragen können [6,7]. Zur Generierung einer Profilierung auf Garnebene wurden Lösungen auf Basis der Flechttechnik und mittels tränkumformtechnischer Verfahren simulationsgestützt entwickelt und umgesetzt. Die Prämissen waren eine unnachgiebige Profilgebung mit garnaxial symmetrischem Aufbau, damit eine gleichmäßige und hohe Lastübertragung gewährleistet ist. Die Herstellung gitterartiger Bewehrungsstrukturen, bestehend aus den profilierten Bewehrungsgarnen, erfolgte durch die Weiterentwicklung der Multiaxial-Kettenwirktechnik. Diese wurde entsprechend der notwendigen Anpassungsmaßnahmen zur schädigungsarmen und anforderungsgerechten Weiterverarbeitung der profilierten Bewehrungsgarne zu Gitterstrukturen hinsichtlich der bestehenden Teilprozesse (Garnzuführung, Schusslegung, Maschenbildung, Trängung und Aufwicklung) modular weiterentwickelt.

Entwicklung der neuartig profilierten Bewehrungsgarne

Für die anforderungsgerechte Entwicklung von profilierten Bewehrungsgarnen für Betonanwendungen erfolgte eine simulationsgestützte Garnentwicklung auf Basis der Flecht- und Tränkumformtechnik. Die wesentliche Herausforderung bestand insbesondere darin, profilierte Garne mit minimaler Strukturdehnung zu realisieren, sodass beim Versagen der Betonmatrix bei ca. 0,2 % Dehnung eine initiale Kraftübertragung der Textilbewehrung ermöglicht wird und die Rissbreiten minimiert werden [3]. Hierzu wurde eine neuartige Flechtstruktur mit einem Varioflechter entwickelt. Darüber hinaus wurde der Flechtprozess derart weiterentwickelt, dass eine ondulationsarme Vorstabilisierung der Flechtgarnstruktur während des Flechtprozesses ermöglicht wird und dennoch eine textile Weiterverarbeitbarkeit gewährleistet ist. Im Ergebnis wurden neuartige Varioflechtgarne sowie konventionelle Packungsflechtgarne bestehend aus Carbonfasern mit nahezu eliminierter Strukturdehnung, minimaler Faserschädigung und anforderungsgerechter Vorstabilisierung der Garnstruktur realisiert (siehe Tabelle 1).

Mit einer am ITM vorhandenen Laboranlage zur Fertigung von profilierten Carbonpolymergarnen wurden neuartige Profilarne mit patentierter Tetraeder-Geometrie entwickelt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Darstellung von glatten und profilierten Bewehrungsgarnen (3200 tex)

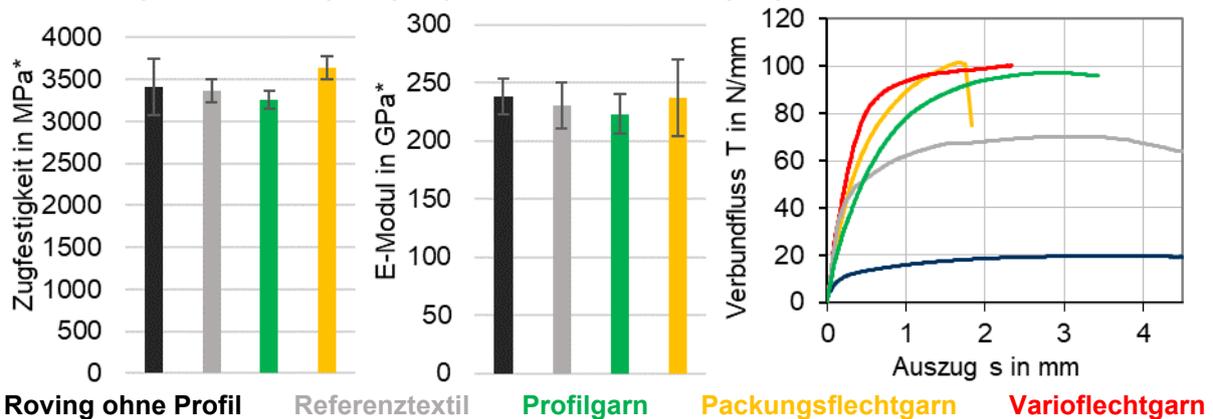
Garntyp	Darstellung	Geometriemodell
Roving ohne Profil		-
Referenztextil		-
Profilgarn		
Packungsflechtgarn		
Varioflechtgarn		

Für die Optimierung der Profilgeometrie sowie der Faserorientierung erfolgte zudem die Simulation des Kraft-Dehnungs-Verhaltens sowie des Auszugversuchs, wofür entsprechende Geometrie- und Materialmodelle der neuartigen Bewehrungsgarne entwickelt und validiert wurden (siehe Tabelle 1) [8].

Leistungspotential der neuartigen profilierten Bewehrungsgarne

Die neuentwickelten profilierten Bewehrungsgarne zeichnen sich durch nahezu unveränderte zugmechanische Eigenschaften, jedoch bis zu 500 % höhere Verbundeigenschaften im

Vergleich zu Carbonrovings ohne Profilierung bzw. aus Referenztextilien extrahierten Rovings aus (siehe Abbildung 1). Zudem weisen sie keine erkennliche Strukturdehnung auf, sodass eine initiale Kraftübertragung ohne zusätzliche Rissöffnung nach dem Versagen der Betonmatrix möglich ist. Jedoch konnte eine Verbundsteigerung um über 500 % von ca. 20 N/mm der Carbonrovings ohne Profil auf über 100 N/mm der profilierten Bewehrungsgarne erzielt werden, womit eine signifikante Steigerung der Materialeffizienz einhergeht (siehe Abbildung 1). Hierbei zeichnen sich insbesondere die Varioflechtgarne durch sehr hohe Verbundsteifigkeiten aus, die für eine initiale Kraftübertragung von besonderem Interesse sind. Die Packungsflechtgarne sowie die Profilarne mit Tetraeder-Geometrie haben annähernd gleiche Verbundeigenschaften. Die Verbundsteifigkeit ist im Vergleich zu den Varioflechtgarne etwas geringer, jedoch ist deren Fertigung produktiver.



Roving ohne Profil Referenztextil Profilgarn Packungsflechtgarn Varioflechtgarn
 *Bezogen auf den Netto-Filamentquerschnitt (1,81 mm²)

Abbildung 1: Zugmechanische Eigenschaften am Garn und Verbundfluss-Schlupf-Beziehung (im Beton) von unprofilierten sowie den entwickelten profilierten Bewehrungsgarne

Weiterentwicklung des Flächenbildungsprozesses

Zur Verarbeitung der neuartig profilierten Bewehrungsgarne zu einer gitterförmigen Bewehrungsstruktur wurde eine am ITM vorhandene Biaxial-Kettenwirkmaschine des Typs Malimo 14022 sowie die entsprechenden Teilprozesse (Garnezuführung, Schusslegung, Maschenbildung, Tränkung und Aufwicklung) angepasst und weiterentwickelt, sodass einerseits die vorstabilisierten Flechtgarne sowie die konsolidierten tetraederförmigen Profilarne weiterverarbeitbar sind. Hierzu wurde insbesondere der Schusslegungsprozess dahingegen modifiziert, dass ein neuartiger Schussfadenführer für die Schusslegung der vorstabilisierten Flechtgarne entwickelt wurde. Die biegesteifen Profilarne können nicht mit dem konventionellen Schusslegungsverfahren verarbeitet werden, sodass ein neuartiges Stabablagensystem bestehend aus eine Schussstab-Magazin-Speicher und einer Welle mit Profilwalzen entwickelt wurde (siehe Abbildung 2). Die vorkonfektionierten Schussstäbe wurden über das Stabablagensystem vereinzelt in eine mit neuen Halteelemente modifizierte Transportkette eingelegt.

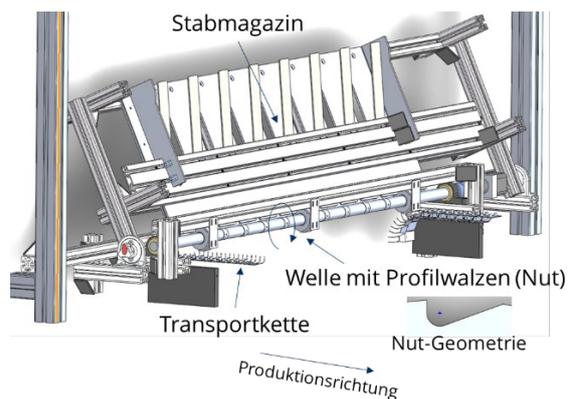


Abbildung 2: Stabablagensystems

Im Gegensatz zu den vollständig konsolidierten Profilgarnen, die keine weitere Tränkung benötigen, wurden die vorstabilisierten Flechtgarne zur Gewährleistung der textilen Verarbeitbarkeit im Nachgang des textilen Flächenbildungsprozesses getränkt und konsolidiert. Auf Grundlage umfangreicher Fertigungsversuche wurde ein neuartiges Imprägnierungssystem auf Basis des Kiss-Coater-Verfahrens mit zusätzlicher Streichwalze für einen beidseitigen Imprägnierungsmittelauftrag der vorstabilisierten Flechtgarne entwickelt.

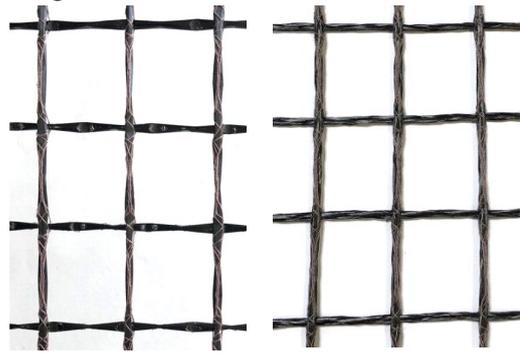


Abbildung 3: Textilbetonbewehrung aus Profil- (links) und Flechtgarnen (rechts)

Mit der umgesetzten Anlagentechnik wurden verschiedene Bewehrungsstrukturen gefertigt und charakterisiert. Die Abbildung 3 zeigt exemplarisch eine neuartige profilierte Textilbetonbewehrung bestehend aus vorgefertigten Profilgarnen.

Zusammenfassung

Am ITM der TU Dresden wurden neuartige, verbundoptimierte Bewehrungsgarne auf Basis der Flecht- und Tränkungstechnik simulationsgestützt entwickelt, die bis zu 500 % höhere Verbundkräfte im Beton als Garne ohne Profilierung übertragen können. Die Profil- und Flechtgarne weisen bereits bei einer Verbundlänge von nur 50 mm eine vollständige Verankerung auf. Mit der am ITM entwickelten Tränkungstechnik konnten tetraederförmige Profilarne gefertigt werden, die aufgrund der patentierten Tetraedergeometrie das zugmechanische Leistungspotential der Carbonfasern nahezu vollständig ausnutzen können. Weiterhin wurde im Zuge der Flechtgarnentwicklung eine neue Flechtstruktur entwickelt, welche die nahezu vollständige Eliminierung der Strukturdehnung unter Last ermöglichte. Somit war die Fertigung von profilierten Bewehrungsgarnen mit sehr hohen zugmechanischen Eigenschaften möglich. Darüber hinaus wurde die Multiaxial-Kettenwirktechnik derart weiterentwickelt, dass die neuartigen Bewehrungsgarne (Profil- und Flechtgarne) schädigungsfrei zu gitterförmigen Textilbetonbewehrungen mit verbundoptimierter Profilierung verarbeitet werden können. Daraus ergibt sich eine deutlich höhere Materialeffizienz der Textilbewehrung, sodass bisher notwendige unverhältnismäßige Überdimensionierungen und große Überlappungslängen deutlich reduziert werden können. Dies ist insbesondere in Anbetracht der energieintensiven Herstellung von Carbonfasern und damit für den Nachhaltigkeitsanspruch der zukunftsweisenden Carbonbetontechnologie von enormer Bedeutung, um das Bauen der Zukunft ressourcenschonend und nachhaltig zu gestalten. Die erzielten Projektergebnisse stellen zudem einen wesentlichen Beitrag zur Herstellung von extrem belastbaren Textilbetonstrukturen mit deutlich besseren Verbundeigenschaften dar, sodass für die Bauindustrie perspektivisch neue Möglichkeiten zur Bauteilfertigung im Bereich der Sanierung und des Neubaus entstehen.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 21375 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der Schlussbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Quellen

- [1] Spiegel, D.: Uno-Report über Gebäudeemissionen: Klimaproblem, in Beton gegossen. In: DER SPIEGEL (2020-12-16), URL: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/klimawandel-38-prozent-der-co2-emissionen-stammen-aus-dem-gebauedesektor-a-b31a21c4-a3bb-4b00-a5fc-869091ee6ca4>
- [2] Plettendorff, M.; Rehrmann, M.: Klimaschutz auf dem Bau: Carbonbeton schlägt Stahlbeton. In: NDR (2022-07-11), URL: <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Klimaschutz-auf-dem-Bau-Carbonbeton-schlaegt-Stahlbeton,carbonbeton100.html>
- [3] Curbach, M.; May, S.; Müller, E.; Schumann, A.; Schütze, E.; Wagner, J.: Verstärken mit Carbonbeton. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): Beton-Kalender 2022, Berlin: Ernst & Sohn, 2022, S. 761–804
- [4] Kruppke, I.; Butler, M.; Schneider, K.; Hund, R.-D.; Mechtcherine, V.; Cherif, C.: Carbon fibre reinforced concrete: Dependency of bond strength on Tg of yarn impregnating polymer. *Materials Sciences and Applications* 10 (2019) 4, S. 328–348 – DOI: 10.4236/msa.2019.104025
- [5] Hengstermann, M.; Abdkader, A.; Cherif, C.: Innovative oberflächenprofilierte Bewehrungsgarnstrukturen mit verbesserter Kraftübertragung im Beton. *TUDALIT-Magazin* (2019) 20, S. 7
- [6] Penzel, P.; May, M.; Hahn, L.; Cherif, C.; Curbach, M.: Tetrahedral profiled carbon rovings for concrete reinforcements. *Solid State Phenomena* 333 (2022), S. 173–182 – DOI: 10.4028/p-mcb200
- [7] Penzel, P.; May, M.; Hahn, L.; Scheerer, S.; Michler, H.; Butler, M.; Waldmann, M.; Curbach, M.; Cherif, C.; Mechtcherine, V.: Bond Modification of Carbon Rovings through Profiling. *Materials* 15 (2022) 16, 5581 – DOI: 10.3390/ma15165581
- [8] Penzel, P.; Seidel, J.; Lang, T.-G.; Hahn, L.; Cherif, C.; Mechtcherine, V.: Simulation based development of profiled carbon rovings for concrete reinforcements. In: *Proceedings AUTEX 2022 Conference Proceedings*. S. 538-542. DOI: 10.34658/9788366741751.114