

Entwicklung endkonturnah gewebter, gekrümmter Profilpreformen

Autoren: Nuss, Dominik*; Huỳnh, Thị Anh Mỹ; Gereke Thomas; Hoffmann, Gerald; Cherif, Chokri

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

Am ITM erfolgte im IGF-Projekt 20903 BR (Gekrümmte Profilpreformen) die simulationsgestützte Entwicklung und webtechnische Umsetzung integral gefertigter gekrümmter Profilpreformen mit anforderungsgerechter Querschnittsänderung entlang der Profillänge zur Verstärkung schalenförmiger FKV-Bauteile.

Einleitung

Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) bieten aufgrund ihres hervorragenden Verhältnisses zwischen erzielbarer Steifigkeit bei gleichzeitig niedrigem Gewicht ein enormes Leichtbaupotential. Dadurch können bewegte Massen in allen Bereichen des Maschinen-, Flugzeug- und Anlagenbaus reduziert und somit Ressourcen eingespart werden. Ein konsequenter Leichtbau erfordert die Verbindung des Materialleichtbaus mit dem konstruktiven Leichtbau [1, 2]. Dies wird z. B. bei schalenförmigen Bauteilen durch die Versteifung mit entsprechenden profillförmigen Rippen-, Spanten oder Stringerverstärkungen realisiert [3]. Die Versteifung erhöht die Biege-, Beul- und Torsionssteifigkeit der Bauteile maßgeblich [4, 5]. Aus den zahlreichen Anwendungen resultieren dabei unterschiedliche Anforderungen an die Profile. So müssen z. B. Krümmungen und Querschnittsdimensionierungen der Profile entsprechend der auftretenden Lasten und des vorgegebenen Bauraums ausgelegt werden. Die Herstellung der notwendigen Verstärkungsprofilpreformen, häufig aus Geweben, erfolgt jedoch meist im sequentiellen Preforming, das noch durch einen niedrigen Automatisierungsgrad geprägt ist [6]. Die dabei notwendigen Prozessschritte Zuschnitt, Lagenaufbau, Umformen sowie Verdichten und Vorfizieren verursachen bis zu 30 % der Gesamtbauteilkosten. Zusätzlich sind durch den Einsatz mehrerer einzelner Teilzuschnitte die Fasern nicht durchgehend und nicht lastgerecht im Bauteil angeordnet, weshalb das Leichtbaupotential der Hochleistungsfasern nicht vollständig ausgeschöpft werden kann [7]. Die Vermeidung von Kerbspannungen in Zwickelbereichen erfordert außerdem meist das aufwändige Einlegen eines separat zu fertigenden Keders in die Preform.

Zielsetzung und Lösungsweg

Im Rahmen dieses IGF-Projektes wurde deshalb anhand des 3D-Webens eine Lösung zur direkten endkonturnahen, webtechnischen Fertigung gekrümmter 3D-Profilpreformen entwickelt. Unter Fertigung endkonturnaher 3D-Gewebe wird hier die direkte Herstellung von 2,5D-Gewebehälften durch Kombination von Mehrlagenweben mit angepassten Bindungen mit anschließender Umformung zur einstückigen 3D-Preform verstanden. Die Umformung umfasst die Geometrieänderung im Ausformprozess, wobei die Struktur des Gewebes unverändert bleibt. Das Drapieren verändert die Struktur und Geometrie des Gewebes.

Der Forschungsansatz beruht darauf, die Profilhälften schräg zur Fertigungsrichtung anzuordnen und somit die Verstärkungsfäden in $\pm 45^\circ$ -Richtung zur Profilachse anzuordnen. Die $\pm 45^\circ$ -Lagen in FKV-Profilen ermöglichen, im Gegensatz zu $0^\circ/90^\circ$ -Lagen, die für schalenförmige Bauteile erforderliche hohe Schubstabilität [8, 9] und eine bessere Drapierung der gewebten 2,5D-Profilhälften zu 3D-Profilpreformen. Das zentrale Element

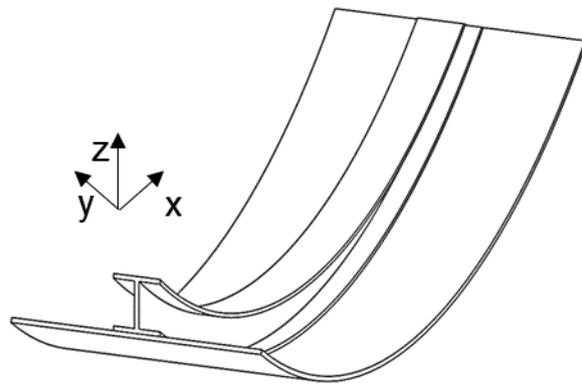


Abbildung 1: Beispiel Profilgeometrie

des Forschungsvorhabens bestand in der Entwicklung von Profilhälften mit angepasster Krümmung um die Y-Achse (vgl. Abbildung 1), was bisher webtechnisch nicht umgesetzt werden konnte. Dabei wurden auch die Möglichkeiten und Grenzen zur Anpassung der Krümmung sowie des Querschnittes entlang der Profillänge erforscht. Darüber hinaus erfolgte eine gezielte Bindungsentwicklung, sodass das nachträgliche Einlegen von Kederbändern zur Minimierung der Kerbspannungen im Zwickelbereich entfallen kann. Die Entwicklung der Gewebeprofilpreformen erfolgte auf einer Jacquard-Greiferwebmaschine mit 2400 tex Glasfilamentgarn.

Ergebnisse

Gewebe- und Modellentwicklung:

Für die Entwicklung der gekrümmten Profilhalbzeuge wurde zuerst die Profilgeometrie festgelegt. Dabei wurden aufgrund des weit verbreiteten Einsatzes sowie der hohen Komplexität Profile mit T- und I-Querschnitt ausgewählt. Für die Gewebeentwicklung der Profilhalbzeuge wurde im ersten Schritt der Ausgangspunkt für die Abwicklung der Profilgeometrie in die Webebene festgelegt. Dabei soll der Bereich der Flansche als zwei voneinander getrennte Gewebelagen ausgeführt und im Bereich des Steges zu einer Gewebelage zusammengeführt werden. Zur Ausformung der Profile erfolgt nach dem Weben der Zuschnitt der Außenkonturen und das Aufklappen der zweilagigen Flanschbereiche. Der Übergang zwischen Flansch- und Stegbereich bildet den Zwickel. Damit eine nachträgliche Umformung der gewebten Profilhalbzeuge möglich wird, müssen die Profile mit diagonal, ca. 45° zur Profillängsachse ausgerichteten Fäden gefertigt werden (vgl. Abbildung 2). Dazu müssen die entsprechenden Bindungen der Teilflächen so aufeinander abgestimmt werden, dass deren Rapporte in Schuss- und Kettfadenrichtung ineinander aufgehen. Für die Bereiche Flansch, Steg und Zwickel wurden spezielle Mehrlagenbindungen entwickelt und analysiert. Die Untersuchungen im Zwickel zeigen, dass die anzuordnende Fasermenge in hohem Maße über die Bindungen gesteuert werden kann (

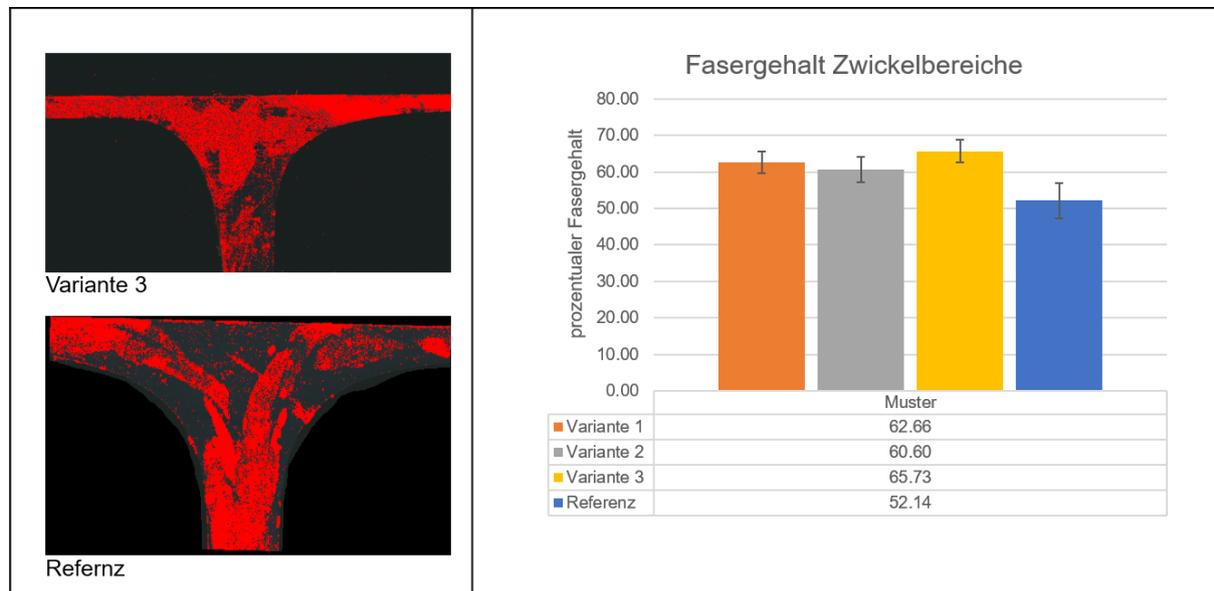


Abbildung 3). Zur Abbildung der geforderten, einzuwebenden Krümmung der Profilhalbzeuge wurde eine Programmroutine entwickelt, die anhand von krümmungsbeschreibenden Gleichungen die entsprechende Anordnung der Bindungsbereiche softwaregestützt generiert. Die Berechnung der Zielbindung für das zu webende Profilhalbzeug mittels Programmroutine hat dabei den entscheidenden Vorteil, dass die einzelnen Bindungsbereiche aufeinander abgestimmt sind und es somit nicht zu unerwünschten Kett- oder Schussfadenhebungen kommt. Die

Krümmung der zu webenden Profilhalbzeuge kann je nach Radius als Kreisgleichung, Polynomgleichung oder trigonometrische Gleichung angegeben werden. Als Ausgabe der Programmroutine wird die Bindung direkt als Bild erstellt und ist so zur Erstellung der Steuerungsdatei der Jacquardmaschine mittels entsprechenden Softwarelösungen verfügbar.



Abbildung 2: Webkonzept Profilpreformen

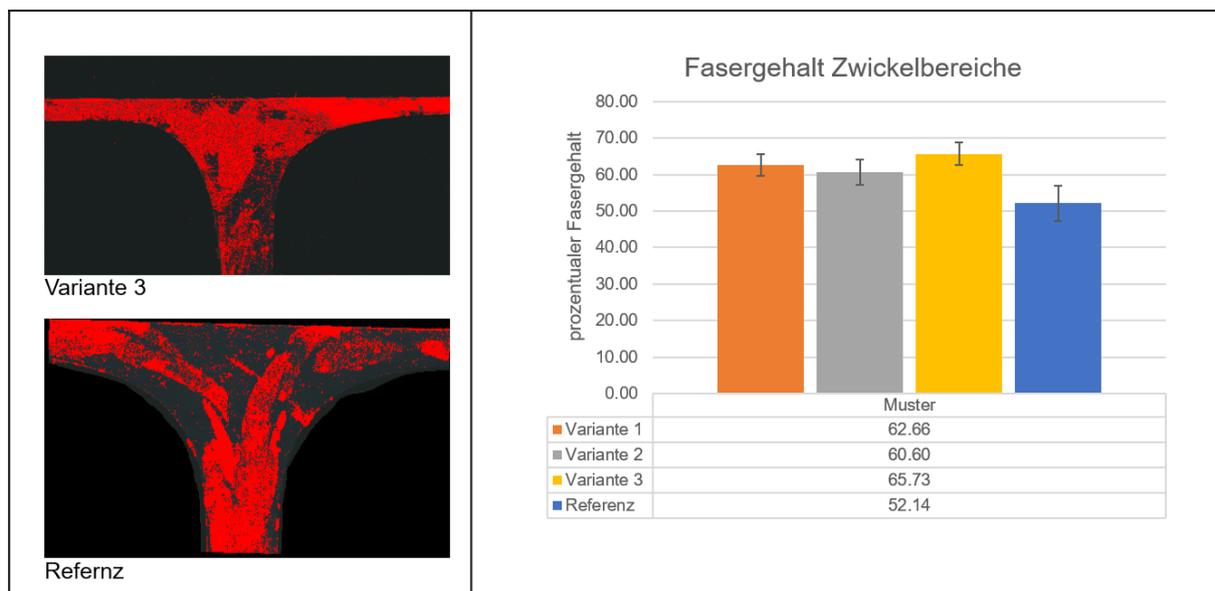


Abbildung 3: Ergebnisse Bindungsanalyse Zwickelbereich

Modellentwicklung:

Bei der Fertigung gekrümmter Profilhalbzeuge wird ein Teil des Krümmungsverlaufes eingewebt und anschließend durch Umformen entsprechend der Zielkrümmung drapiert. Für eine passgenaue Umsetzung der Bindung entsprechend der gewünschten Krümmung des Profils erfolgt die gemeinsame simulationstechnische Abbildung der Abwicklung des zu webenden 2,5D-Profilhalbzeuges und der Drapierung der Teilflächen. Zur Berechnung der Umformung wurden zunächst die textilphysikalischen Eigenschaften der entwickelten Gewebestrukturen in einem FE-Modell nachgebildet und in die Softwareumgebung LS-DYNA implementiert. Im Ergebnis der Simulation ist nun im Vorfeld die Umformung der gewebten Struktur berechenbar und mit der Zielkrümmung vergleichbar.

Demonstrator:

Zur Validierung der im Projekt entwickelten Lösungen für die Fertigung gekrümmter, gewebter Profilhalbzeuge wurde eine vollständige Prozesskette aufgestellt und anhand der Fertigung eines Demonstrators überprüft. Als Demonstratorgeometrie wurde ein gekrümmtes Profil mit I-Querschnitt ausgewählt (Steghöhe 140 mm, Innenradius der Krümmung 500 mm). Die Prozesskette beginnt mit der Erstellung des CAD-Modells entsprechend der geforderten Zielgeometrie und der daraus resultierenden Zuweisung der Teilflächen. Anschließend erfolgt die Aus- und Umformsimulation. Dabei wird die einzuwebende Krümmung bestimmt und die Strukturverzerrung aufgrund der auftretenden Umformkräfte analysiert. Mittels der Simulation wurden die in die Gewebestruktur einzuwebenden Krümmungsverläufe berechnet und für die Bindungsentwicklung herangezogen. Die daraus resultierenden Krümmungsgleichungen wurden in die entwickelte Programmroutine überführt und die Bindungsdatei für die Gewebe generiert. Die Ausgabe der Bindungsgenerierung wurde in die Softwareumgebung EAT-Design Scope eingelesen und die Steuerungsdatei der Jacquardmaschine erstellt. Anschließend wurde die Struktur gewebt, aus der Webebene entnommen und schlussendlich auf die Zielkrümmung umgeformt.

Zur Validierung der erzielten Krümmung wurde die Gewebepreform eingescant und mit dem Ausgangs-CAD-Modell abgeglichen. Im Ergebnis beträgt die Abweichung zwischen Soll- und Ist Geometrie am Innenradius 2,4 % und am Außenradius 2,2 %.

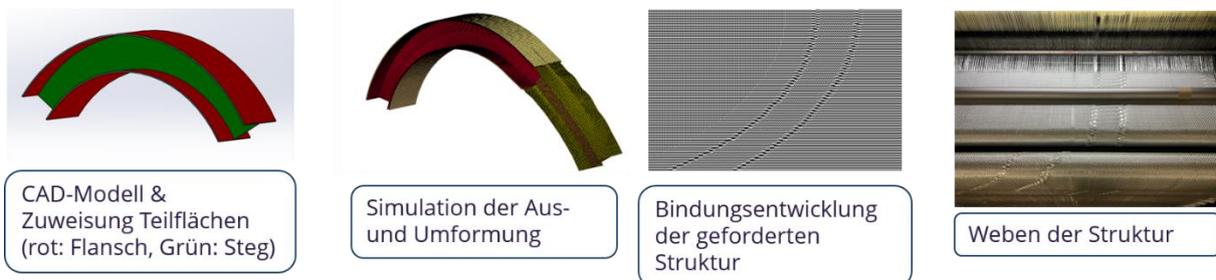


Abbildung 4: Prozesskette Weben Profilpreformen

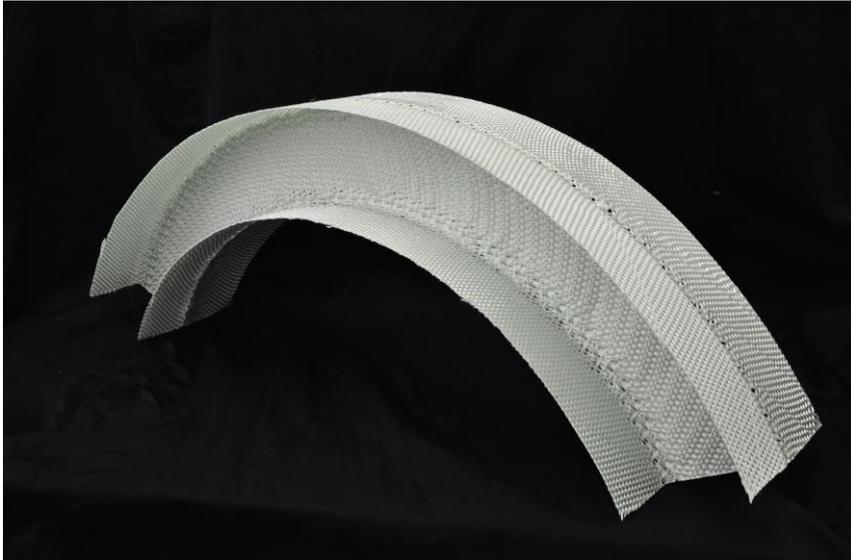


Abbildung 5: Demonstratorbauteil

Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der in diesem Projekt erarbeiteten Ergebnisse sind gekrümmte Profilhalbzeuge für FKV-Anwendungen nahtlos und endkonturnah auf industriell verfügbaren Jacquard-Webmaschinen herstellbar. Diese Halbzeuge sind insbesondere zur Verstärkung schalenförmiger Bauteile einsetzbar [10]. Die im Projekt entwickelte Prozesskette ermöglicht je nach geforderter Krümmung die direkte Überführung des CAD-Modells in ein Gewebe.

Zur Umsetzung der Projektzielstellung wurden spezielle Mehrlagengewebestrukturen und deren Nachbildung in einer Simulationsumgebung entwickelt. Die Entwicklung einer Programmroutine ermöglicht eine direkte Bindungsgenerierung, die die entsprechend geforderten einzuwebenden Krümmungsverläufe nachbilden kann. Die gesamten Ergebnisse wurden anhand der Fertigung eines Demonstrators in Form eines gekrümmten I-Profiles validiert und der Leistungsnachweis der Technologie des endkonturnahen Webens zur Fertigung nahtloser Gewebeprofilpreformen erbracht.

Für die Entwicklung der Prozessschritte wurden industriell verfügbare Maschinenperipherie und verbreitete Softwarelösungen eingesetzt. Das erlaubt einen einfachen Transfer der Projektergebnisse in die KMU-geprägten Webereien. Eine industrielle Anwendung der Projektergebnisse ist insbesondere im Automobil-Flugzeug- und Schiffsbau (z. B. Rumpfverstärkungen) oder im Maschinen und Anlagenbau (z. B. Rahmensysteme) zu erwarten.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 20903 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e. V., Reinhardtstraße 12-14, 10117 Berlin, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Autoren danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel. Der Forschungsbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Literaturverzeichnis

- [1] FAZELI, M.; AHRENDT, D.; KRZYWINSKI, S.; HOFFMANN, G.; CHERIF, C.:
Development of a CAE-supported technology for the flexible manufacturing of complex woven 3D net-shape-preforms. *Technical Textiles* 61(2018) 5, S. 81-85.
- [2] CHERIF, C.: *Textile Werkstoffe für den Leichtbau*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. - ISBN 9783642179914.
- [3] CHEN, X.: *Advances in 3D textiles*. Band number 167, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute, 2015. - ISBN 9781782422143.
- [4] SCHÜRMMANN, H.: *Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden*. 2 Auflage, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. - ISBN 978-3-540-72189-5.
- [5] FRIEDRICH, H. E.: *Leichtbau in der Fahrzeugtechnik*. Wiesbaden, s.l.: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013. - ISBN 9783834814678.
- [6] GOMMEL, H.: *Textile Wertschöpfungskette in der Carbonfaserverarbeitung*. 12. Denkendorfer Weberei-Kolloquium: (18.10.2012).
- [7] HÜBNER, M.; ROCHER, J.-E.; ALLAQUI, S.; HIVET, G.; GEREKE, T.; CHERIF, C.:
Simulation-based investigations on the drape behavior of 3D woven fabrics made of commingled yarns. *International Journal of Material Forming* 9(2016) 5, S. 591–599.
- [8] EHRENSTEIN, G. W.: *Faserverbund-Kunststoffe*. 2 Auflage, München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2006. - ISBN 9783446227163.
- [9] NEITZEL, M.; MITSCHANG, P.; BREUER, U.: *Handbuch Verbundwerkstoffe*. 1 Auflage, s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag, 2014. - ISBN 978-3-446-43696-1.
- [10] NUSS, D.; PHAM, M. Q.; SENNEWALD, C.; HOFFMANN, G.; CHERIF, C.: Spherically Curved Woven Fabrics - Shaping on the Loom. *Solid State Phenomena* 333(2022), S. 183–195.