

Entwicklung einer flexiblen Technologie zur Umsetzung von gewebten Knotenelementhalbzeugen komplexer Geometrie mit Verbindungsstellen in Integralbauweise

M. Fazeli, M. Hübner, G. Hoffmann; Ch. Cherif

Abstrakt

Leichtbaulösungen sind in den Branchen des Luftfahrzeug- und Automobilbaus im Hinblick auf den schonenden Umgang mit den begrenzten Ressourcen sehr wichtig. Um den konsequenten Leichtbau in diesen Bereichen weiter vorantreiben zu können, wird zunehmend der Aufbau von Rahmentragwerken aus FKV erforderlich. Zur Umsetzung von Rahmentragwerken aus FKV werden sowohl Profile aus Hochleistungsfaserstoffen mit teilweise hochkomplexer Geometrie als auch Knotenelemente benötigt. Solche 3D-Strukturen sind auf Spulenschützen-Bandwebmaschinen durch den endlosen und variablen Schusseintrag hervorragend herstellbar. Im Rahmen des IGF-Projektes 17591 BR wurden die Grundlagen für die Herstellung von 3D-gewebten Strukturen aus Hochleistungsfilamentgarnen für FKV-Rahmentragwerke geschaffen.

Einleitung und Problemstellung

Textile Halbzeuge zum Einsatz in Leichtbauanwendungen öffnen der Textiltechnik ein innovatives Produktspektrum, welches für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten von besonders praktischer Relevanz ist [1]. FKV-Bauteile haben sich in technischen Anwendungen und Branchen, wie Luftfahrt, Automotive, Marine, Bauwesen, Sport oder Freizeit, etabliert. In vielen technischen Anwendungen nehmen vor allem Baugruppen als Rahmentragwerke eine bedeutende Stellung ein. Typische Knotenkonfigurationen sind in den Branchen Luftfahrzeug- und Automobilbau oder Brückenbau zu finden [2]-[4]. Die zunehmende Notwendigkeit zur konsequenten Umsetzung des Leichtbaus in diesen Bereichen führt zu einer Attraktivität von anforderungsgerecht gestalteten textilen Knotenelementstrukturen für FKV-Bauteile. Obwohl bisher verschiedene Methoden zur Herstellung textiler dreidimensionaler Knotenelementstrukturen entwickelt wurden, kann die geforderte Bauteilgeometrie nicht vollständig erreicht werden [5], [6]. Für die effektive integrale textile Fertigung entsprechender Halbzeuge am weitesten fortgeschritten ist das Flechten. Obwohl sich 3D-Geflechte durch eine hohe erzielbare Formvielfalt auszeichnen, eine flexible Fertigung von Serienprodukten komplexer 3D-Geometrie ist aufgrund der hohen Investitions- und Vorbereitungskosten (z. B. Kernfertigung) bisher nicht etabliert [7].

Das Weben besitzt für die Umsetzung von Knotenelementhalbzeugen komplexer 3D-Geometrie ein hohes Potential. Gegenwärtig werden für viele technische Anwendungen vorzugsweise Gewebe eingesetzt [8]-[10]. Die Webtechnologie ist jedoch hinsichtlich ihrer Eignung zur Herstellung integral gefertigter komplex geformter Knotenelementhalbzeuge noch unzureichend erforscht. Insbesondere die webtechnischen Anforderungen zur Ausbildung der Gewebegeometrie, zur belastungsgerechten Fadenanordnung und die Ausbildung der Übergänge zwischen den Teilflächen in einer Struktur stellen hohe Herausforderungen. Deshalb besteht das Ziel in der simulationsgestützten Entwicklung einer flexiblen Technologie auf Basis der Schmalwebtechnik zur Umsetzung von gewebten Knotenelementhalbzeugen komplexer Geometrie mit Verbindungsstellen in Integralbauweise für die Verbindung von FKV-Bauteilen zum Einsatz als Rahmentragwerke. Von besonderem Interesse war dabei die Entwicklung der erforderlichen komplexen Bindungen zur Sicherstellung belastungsgerechter Fadenverläufe im späteren dreidimensionalen Bauteil unter Berücksichtigung der beim Nachformen auftretenden Strukturdeformationen. Für die Entwicklung der komplexen Bindungen für mehrflächige Gewebe werden am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM) vorhandene Softwaretools (DesignScope Victor, EAT GmbH) verwendet. Dabei gilt besonderes Augenmerk der Fertigung von Hohlstrukturen mit vielfältig gestalteten Abzweigungen mit für die Nachformung erforderlichen Materialreserven innerhalb der Struktur. Die Gewebeentwicklung erfolgte mit einer modernen Spulenschützen-Bandwebmaschine der Firma Mageba Textilmaschinen GmbH & Co. KG.

Ergebnisse

Die Entwicklung des Bindungskonzepts zur Realisierung von Knotenelementstrukturen basiert auf der Zerlegung und Abwicklung der einzelnen Teilelemente, da die Struktur nur flach auf der Bandwebmaschine gefertigt werden kann [11]. Durch die Zerlegung der Schläuche lässt sich ein Hauptschlauch bestimmen, der eine gerade sowie kontinuierliche Konstruktion in der Knotenelementstruktur besitzt und von dem die anderen Schläuche abzweigen (Abbildung 1). Die Knotenelementstruktur wird so abgewickelt, dass alle Schläuche entlang dem Hauptschlauch im abgeflachten Zustand vorliegen. Nach der Abwicklung der gewünschten Knotenelementstruktur entstehen in der mehrlagigen Gewebestruktur Lücken, die für die dreidimensionale Gestalt des daraus hergestellten Knotenelements entscheidend sind. Die Lückengeometrie ist von der Anordnung der Schläuche in dem geforderten Knotenelement ab-

hängig und kann mathematisch berechnet werden. Die Linien, die jede einzelne Lücke in dem abgeflachten Zustand einschließen, müssen anschließend verknüpft werden, um die kreisförmige Querschnittsform der einzelnen Elemente im Knotenbereich zu erreichen. Hierzu werden im Bereich der Lücke frei flottierende Fäden eingesetzt. Dadurch, dass diese Fäden nach dem Webprozess gezogen werden, schließen sich diese Lücken, während sich die flach liegenden Schläuche zum gewünschten dreidimensionalen Knotenelement aufstellen. Durch die vollständige Verknüpfung der Bindungsstelle ist die Herstellung der Knotenelementstruktur abgeschlossen.

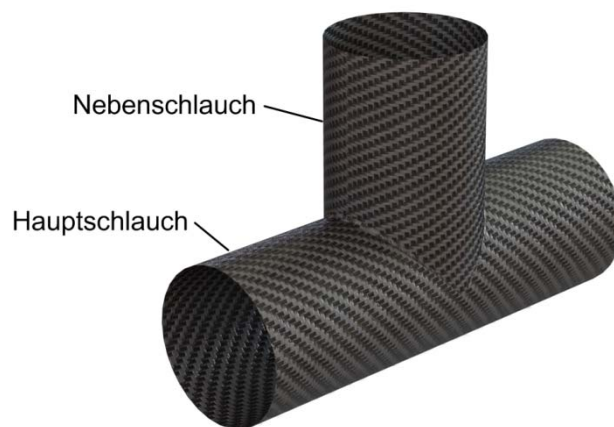


Abbildung 1: Darstellung der T- Struktur und Festlegung von Haupt- und Nebenschläuchen

Die Abwicklungskurven der Knotenelemente, die im Rahmen dieses Projekt entwickelt wurden, werden anhand der Zylinderschnittkurven berechnet (Abbildung 2). Entsprechend dem Durchmesser der Schläuche und dem von ihnen eingeschlossenen Winkel wird die Abwicklungskurve berechnet und grafisch und zahlenmäßig dargestellt. Die geometrischen Werte der Abwicklungskurven werden in die Bindungsgrafik überführt, wobei jeder Bindungspunkt durch einen Pixel repräsentiert wird. Um die Abwicklungskurven in die Bindungsgrafik einzufügen, erfolgt eine Umrechnung der geometrischen Werte auf die Anzahl der nötigen Bindungspunkte.

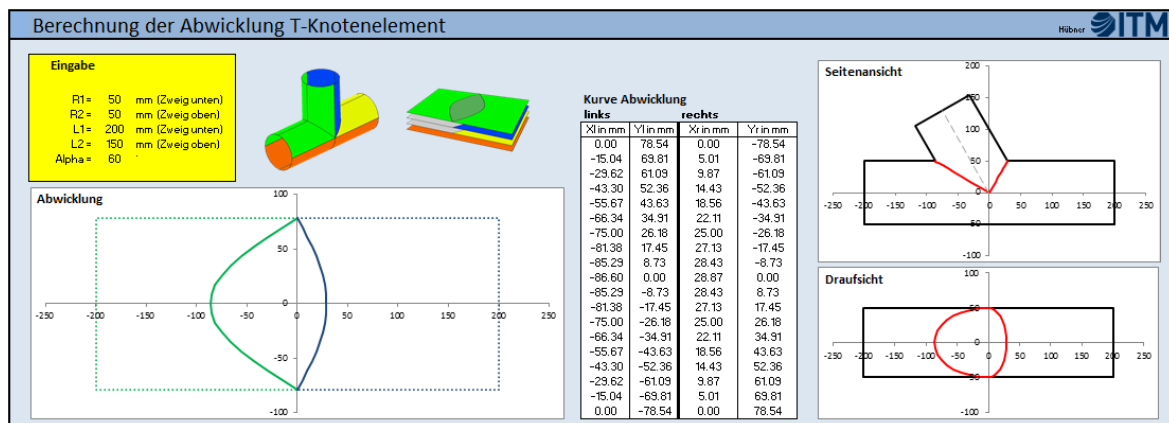


Abbildung 2: Berechnung der Abwicklung eines winkligen T-Knotenelementes

Zur Analyse der Gewebedeformation beim Ausformen der Knotenelemente wird eine Umformsimulation auf Basis der ebenen Abwicklungen und der Zielgeometrie durchgeführt. Für die Umformsimulation mit LS-DYNA[®] wird ein am ITM entwickeltes Materialmodell für Gewebe genutzt [12]. Die für die Simulation notwendigen Materialparameter (Zug-, Scher- und Biegeverhalten des Gewebes) wurden nach geltenden Normen experimentell an einem Referenzgewebe bestimmt. Abbildung 3a zeigt exemplarisch die bei der Ausformung eines T-Knotenelementes auftretende Scherung im Gewebe. Es ist deutlich zu erkennen, dass auch in den Übergangsbereichen zwischen den Zweigen und in den Zweigen selbst nahezu keine Scherung des Gewebes auftritt.

Zur Bestimmung der Anteile der notwendigen durchgängigen Verstärkungsfäden in den Übergangsbereichen wird eine Belastungssimulation der Verbundstruktur unter Nutzung der in der Umformsimulation ermittelten lokalen Faserorientierungen durchgeführt. Im Ergebnis der Belastungssimulation liegen die kritischen Bereiche im Verbundbauteil vor. In Abbildung 3b sind exemplarisch die auftretenden Spannungen im T-Knotenelement dargestellt. Die maximalen Spannungen treten an den Übergangsbereichen zwischen den Zweigen auf. Bei der Bindungsentwicklung ist darauf zu achten, dass in diesen Bereichen die Verstärkungsfasern durchlaufend sind. Durch das entwickelte Umformkonzept ist die notwendige Orientierung der Verstärkungsfasern gegeben.

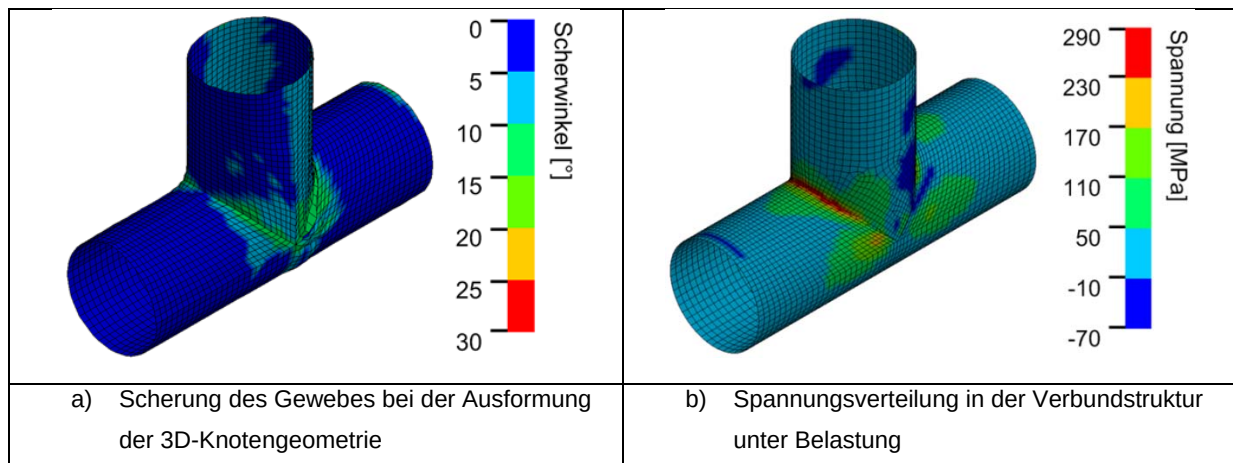


Abbildung 3: Ergebnisse der FE-Simulation am Beispiel eines T-Knotenelementes

Bezüglich der Bindungsentwicklung entstehen im Beispiel der T-Struktur aus Abbildung 4 drei Bereiche:

- Bereich A: Der Nebenschlauch verläuft innerhalb des Hauptschlauches.
- Bereich B: Übergangsbereich, in dem der Nebenschlauch aus dem Hauptschlauch hervorgeht und die Flottungen gewebt werden.
- Bereich C: Der Nebenschlauch liegt auf dem Hauptschlauch.

Abbildung 4 zeigt im rechten Bild die Bindungsgrafik mit den einzelnen Bindungsbereichen. Jeder Farbe muss dabei eine andere Bindung zugeordnet werden. Die Position der Schusseinträge in den jeweiligen Schlauch sind in Abbildung zusammengestellt.

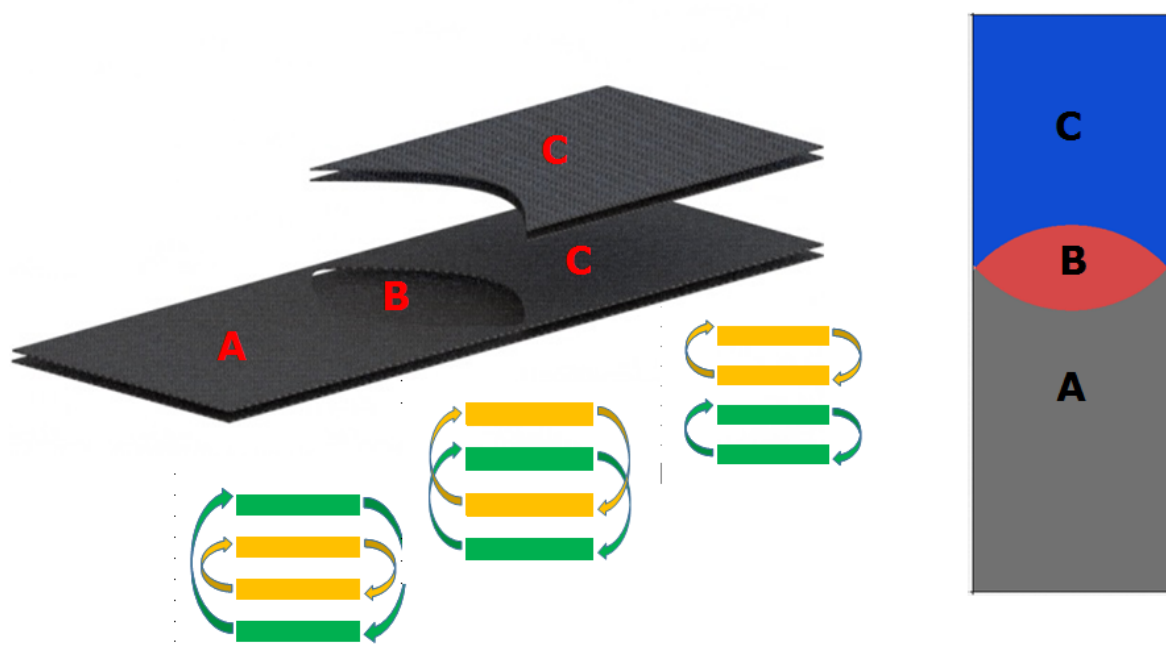


Abbildung 4: Bindungsgrafik, Bindungen T-Struktur

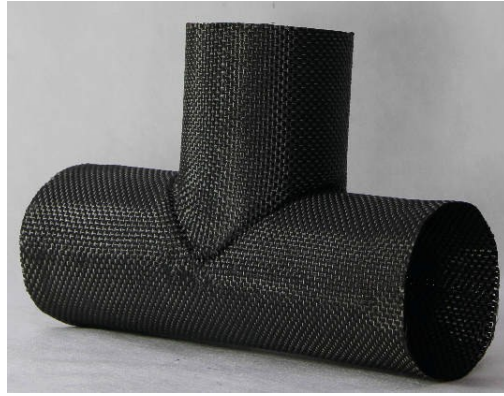


Abbildung 5: fertig gewebte und ausgeformte T-Struktur

Die exakte Umsetzung der berechneten Abwicklung, Lagenaufteilung und -wechsel, Kettfaden- und Schusspulenzuweisung ermöglicht die Fertigung einer T-Struktur wie in Abbildung 6. Mit nur einem Nachbearbeitungsschritt, in dem die Kettfäden der oberen Lage des Nebenschlauches gezogen werden, erhält man ein sehr gutes Ergebnis. Das bestätigt den Vergleich der fertigen T-Struktur mit dem CAD-Modell (siehe Abbildung 1). Nach diesem Prinzip wurden X-, LI- und W-Knotenelemente entwickelt und hergestellt (Abbildung 6).

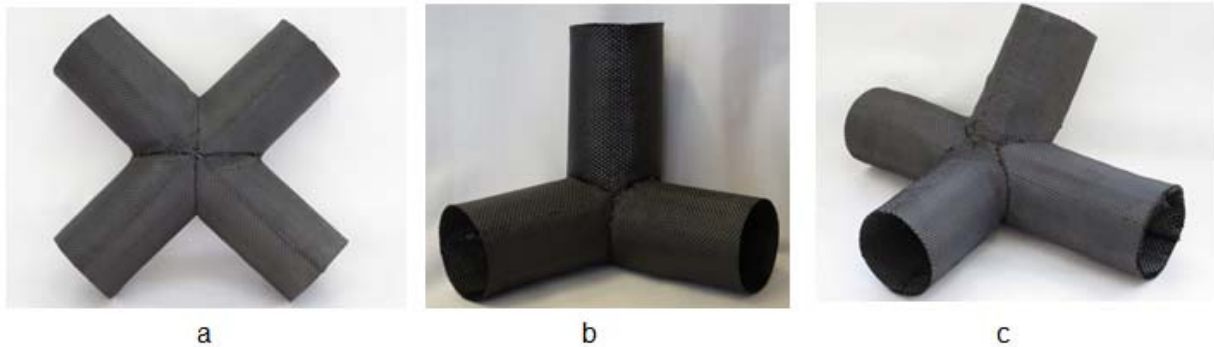


Abbildung 6: Gewebte Funktionsmuster: a) X-Struktur, b) LI-Struktur und c) W-Struktur

Zusammenfassung

Im Projekt erfolgt der Entwicklung einer flexiblen Technologie zur Umsetzung von gewebten Knotenelementhalbzeugen mit Verbindungsstellen in Integralbauweise (Gewebe Knotenelementhalbzeuge) aus Carbon-Filamentgarnen. Aufgrund der mit Spulenschützenwebmaschinen realisierbaren Strukturvielfalt der Gewebe ist eine Verarbeitbarkeit der Hochleistungs-Filamentgarne in Kett- und Schussrichtung solcher Webmaschinen für viele Anwendungsbereiche interessant. Im Kern der Entwicklung liegt die textiltechnische Realisierung von vielfältigen Bauteilkonfigurationen sowie anforderungsgerechten Verbindungsstellen der nahtlosen bzw. fugenlosen

Schlauchstrukturen. Als Grundlage hierfür dient die Bandwebtechnik mit dem hohen Potenzial zur produktiven, wirtschaftlichen und reproduzierbaren Herstellung von schlauch-förmigen Flächengebilden. Die resultierten Bindungen wurden auf der am ITM vorhandenen Bandwebmaschine der Mageba Textilmaschinen GmbH & Co. KG mit einer Jacquardmaschine der Stäubli GmbH erprobt. Die daraus hergestellten Demonstratoren zeigen, dass die 3D-Geometrien der Knotenelementstrukturen mit verbundwerkstoffgerechten fehlerfreien Verbindungsstellen in den Knotenbereichen realisiert sind.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17591 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel. Weiterhin danken wir den Firmen des Projektbegleitenden Ausschusses für die fachliche Unterstützung und die Bereitstellung von Versuchsmaterial sowie allen weiteren Partnern, die uns in der Forschungsarbeit zu diesem Themenkreis unterstützten. Der Abschlussbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Literaturverzeichnis

- [1] Smith, CS.: Design of marine structures in composite materials. Elsevier Applied Science (1990)
- [2] Ambrose, J.: Design of Building Trusses. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1994. – ISBN 0-471-55842-7
- [3] United States Patent. A/S Akers Mek. Verksted. (10.08.1982). Almeland; Lefranc. Pr.: US4343562 A
- [4] United States Patent. General Dynamics Corporation. (05.01.1982). Slysh. Pr.: US4308699 A
- [5] Zheng T, Li S, Jing S and Ou Y. Designing of 3D woven integrated T-joint tube. Textile Research Journal January 2012. DOI: 10.1177/0040517512467062.
- [6] Nunez JF and Schmitt JP. Shaped woven tubular softtissue prostheses and method of manufacturing the same. Patent US6840958 B2, USA, 2005.

- [7] Müller, L.; Milwich, M.; Gruhl, A.; Böhm, H.; Gude, M.; Haushahn, T.; Masselter, T.; Schwager, H.; Neinhuis, C.; Speck, T.: Biomimetically Optimized Branched Fiber Composites as Technical Components of High Load Capacity. *Technical Textiles* 56(2013)5, pp. 231–235
- [8] Fazeli, M.; Kern, M.; Hoffmann, G.; Cherif, Ch.: Development of three-dimensional profiled woven fabrics on narrow fabric looms. *Textile Research Journal* October DOI: 10.1177/0040517515606361
- [9] Islam, A.: 3D Woven structures and an overview of manufacturing technologies. In: 4th world conference on 3D fabrics and their applications, Aachen, Germany, 10-11 September 2012.
- [10] Taylor, L. W.; Chen, X.: 3D Woven Nodal Hollow Truss Structures – The Conventional Approach to Weaving Three Dimensional Nodal Structures. In: *Proceedings. Techtextil Symposium, Messe Frankfurt*, 13.06.2005
- [11] Fazeli, M.; Hübner, M.; Lehmann, T.; Gebhardt, U.; Hoffmann, G.; Cherif, Ch.: Development of seamless woven node element structures for application in integral constructions. *Textile Research Journal* November DOI: 10.1177/0040517515617425
- [12] Hübner, M.; Nezami, F.; Döbrich, O.; Gereke, T.; Cherif, Ch.: Drapiersimulation textiler Verstärkungsstrukturen auf Meso- und Makroebene am Beispiel komplexer Automobilgeometrien. In: *Proceedings. compoForm 2015, München*, 12. Mai 2015