

Fertigungstechnologie für gewebte lastangepasste 3D-Knotenelemente

Schegner, Ph. *; Hoffmann, G.; Schmidt A.-M.; Gereke, T., Chokri, Ch.

*Korrespondenz: TU Dresden

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik

01062 Dresden

Philipp.Schegner@tu-dresden.de

ABSTRACT

Die Einsparung von Energie und Material erfordert innovative Leichtbaulösungen. Zur Kombination von Struktur- und Materialleichtbau wurden Rahmentragwerke auf Basis von Faserverbundwerkstoffen entwickelt, die vor allem im Automobil-, Maschinen- und Anlagenbau zum Einsatz kommen. Während zahlreiche Leichtbauprofile zur Verfügung stehen, konnte die werkstoffgerechte und effiziente Gestaltung der erforderlichen Knotenelemente noch nicht gelöst werden. Erste Entwicklungen zu integral gefertigten Knotenelementen zeigen, dass derartige Strukturen im One-Shot-Verfahren ohne aufwendiges sequentielles Preforming gefertigt werden können. Die aktuellen Knotengeometrien haben jedoch eine reduzierte mechanische Performance, weil bei Belastungen des Verbundbauteils in den Übergängen der Abzweigung erhebliche Kerbspannungsspitzen auftreten. Mit den hier vorgestellten Entwicklungen von lastangepassten Knotenelementen können künftig leichte und hochsteife Rahmentragwerke in Faserverbundbauweise bereitgestellt werden. Im Projekt wurde eine Prozesskette zur CAD-gestützten geometrischen und bindungstechnischen Entwicklung anforderungsgerechter Halbzeuge für lastangepasste Knotenelemente auf Basis der Spulenschützen-Webtechnologie erarbeitet. Mit dem entwickelten Modul zum definierten Einbringen von Schussüberlängen können erstmals lastangepasste Geometrien in einem Prozessschritt realisiert werden.

Motivation

Im Rahmen der Energiewende leistet Deutschland seit Beginn der 1970er Jahre einen erheblichen Beitrag in der Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um global gesetzte Klimaziele zu erreichen. In den letzten Jahren zeigte sich, dass die hoch gesteckten Ziele nur durch den konsequenten Einsatz neuer Materialien und intelligenter Konstruktionen erreichbar sind [1]. So werden für die konsequente Kopplung von Material- und Strukturleichtbau Rahmenkonstruktionen aus Faserkunststoffverbunden (FKV) benötigt, die aus biegesteifen Profilen und verbindenden Knotenelemente bestehen. Insbesondere für die Knotenelemente fehlen auf Grund ihrer komplexen geometrischen Struktur bisher geeignete, kostengünstige und serientaugliche Fertigungsverfahren.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Materialien, wie Stahl und Aluminium, besitzen Hochleistungsfasern eine ausgeprägte Anisotropie, weshalb es notwendig ist, die Verstärkungsfasern im FKV lastgerecht anzuordnen. Bereits bei 10° Abweichungen des Lasteintragswinkels gegenüber dem Faserverlauf sinkt die Festigkeit eines unidirektionalen FKV um ca. 50 % [2]. Dies unterstreicht nochmals und gerade für FKV aus Hochleistungsfasern die Wichtigkeit einer lastangepassten Auslegung und Fertigung. Die Herstellung entsprechender FKV erfolgt dagegen derzeit unter Nutzung aufwendiger sequentieller Preformingprozesse, die das Zuschneiden, den Lagenaufbau, das Umformen, das Kompaktieren und das Vorfixieren beinhalten und ca. 50 % der Gesamtkosten von FKV verursachen [3]. Durch den notwendigen Einsatz mehrerer einzelner Teilzuschnitte sind die Fasern nicht durchgehend und nicht lastgerecht im FKV angeordnet. Dadurch ist das Leistungspotential der Hochleistungsfasern nur unzureichend nutzbar.

Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung einer Prozesskette für die simulationsgestützte Struktur- und Technologieentwicklung zur reproduzierbaren integralen Fertigung kom-

plexer FKV-Knotenelemente mit lastgerechter Geometrie auf Basis der Jacquard-Spulen-schützen-Webtechnologie. Die besonderen Herausforderungen liegen in der Validierung der Simulationsmodelle und der bindings- und webtechnischen Ausprägung der lastangepassten Bereiche (Verrundung) zwischen den Rohrabzweigungen. Abbildung 1 zeigt je ein Knotenelement - klassisch und mit Verrundung.



Abbildung 1: T-Knotenelement, links: klassisch, rechts: mit Verrundung (grün)

Ergebnisse

In enger Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss wurden die Anforderungen für die zu entwickelnden Knotenelemente erarbeitet. Für die durchzuführende Validierung der Modelle wurde ein Belastungsszenario ausgewählt. Ein am ITM entwickeltes makroskopisches Modell zur Beschreibung der Knotenelemente wurde um den detaillierten Lagenaufbau in den einzelnen Schlauchbereichen erweitert. Für die Validierung des Modells wurde ein Prüfstand zur Knotenprüfung entwickelt und umgesetzt. In Abbildung 2 ist das Simulationsergebnis mit der realen Prüfung gegenübergestellt. Das Modell konnte qualitativ (Beulen der Knoten an den gleichen Stellen) und quantitativ (durchschnittliche Maximalkraft 600 N) validiert werden.

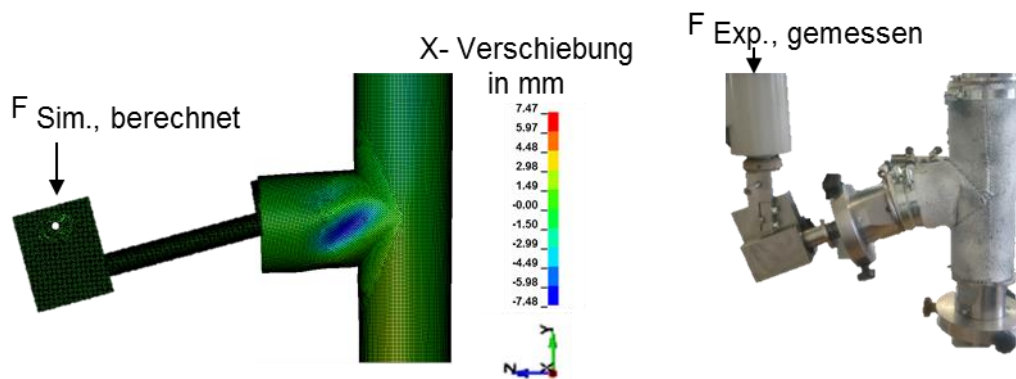


Abbildung 2: Vergleich der simulativen und experimentellen Analyse der Querbeanspruchung eines T-Knotenelements

Mit diesem erweiterten Modell des Knotenelementes wird das Belastungsszenario simuliert. Darauf aufbauend erfolgte die Ermittlung des Einflusses des Verrundungsradius von $R = 0$ mm (keine Verrundung, Kerbspannung) bis hin zu $R = 100$ mm (kerspannungsfrei). Die maximale Spannung in der Rohrabzweigung ist bei $R = 50$ mm am kleinsten und insgesamt auf der Verrundungsfläche sehr homogen verteilt (vgl. Abbildung 3). Die Knotenelemente weisen mit $R = 50$ mm bei gleicher zulässiger Spannung eine um bis zu 20 % höhere Festigkeit auf.

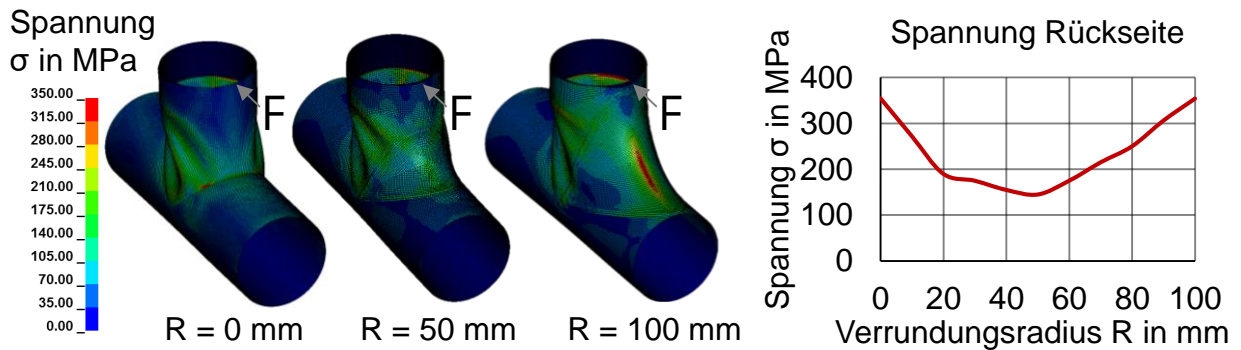


Abbildung 3: Vergleich der Spannungsverteilung bei verschiedenen Verrundungsradien unter Querbeltung des lastangepassten Knotenelements

Die Abwicklung der Knotenelemente in die Ebene wurde aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes 18805 BR durchgeführt [4]. Zur Abwicklung der Verrundungszone in die Ebene wurde eine Flächenverformung in Kett- und Schussrichtung modelliert. Die zur Ausformung des Knotens benötigte Überlänge entlang der Kettfäden ist durch das nicht Einbinden (Flottieren) der jeweiligen Fäden umgesetzt und bedarf keiner neuen Berechnungen. Die Ausformung des lastgerechten Knotens mit Verrundung verlangt jedoch zur Umsetzung der modellierten Verformung der Verrundungsfläche zusätzlich die webtechnische Integration von Überlängen in Schussrichtung. Die Bestimmung der notwendigen Überlängen in Schussrichtung erfolgt mit einem entwickelten Matlab-Skript. Das definierte Einbringen von Überlängen in Schussrichtung in einer Gewebelage im Webprozess ist mit herkömmlichen Techniken, z. B. einem V-Riet, nicht realisierbar. Daher wurde eine neue Lösung entwickelt. Technisch wird dies durch ein Modul mit einem Schlaufenhaken umgesetzt, der seitlich neben dem Gewebe aber auch innerhalb der Webbreite angeordnet werden kann. Da die Schussüberlängen zum Ausformen der Verrundung vor allem in der Gewebemitte benötigt werden, ist der Schlaufenhaken in der Gewebemitte positioniert (vgl. Abbildung 4). Beim Schusseintrag mittels Schützen wird der Schussfaden sicher auf den Schlaufenhaken abgelegt und beim Blattanschlag mit dem Haken in eine definierte Position nach oben gezogen und so die notwendige Überlänge erzeugt.

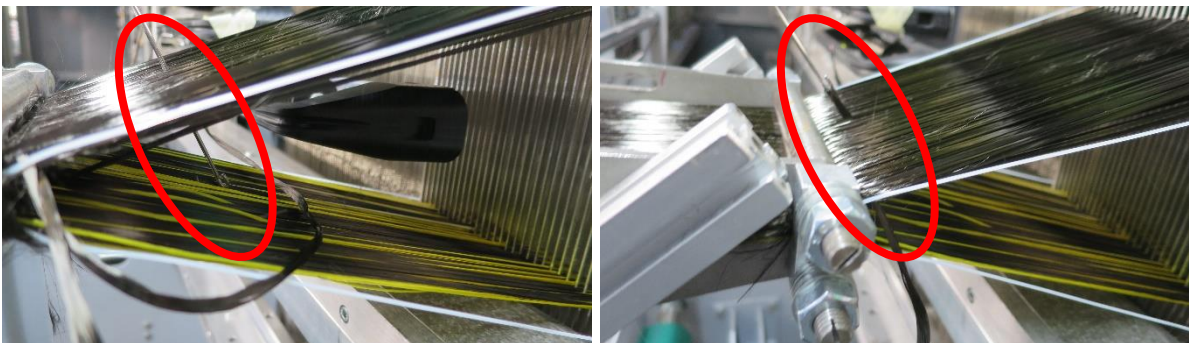


Abbildung 4: links: Schlaufenhaken im Eingriff rechts: Schlaufenhaken in Halteposition mit eingehängter Schlaufe

Auf Basis der mit der Software DesignScope der Firma EAT GmbH erstellten Bindungen und der mit dem entwickelten Matlab-Tools berechneten notwendigen Überlängen wurden lastangepasste Knotenelemente in reproduzierbarer Geometrie gefertigt und anschließend ausgeformt (vgl. Abbildung 5).

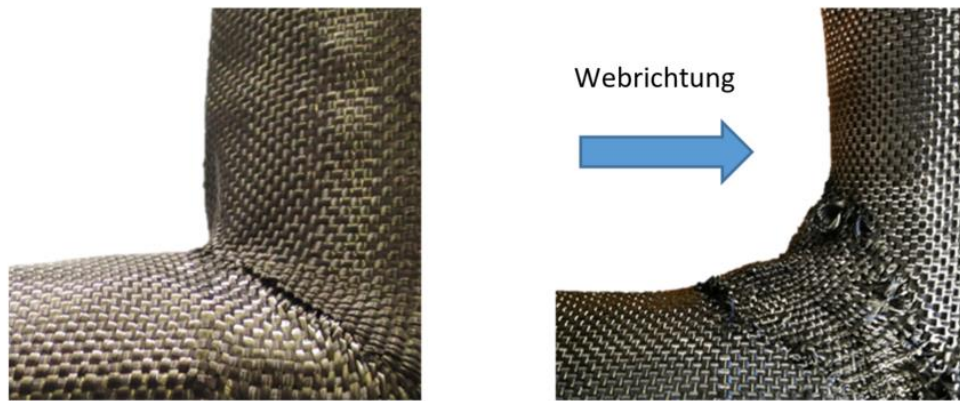


Abbildung 5: Vergleich zwischen klassischem Knotenelement (links) und lastgerechtem Knotenelement (rechts)

Schlussfolgerung

Mit der entwickelten Lösung zum definierten Einbringen von Überlängen in Schussrichtung können erstmals gewebte Knotenpreformen für kerbspannungsfreie Knotenelemente in einem Prozessschritt realisiert werden. Die erreichbare Lageabweichung der Fäden von max. $\pm 2\%$ bezogen auf die Halbzeugabmessungen zeigt die reproduzierbare Fertigung derartiger Knotenelemente. Auf Basis der entwickelten Prozesskette, die in den Textilfirmen als One-Shot-Technologie umsetzbar ist, sind für einen effizienteren Leichtbau in den Bereichen Automobil-, Maschinen- und Sportgerätebau lastangepasste Knotenelemente als Verbinder in Rahmentragwerken herstellbar. Diese zeichnen sich gegenüber sequenziell gefertigten Preformen durch eine erhöhte Steifigkeit von bis zu 20 % und eine kalkulierte Kostenreduktion von bis zu 30 % aus.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 20640 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstr. 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 Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der Abschlussbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literatur

1. Seeliger, W. *Whitepaper - Leichtbau: Neues Denken braucht das Land*, 2017 (accessed on 12 November 2021).
2. Cai, D.; Zhou, G.; Wang, X.; Li, C.; Deng, J. Experimental investigation on mechanical properties of unidirectional and woven fabric glass/epoxy composites under off-axis tensile loading. *Polymer Testing* 2017, 58, 142–152, doi:10.1016/j.polymeresting.2016.12.023.
3. *Textile Wertschöpfung in der Carbonfaserverarbeitung*; Gommel, H., Ed. 12. Denkendorfer Weberei-Kolloquium, 12. Denkendorfer Weberei-Kolloquium, Oct. 18, 2012, 2012.
4. Schegner, P.; Hoffmann, G.; Cherif, C. Automatisierte großserienfähige Fertigungstechnologie für gewebte komplexe 3D-Knotenstrukturen. *Technische Textilien* 63, 28–31.