

KURZVERÖFFENTLICHUNG

FVK-Gelenke Entwicklung von Gradientenstrukturen für flexible FVK-Bauteile mit einstellbaren mechanischen Eigenschaften und hoher Dauerfestigkeit

| | |
|-----------------------|--|
| Autoren: | Dr.-Ing. Larissa Born ² Felix Wollenhaupt ¹ Mona Mühlich ³ Dr.-Ing. Axel Körner ³ Florian Fritz ¹ Hermann Finckh ¹ Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers ³ Dr.-Ing. Hans-Jürgen Bauder ¹ Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser ^{1,2} |
| Forschungsstelle: | (1) DITF – Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (2) ITFT – Institut für Textil- und Fasertechnologien (3) itke – Institut für Tragwerkskonstruktionen und konstruktives Entwerfen |
| Erschienen: | 10.05.2023 |
| Bearbeitungszeitraum: | 01.08.2020 – 30.11.2022 |

Zusammenfassung

Zukünftig ist von einem steigenden Energieverbrauch durch den Betrieb von Gebäuden, aufgrund des Klimawandels gefolgt von steigenden Temperaturen einem wachsenden Bedarf für die Klimatisierung, auszugehen. Gleichzeitig werden in Gebäude immer größere Fensterfronten eingebaut, was diesen Effekt noch verstärkt. Um einem steigenden Energieverbrauch entgegenzuwirken, werden innovative Verschattungskonzepte benötigt, deren Position stufenlos regelbar ist und somit die Temperaturen im Gebäudeinneren passiv gesteuert und konstant gehalten werden, sodass auf eine energieintensive Klimatisierung verzichtet werden kann. Bisherige Fassadenbeschattungssysteme basieren auf Starrkörpermechanismen bei denen starre Glieder durch kinematische Verbindungen miteinander verbunden sind. In diesen Verbindungen liegt die Schwachstelle der Systeme, da hier über Reibung Verschleiß entsteht und somit eine hohe Wartungsintensität und Störanfälligkeit besteht. Gleichzeitig schränkt die Komplexität der Systeme den Einsatz an

geometrisch komplexen Fassaden ein, so dass hier zumeist keine vollflächige Verschattung möglich ist. Im Gegensatz dazu nutzen nachgiebige Mechanismen die kontrollierte Verformung flexibler Bereiche, um eine Eingangskraft in eine definierte Ausgangsleistung zu übersetzen. Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) sind aufgrund ihrer Anisotropie prädestiniert für die lokale Anpassung der mechanischen Eigenschaften und folglich die Implementierung solcher nachgiebiger Mechanismen in technische Bauteile mit hoher zyklischer Biegewechselfestigkeit.

Ziel des vorgestellten Forschungsvorhabens FVK-Gelenke ist die Entwicklung eines 3D-gewebten FVK mit einer lokal angepassten Gewebestruktur zur Implementierung eines nachgiebigen Gelenkbereichs. Ein im FVK des Gelenkbereichs integrierter pneumatischer Aktuator steuert die Bewegung. Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen [1-4] sollen interlaminaire Verbindungen im textilen Halbzeug die Delamination in der Aktuierungsebene ausschließen.

Ergebnisse

Ein interdisziplinäres Team aus Architekten, Bau- und Textilingenieure sowie Maschinenbauer hat im Projekt anwendungsnahe Forschungsarbeit betrieben, in deren Rahmen nicht nur das Textil, sondern die gesamte Prozesskette bis zum fertigen Produkt betrachtet wurde. Durch die Auswahl geeigneter Materialien sowie der Anwendung der 3D-Webtechnik kombiniert mit einer analytischen Auslegung der Strukturen ist es gelungen ein dauerfestes Mehrschicht-Faserverbundgelenk zu entwickeln.

Ein weiterer Vorteil der 3D-gewebten Struktur zeigt sich in der Verarbeitung zum FVK Bauteile: Im Vergleich bisherigen Einzelschicht-FVK entfällt der zeitintensive Stacking-Prozess und die Prozesszeiten sind entsprechend verkürzt. Durch die endkonturnahe Fertigung des Gewebes ist zudem ein gut reproduzierbarer Fertigungsprozess entstanden, welcher schnell und effizient ist. Gleichzeitig eröffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten für innovative FVK Verschattungselemente.

Aufgrund der analytischen Herangehensweise konnten die möglichen Schwachstellen des aktuierbaren Faserverbunds frühzeitig im Projektverlauf ermittelt werden. Abbildung 1 zeigt den Spannungsverlauf im Deckel (a), im Übergangsbereich und im (b: Gradientengewebe) zwischen Gelenkbereich und Bauteilbereich (c).

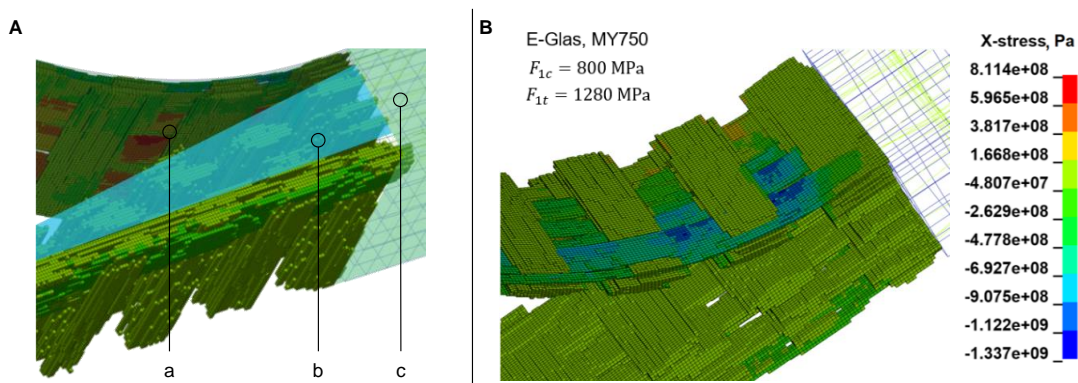


Abbildung 1 Spannungen in Faserrichtung im Gelenkbereich bei der Druckbelastung durch pneumatische Aktuierung von 1 bar (ohne Maximalwerte) mit (a) Deckel der Aktuierungskammer, (b) Übergangsbereich zwischen Gelenk- und Bauteilbereich, (c) Bauteilbereich, bzw. bewegte Fläche; A Perspektivische Darstellung, B Aufsicht mit Kennzeichnung der auftretenden Spannungen.

Es ist zu erkennen, dass die Belastung insbesondere im Deckel (a), bedingt durch den großen Verformungswinkel, sehr hoch ist. Zur Verbesserung des Knickverhaltens und der damit verbundenen Reduktion der Last im kritischen Deckelbereich wurde der Übergangsbereich umgestaltet. Durch eine diskrete Änderung des Lagenaufbaus im Verlauf der Bindung war es möglich diesen Bereich zu optimieren, sodass hier keine Spannungsüberhöhungen auftreten. Zusätzlich wurde die Faserorientierung angepasst: Erstmals wurde ein 3D Gewebe mit einer Faserorientierung von $\pm 45^\circ$ hergestellt. Durch diese Faserorientierung werden die verwendeten Glasfasern nur in Schubrichtung belastet. Basierend auf der 3D Webtechnik konnte mit Hilfe von mechanischen Versuchen innerhalb des Projektes eine Materialkombination aus glasfaserverstärktem Kunststoff (Epoxidharz) und Elastomer entwickelt werden. Entsprechend der auftretenden Spannungen wurden im 3D Gewebe unterschiedliche Bereiche umgesetzt, die dazu führen diese Materialspannungen möglichst gering zu halten, vgl. Abbildung 2A. Der erfolgreiche Projektabschluss wird durch den pneumatisch aktuibaren, adaptiven Demonstrator (Abbildung 2B) verdeutlicht.

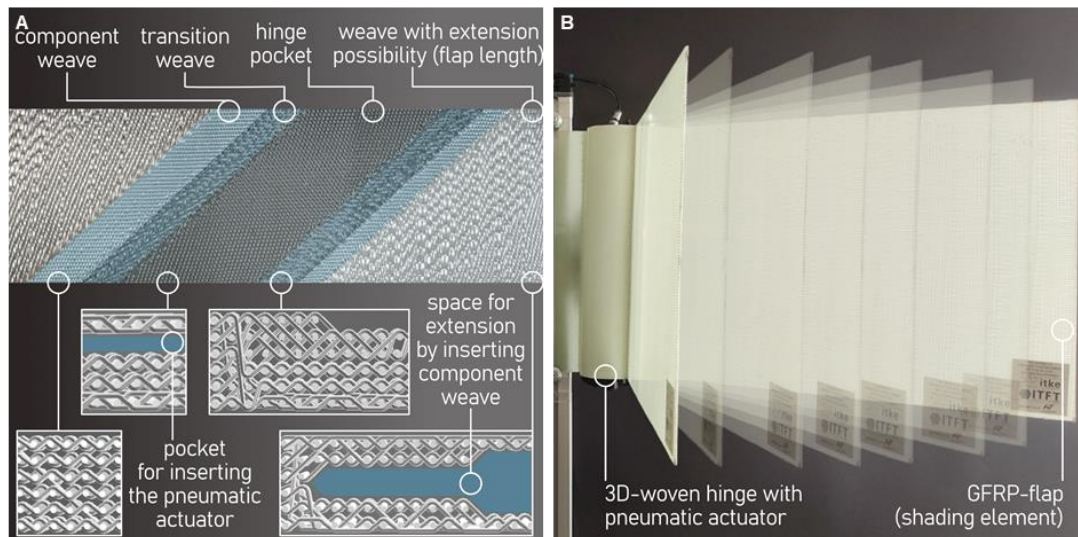


Abbildung 2 A Unterschiedliche Bereiche des 3D Gewebes für die Integration von pneumatischer Aktuierung in FVK bei gleichzeitig möglichst geringen Materialspannungen, B Demonstrator des Projektes FVK-Gelenke [5].

Literatur

- [1] Körner A, Born L, Bucklin O, et al. Integrative design and fabrication methodology for bio-inspired folding mechanisms for architectural applications. *Computer-Aided Design* 2021;133:102988. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2020.102988>.
- [2] Mader A, Born L, Körner A, et al. Bio-inspired integrated pneumatic actuation for compliant fiber-reinforced plastics. *Composite Structures* 2020;233:111558. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111558>.
- [3] Mühlich M, González EA, Born L, et al. Deformation Behavior of Elastomer-Glass Fiber-Reinforced Plastics in Dependence of Pneumatic Actuation. *Biomimetics* 2021;6 (3). <https://doi.org/10.3390/biomimetics6030043>.
- [4] Schieber G, Born L, Bergmann P, et al. Hindwings of insects as concept generator for hingeless foldable shading systems. *Bioinspir Biomim* 2017;13 (1):16012. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/aa979c>
- [5] Born L, Wollenhaupt F, Mühlich M, Körner A, Fritz F, Finckh H, Knippers J, Bauder H-J, Gresser GT (2022) 3D-woven FRP-shading element. https://www.linkedin.com/posts/ditf_itft-adaptive-gfrp-activity-7006238585695686656-MSNt/. Zugegriffen: 09. Mai 2023

Danksagung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 21293 N der Forschungsvereinigung
Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 14-16,
10117 Berlin wurde über die AiF im Rahmen des
Programms zur Förderung der industriellen
Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium
für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines
Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

*Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 21293 N ist an den Deutschen Instituten
für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.*

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Bauder, hans-juergen.bauder@ditf.de