

## **Textilbasierte Sensor-Aktor-Netzwerke für hochpräzise In-Situ-Mechanismen in Faserkunststoffverbunde**

Die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und die Ressourceneffizienz treiben die Substitution konventioneller Konstruktionsmaterialien durch faserverstärkte Kunststoffe (FVK) voran, die durch die Integration von Funktionsmaterialien, wie Aktuatoren mit sensorischer Rückkopplung für präzise Stellbewegung der FVK, noch effizienter eingesetzt werden können. In diesem Beitrag wird daher die Entwicklung adaptiver FVK auf der Grundlage der textiltechnischen Integration von Sensor-Aktor-Netzwerken in Verstärkungsgewebe für die hochpräzisen in-situ-Mechanismen in FVK vorgestellt.

Moniruddoza Ashir, Johannes Mersch, Philipp Schegner, Mosarouf Hossain, Andreas Nocke, Chokri Cherif

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik, Technische Universität Dresden

### **Zielsetzung und Potential**

Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) finden in Form unterschiedlicher Hochleistungsprodukte aufgrund ihres Leichtbaupotenzials und hervorragender mechanischer Eigenschaften im Vergleich zu den traditionell eingesetzten Materialien in der Automobil-, Luftfahrt- und Anlagenbauindustrie Verwendung. Durch die Strukturintegration von Aktor und Sensor sind integral gefertigte adaptive FKV-Bauteile realisierbar. Der funktionale Mehrwert und das zugehörige Anwendungspotenzial derartiger Lösungen ergibt sich aus der:

- Reduktion bewegter Massen im Bereich mechanischer Kinematiken, z. B. bei Robotik- und Greiferanwendungen,
- Schaffung kinematischer Freiheitsgrade bei deutlich reduzierter Anzahl an Gelenken und Antrieben und
- präzisen Stellbewegung von Verformungen und Verformungsmuster durch sensorische Rückkopplung (Regelung).

Adaptive FKV können durch die Integration verschiedener Aktormaterialien wie Bimetalle, piezoelektrische Keramiken, elektroaktive Polymere, elektro- und magnetostruktive Materialien, Formgedächtnispolymere oder Formgedächtnislegierungen (FGL) realisiert werden, die ihre aktiven geometrischen und mechanischen Eigenschaften verändern können. Insbesondere FGL verfügen über eine Vielzahl spezifischer Vorteile, u. a.: weisen sie sehr große nutzbare spezifische Energiedichten ( $2 \cdot 10^3$  J/kg) sowie reproduzierbare Verformungsmuster bei Bewegungszyklen weit oberhalb  $10^5$  auf und sind kommerziell in Drahtform verfügbar und damit prinzipiell textil verarbeitbar [1,2]. FGL haben die besondere Eigenschaft, sich nach einer bleibenden plastischen Verformung unterhalb einer bestimmten kritischen Temperatur durch Erwärmung über diese Temperatur wieder an ihre ursprüngliche Form zu „erinnern“ und diese erneut einzunehmen (Formgedächtniseffekt).

In Anbetracht der Formveränderung des adaptiven FKV sind textilverarbeitbare mechanischer Dehnungssensoren (z. B. Carbonrovings, Shieldex-Garn, Konstantandraht, Isohmdraht) strukturkompatible geeignete Kandidaten für die Entwicklung eines adaptiven FKV mit sensorischer Rückkopplung. Da die Aktivierung des FGL einen erheblichen Wärmeeintrag auch im umgebenden FKV-Bereich und damit dem Sensor generiert, ist die Temperaturabhängigkeit des Sensorverhaltens von hoher Relevanz. In Hinblick auf den niedrigsten Temperaturkoeffizienten von  $6,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  unter den oben genannten Sensoren wird der Isohmdraht als die bevorzugte Lösung für eine interferenzfreie Sensorfunktionalität ermittelt.

Die textiltechnische Integration von Sensor- und Aktormaterialien in Verstärkungsgewebe für hochpräzise In-situ-Mechanismen im FKV ist bisher in der Literatur nicht bekannt. Im Rahmen des Forschungsprojekts IGF 19832 BR wurden derartig neue technische Lösungen erarbeitet, die in diesem Beitrag vorgestellt werden.

## Entwicklung und Charakterisierung von adaptiven FKV

Funktionalisierte Preformen wurden mithilfe einer Steckschützenwebmaschine (Mageba SL RTEC 1200/1, MAGEBA Textilmaschinen GmbH & Co. KG., Deutschland) mit Jacquardeinheit (Typ LXL V mit 3072 heddles per metre, Stäubli AG, Deutschland) hergestellt, welche in Abb. 1 zu sehen sind. Glasfaser-Rovings (Typ EC17-1200-350, PD Glasseiden GmbH, Oschatz, Germany) mit 1200 tex, eine auf Ni-Ti basierende FGL-Drähte vom Typ Alloy H ox. sa. (Memry GmbH, Deutschland) mit einem Durchmesser von 0,305 mm und Isaohmdraht (Elschukom GmbH, Germany) mit einem Durchmesser von 0,07 mm als Sensor wurden für die Fertigung funktionalisierter Verstärkungsgewebe verwendet.



Abb. 1: Kettfadenzuführung der MAGEBA Steckschützenwebmaschine SL RTEC 1200/1 zur Herstellung der funktionalisierte Verstärkungsgewebe

Das hergestellte Verstärkungsgewebe ist mehrlagig mit drei Gewebelagen. Die Kett- und Schussfadendichte dieses Gewebes beträgt sechs pro cm. Bei den hergestellten Geweben beträgt die Anzahl der FGL, der Abstand zwischen zwei benachbarten FGL und die Länge der einzelnen FGL 6, 20 mm bzw. 310 mm. Zur Maximierung der Messfähigkeit werden die Sensoren nicht mäanderförmig, sondern weitestgehend linear gestreckt in die Verstärkungsgewebe integriert. Sie werden neben den mäanderförmigen FGL Strukturen arrangiert. Die entwickelte Verstärkungsgewebestruktur mit integrierten Sensor-Aktor-Netzwerken zeigt Abb. 2.

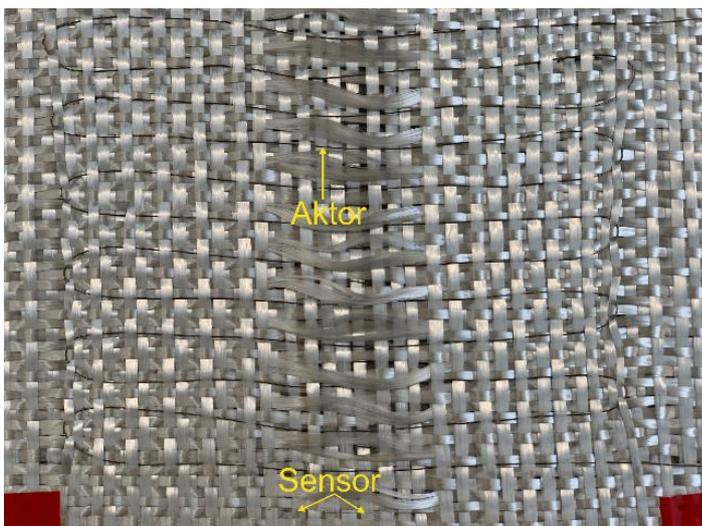


Abb. 2: Funktionalisierte Verstärkungsgewebe mit integriertem Aktor (FGL) und Sensor (Isaohmdraht)

Die funktionalisierten Preformen wurden anschließend mithilfe des Vacuum-Assisted-Resin-Infusion (VARI)-Prozesses infiltrierte. Für die Infusion der funktionalisierten Verstärkungsgewebe wird ein

Epoxidmatrixsystem aus dem Harz MGS® RIMR 135 in Kombination mit dem Härter RIMH® 137 (Hexion, Sokolov, Tschechische Republik) im Gewichtsverhältnis 10:3 verwendet. Das Matrixsystem wird durch dem Weichmacher Heloxy, der dem Harzsystem in einem Massenverhältnis von 3:7 beigemischt wird, biegeweicher gemacht. Die derart hergestellten adaptiven FKV werden u. a. hinsichtlich der Stellpräzision charakterisiert. Hierfür wurde ein maßgeschneiderter Mess- und Ansteuerungsteststand bestehend aus einem ansteuerbaren Labornetzgerät, einem Lasertriangulator, einem Präzisionsmultimeter sowie einer PC-gestützten Regelung mittels Matlab entwickelt.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Analyse der Stellpräzision erfolgt an Hand vorgegebener Soll-Wertsprünge und der resultierenden Positiosabweichung. Darüber hinaus wurde die Hochpräzisionsstellprozessen analysiert (siehe Abb. 3). Hierbei wurden Soll-Werte in Schritten von 0,02 mm (und Vielfachen davon) vorgegeben und die Ist-Zustände des geregelten adaptiven FKV-Systems analysiert. Hierbei konnte für das entwickelte Gesamtsystem eine Stellpräzision von  $< 0,1$  mm (Angabe als Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert) im eingeschwungenen Zustand ermittelt werden.

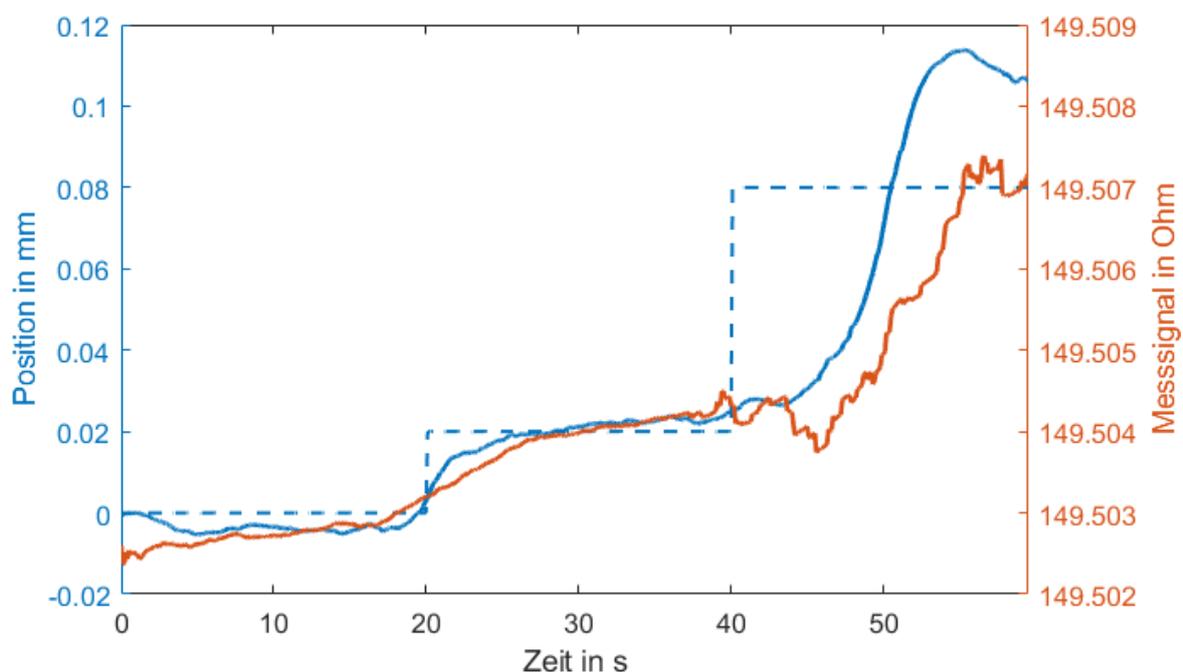


Abb. 3: Ermittlung der Präzision bei sehr feinen Soll-Wert-Vorgaben; blau-gestrichelt: Soll-Wert, blau-durchgehend: mittels Lasertriangulator erfasster Ist-Wert; orange: Sensorsignal des integrierten in-situ Sensors

### Zusammenfassung und Ausblick

Ein vielversprechender Ansatz für die Weiterentwicklung von intelligenten Leichtbaustrukturen mit hochpräzisen formveränderlichen („morphenden“) Fähigkeiten wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts durch die Entwicklung von adaptiven FKV auf Basis von FGL (Aktor) und Isohmdraht (Sensor) erreicht. Die Funktionsmaterialien wurden vollautomatisch in einem einzigen Prozessschritt durch die Webtechnik in die Verstärkungsgewebe strukturell integriert. Potenzielle Anwendungsbeispiele der entwickelten adaptiven FKV sind aerodynamische Klappen oder Ruder, medizinische Anwendungen für humanoide Kinematiken, Greif- und Spannvorrichtungen oder Dichtungsvorrichtungen (gezieltes Absperren und Steuern von Flüssigkeiten) sein. Der in Abb. 4 dargestellte Demonstrator zum Absperren und Steuern von Fluiden (Flüssigkeiten oder Gasen) kann als kosteneffiziente und robuste Ventile oder Klappen in der chemischen Verarbeitung oder als neuartige, automatisch öffnende und schließende Luken, Türen und Fenster im Bauwesen oder im Schiffbau eingesetzt werden.

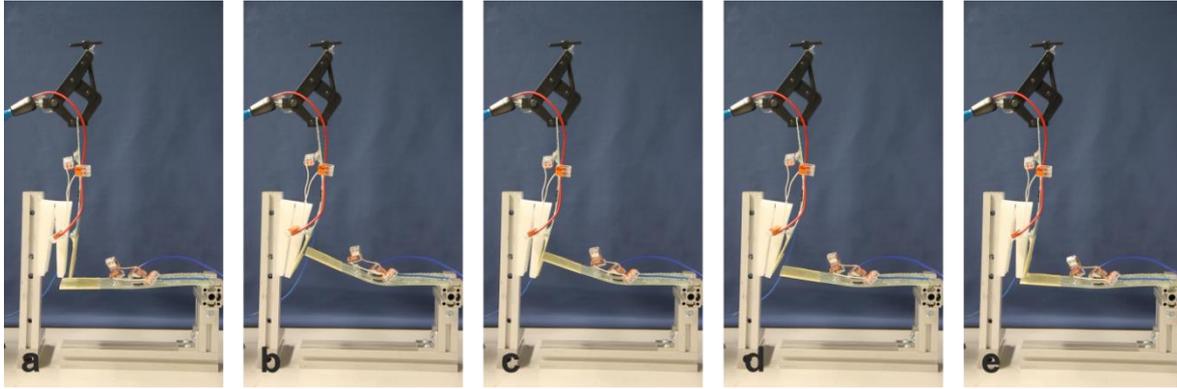


Abb. 4: Zweiteiliger adaptiver FKV-Mechanismus zum gezielten Absperren und Steuern von Fluiden

### Danksagung

Der Abschlussbericht für das Forschungsprojekt "TexSAN" ist auf Anfrage an der genannten Forschungsstelle ITM verfügbar.



Das IGF-Vorhaben 19832 BR der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das ITM dankt damit den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

### Literaturverzeichnis

- [1] KUMAR, P. K.; LAGOUDAS, D. C.: Acta Materialia. 58 (2010) 1618-1628
- [2] ASHIR, M.; NOCKE, A.; CHERIF, C.: Composites Science and Technology. 184 (2019) 107860