

TEILPROJEKT 2: Simulationsbasierter Entwurf und robotergestützte Realisierung von 3D-Textilstrukturen mit integrierten Aktor- und Sensornetzwerken für multi-adaptive I-FEV

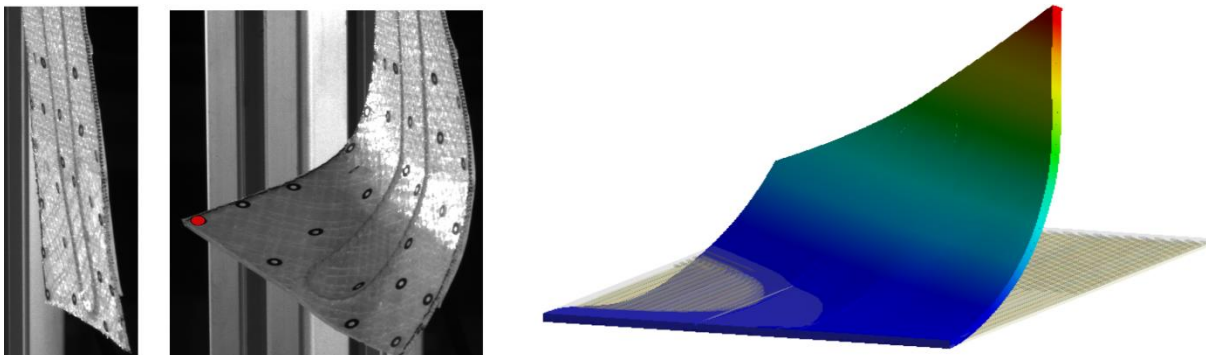
CH. CHERIF in Kooperation mit M. KALISKE;
externer Betreuer: V. Koncar (ENSAIT, Université de Lille/ FR)

Motivation

Textiltechnologien spielen eine zentrale Rolle bei der Integration von Drähten aus Formgedächtnislegierungen (FGL) in faser- und elastomerverstärkte Verbundstrukturen. Techniken wie Tailored Fiber Placement (TFP), multiaxiales Stricken und Weben ermöglichen die Anpassung komplexer Architekturen, die zu mehrgelenkigen Strukturen führen. Diese sind in der Lage, komplexe dreidimensionale Bewegungen auszuführen. Die Simulation solch komplexer Strukturen ermöglicht es, die Wechselwirkungen zwischen den FGL-Elementen und den Verbundwerkstoffen zu untersuchen, was den Entwurfsprozess unterstützt und eine Leistungsoptimierung unter verschiedenen Betriebsbedingungen ermöglicht. Durch die Vorhersage der Verformungseigenschaften können die Kinematik und die Leistung des integrierten SMA-Verbundwerkstoffs unter Berücksichtigung verschiedener Designparameter gesteuert werden.

Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten

Die Integration von Formgedächtnislegierungen (FGL) in faserverstärkte Elastomerverbunde eröffnet eine neue Dimension der Funktionalität, verbessert die strukturelle Leistung und ermöglicht neue Anwendungen. Die Kombination mit fortschrittlichen Textilherstellungsmethoden wie Weben, Stricken oder Flechten ermöglicht die präzise Integration von FGL-Elementen in die Verbunde, was eine kontrollierte Verformung ermöglicht. Die Forschung der ersten Kohorte konzentrierte sich auf die Materialcharakterisierung und Entwicklung von faserverstärkten Elastomerverbundwerkstoffen mit integrierter Formgedächtnislegierung (Nickel-Titan-Legierung), die Biegeverformungen ausgesetzt sind [1,2]. Durch die Integration von Simulationsansätzen wie der Finite-Elemente-Analyse (FEA) prognostizierte die erste Kohorte das Bewegungsverhalten auf struktureller Ebene auf der Grundlage von Parameterstudien. Die Forschungsarbeiten der zweiten Kohorte konzentrierten sich auf die Realisierung der Biege-Torsions-Kopplung, die sich auf dreidimensionale Mechanismen in Mehrgelenkstrukturen stützt. Um dies zu erreichen, wurden textile Technologien wie Tailored Fiber Placement (TFP) und Stricken eingesetzt, durch die die eingestellten Faserwinkel die notwendige Biege-Torsions-Kopplung erzeugten [3]. Zur Vorhersage der Verformungsmuster wurde ein FEA-Ansatz eingesetzt und validiert, der das neu entwickelte Woodworth-Kaliske FGL-Modell [4,5] einbezog. Zur Validierung der Ergebnisse wurde ein multi-digitales Bildkorrelationsverfahren verwendet, um die Verformungen zu bestimmen. Ein Beispiel ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Obwohl die Kopplung von Biegung und Verdrehung bereits realisiert ist, gibt es einen beträchtlichen Entwicklungsstand bei der Erstellung verschiedener 3D-Preformstopologien mit mehrgelenkigen Verbindungen.



Experimentelle Prüfung und Simulation der Biege-Torsions-Kopplung von I-FEV mit integrierten FGL

Wissenschaftliche Fragestellung und Projektziele

Das Ziel von TP 2 ist die Erforschung und Optimierung der Aktuatormechanismen auf der

Grundlage der Auslegung der 3D-Preformen, um die Kinematik (Verformungspotenzial) und Kinetik (Aktuatorkräfte für komplexe 3D-Verformungen) zu verbessern. Eine auf einer Parameterstudie basierende Designoptimierung für diese 3D-Preformen soll mit Hilfe von FEA realisiert und mit Hilfe von Messtechniken validiert werden. Basierend auf diesen Erkenntnissen soll eine in-plane Kontaktierung und Verbindung von Aktoren zu Aktornetzwerken entwickelt werden, um komplexe 3D-Verformungen durchzuführen.

Die Integration von Aktor- und Sensortechnologien auf der Grundlage von faserbasierten Textilaktoren aus TP 1 und TP 8 solle ebenfalls betrachtet werden, um eine mechanische Reaktion zu erzielen und das Potenzial für komplexe Verformungen zusammen mit TP 9 zur Steuerung dieser Verformungsmechanismen zu erreichen. TP 2 solle auch mit TP 3 zusammenarbeiten, um die spezifischen Eigenschaften verschiedener Elastomermaterialien wie Liquid-Isoprene-Rubber als praktikable Alternative zu Silikon zu nutzen. Dabei sollen auch die eindeutigen Vorteile bei der Schaffung lokaler Bereiche mit variabler Steifigkeit ausgenutzt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Lohse, F.; Kopelmann, K.; Grellmann, H.; Ashir, M.; Gereke, T.; Häntzsche, E.; Sennewald, C.; Cherif, C.: Experimental and Numerical Analysis of the Deformation Behavior of Adaptive Fiber-Rubber Composites with Integrated Shape Memory Alloys. *Materials*, 2022, 15: 582, <https://doi.org/10.3390/ma15020582>.
- [2] Lohse, F.; Annadata, A.R.; Häntzsche, E.; Gereke, T.; Trümper, W.; Cherif, Ch.: Hinged Adaptive Fiber-Rubber Composites Driven by Shape Memory Alloys—Development and Simulation. *Materials*, 2022, 15: 3830, <https://doi.org/10.3390/ma15113830>.
- [3] Annadata, A.R.; Endesfelder, A.; Koenigsdorff, M.; Mersch, J.; Gereke, T.; Zimmermann, M.; Cherif, Ch.: Evaluation of Bend-Twist Coupling in Shape Memory Alloy Integrated Fiber Rubber Composites, In: *COMPOSITES 2023*, <https://doi.org/10.23967/c.composite.2023.010>.
- [4] Annadata, A.R.; Acevedo-Velazquez, A.I.; Woodworth, L.A.; Gereke, T.; Kaliske, M.; Röbenack, K.; Cherif, Ch.: Investigation and Validation of a Shape Memory Alloy Material Model Using Interactive Fibre Rubber Composites. *Materials*, 2024, 17: 1163, <https://doi.org/10.3390/ma17051163>.
- [5] Woodworth, L.; Lohse, F.; Kopelmann, K.; Cherif, Ch.; Kaliske, M.: Development of a constitutive model considering functional fatigue and pre-stretch in shape memory alloy wires. *International Journal of Solids and Structures*, 2021, 234-235: 111242, <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2021.111242>.