

TEILPROJEKT 10: IN-SITU-MESSUNGEN UND ALGORITHMEN FÜR KOMPLEXE 3D-VERFORMUNGEN VON I-FRC

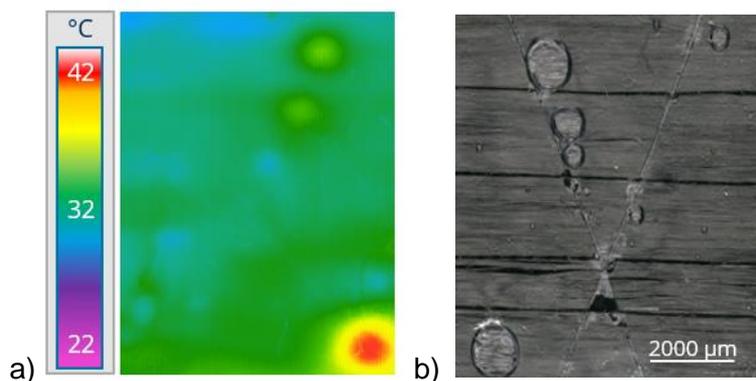
M. ZIMMERMANN in Zusammenarbeit mit N. MODLER;
externer Betreuer: N. CHAWLA (Purdue University/ USA)

Motivation

Faser-Elastomer-Verbundwerkstoffe (I-FRC) weisen ein komplexes Verformungsverhalten auf, dessen Verständnis für die Optimierung ihrer Anwendung in verschiedenen technischen Bereichen entscheidend ist. Derzeit werden diese Verformungen mit externen Geräten wie der Kamertechnologie und der digitalen Bildkorrelation (DIC) gemessen. Diese Methoden sind zwar effektiv, erfordern aber kontrollierte Umgebungen und umfangreiche Vorbereitungen, was ihre Praxistauglichkeit für die Echtzeitüberwachung einschränkt. Die Herausforderung besteht darin, In-situ-Messverfahren zu entwickeln, die es dem System ermöglichen, autonom zu arbeiten. Dies würde eine direkte Datenerfassung und -analyse in Echtzeit innerhalb des Materials oder der Struktur ermöglichen, ohne auf externe Messgeräte angewiesen zu sein. Solche Fortschritte würden die Möglichkeiten, Verformungen zu überwachen und darauf unmittelbar zu reagieren, während sie auftreten, erheblich verbessern und zu einer verbesserten Materialresilienz und Sicherheit in praktischen Anwendungen führen.

Stand der Technik und bisherige Forschung

Die Bedeutung von flexiblen, intelligenten Strukturen wie I-FRC nimmt stetig zu. Die jüngste Forschung auf diesem Gebiet umfasst zahlreiche Anwendungen in Bereichen wie Soft Robotics, Luft- und Raumfahrt, biomimetische Anwendungen und Medizin [1-3]. Die Langzeitstabilität der Strukturen, insbesondere unter Bedingungen, die nicht mehr denen in einer Laborumgebung entsprechen, gewinnt daher zunehmend an Bedeutung [4,5]. Insbesondere die Multi-DIC-Methode ist ein gängiges Werkzeug zur Analyse der Verformung von I-FRC. In der 1. Kohorte wurde eine Methode zur 360°-Untersuchung des Gesamtverformungsverhaltens mit 12 Kameras etabliert [9]. In der 2. Kohorte wurde ein Kamera-Sensor-System mit 4 Kamera-paaren eingesetzt, um die Verformung eines Aktors mit besonderem Fokus auf lokalisierte Schädigungsphänomene zu untersuchen [10]. Diese Methoden ermöglichen die orts aufgelöste Charakterisierung des Verformungsverhaltens komplexer I-FRC-Elemente und in begrenztem Umfang auch die Schädigungsevolution. Die Entwicklung von in-situ Messtechniken für I-FRC, die eine autonome Systemfunktionalität ermöglichen, bleibt ein bisher unerfülltes Ziel. Die Bewertung komplexer Verformungen in I-FRC erfordert fortschrittliche Algorithmen, die in der Lage sind, Daten direkt aus dem Material oder der Struktur zu verarbeiten und zu analysieren. Diese Algorithmen müssen mit den komplexen Mustern und Verhaltensweisen umgehen können, die I-FRC unter verschiedenen Bedingungen aufweisen. Daher sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich, um diese In-situ-Messsysteme zu kreieren und robuste Algorithmen zur Bewertung komplexer Veränderungen zu entwickeln. Ziel ist es eine autonome Überwachung und Reaktion in Echtzeit zu ermöglichen und die Leistung und Zuverlässigkeit von I-FRC in praktischen Anwendungen erheblich zu verbessern.



Schadensbeurteilung von I-FRC mittels a) Lock-in-Thermografie und b) Mikroskopie

Wissenschaftliche Fragen und Projektziele

Das Hauptziel ist die Entwicklung robuster In-situ-Messverfahren für die komplexen Verformungen von I-FRC. Dies beinhaltet die Festlegung grundlegender Prinzipien für das Verständnis dieser Verformungen und die Validierung der neuen In-situ-Methoden gegenüber externen Messsystemen, die von früheren Kohorten entwickelt wurden, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit in realen Anwendungen zu gewährleisten. Als Untersuchungsobjekte dienen hierbei Strukturen, die zusammen mit TP 2, 7 und 8 entwickelt werden.

Referenzen

- [1] Guo, Y.; Liu, L.; Liu, Y.; Leng, J.: Review of Dielectric Elastomer Actuators and Their Applications in Soft Robots. *Advanced Intelligent Systems* 2021, 3: 2000282, <https://doi.org/10.1002/aisy.202000282>.
- [2] Kim, M.-S.; Heo, J.-K.; Rodrigue, H.; Lee, H.-T.; Pané, S.; Han, M.-W.; Ahn, S.-H.: Shape Memory Alloy (SMA) Actuators: The Role of Material, Form, and Scaling Effects. *Advanced Materials*, 2023, 35: e2208517, <https://doi.org/10.1002/adma.202208517>.
- [3] Böse, H.; Ehrlich, J.: Dielectric Elastomer Sensors with Advanced Designs and Their Applications. *Actuators* 2023, 12: 115, <https://doi.org/10.3390/act12030115>.
- [4] Xiao, H.; Liu, X.; Song, T.; Wang, Y.; Han, W.; Lu, X.; Jia, B.: Uncertainty analysis of residual strength of porous laminates in hot and humid environment based on polynomial chaos expansion. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, 2024, <https://doi.org/10.1007/s10999-023-09697-y>.
- [5] Singh, N.K.; Takashima, K.; Pandey, S.S.: Fatigue life prediction of electroactive polymer strain sensor. In: *Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD) XXIII, United States, 22–27 Mar. 2021*; Madden, J.D., Anderson, I.A., Shea, H.R. (Eds.); SPIE, 2021 - 2021; p 68, ISBN: 9781510640030.
- [6] Katzer, K.; Mersch, J.; Nocke, A.; Gerlach, G.; Cherif, C.; Zimmermann, M.: Digitale Bildkorrelation zur Validierung des Deformationsverhaltens von Interaktiven Faser-Elastomer-Verbunden. In: *Werkstoffe und Bauteile auf dem Prüfstand: Prüftechnik - Kennwertermittlung – Schadensvermeidung*, 2020, <https://doi.org/10.48447/WP-2020-031>.
- [7] Endesfelder, A.; Annadata R.; Wang, Z.; Koenigsdorff, M.; Modler, N.; Cherif, C.; Zimmermann M.: Bewegungsanalyse von interaktiven Elastomer-Verbunden mittels Multi-Sensor-Kamerasystem. In: *Tagung Werkstoffprüfung 2023 – Werkstoffe und Bauteile auf dem Prüfstand*, 2023, <https://doi.org/10.48447/WP-2023-221>.