

KURZVERÖFFENTLICHUNG

Gewebebasierte Biegesensorik als Strukturbestandteil von
Faserverbundbauteilen (19551 N)

Autoren: Paul Hofmann
Sonja Arnold-Keifer
Alisa Walch
Metin Caliskan
Ulrich Stark
Hans-Jürgen Bauder
Michael Haupt

Forschungsstelle: Institut für Textil- und Verfahrenstechnik der DITF Denkendorf
Erschienen: 19.09.2019
Bearbeitungszeitraum: 01.06.2017 – 31.05.2019

Zusammenfassung

Eine Form der Beschädigung von Faserverstärkten Kunststoffen (FVK) ist die Delamination. Diese Beschädigung ist durch konventionelle, visuelle Prüfung oft nicht zu erkennen. Methoden wie das zyklische Austauschen der Bauteile oder regelmäßige Inspektionen sind zeitaufwendig und vor allem teuer. Die Detektion solcher Fehlstellen erfordert aufwendige zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie Ultraschallprüfung oder Computertomographie. Um die durch diese Maßnahmen entstehenden Kosten möglichst zu vermeiden, soll in Zukunft Sensorik direkt in solche Bauteile integriert sein.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine gewebebasierte Biegesensorik als Teil der gewebten Verstärkungsstruktur von FVK entwickelt und charakterisiert. Durch diese sensorische Gewebestruktur entstehen keine negativen Einflüsse auf die mechanischen Bauteileigenschaften durch Fehlstellen in der textilen Grundstruktur. Mit Hilfe der entwickelten Sensorsysteme aus einer Mehrlagengewebestruktur können künftig eine mögliche Überlast im Betrieb erkannt, eventuelle Beschädigungen vermieden bzw. detektiert und damit Wartungs-, Reparatur- und Stillstandkosten erheblich minimiert werden. Durch die integrierte Sensorik wird eine kontinuierliche Überwachung im Betrieb von dynamisch belasteten Bauteilen ermöglicht und zusätzlich die Sicherheit des Bauteils garantiert. Der Projektinhalt ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte erfolgreich ein textiler strukturintegrierter Kraft- bzw. Biegesensor hergestellt werden, der ohne bauteilfremde Materialien, Faserumlenkungen oder-unterbrechungen auskommt. Durch eine gezielte An- bzw. Abbildung der einzelnen Lagen innerhalb der Mehrlagengewebestruktur kann zudem eine hohe interlaminae Scherfestigkeit erreicht und somit die Gefahr einer Delamination verringert werden.

Durch die zunächst durchgeführten Versuche zur Ermittlung des am besten geeigneten Sensorprinzips, zur optimalen Sensorposition im Bauteilquerschnitt und zum Sensoraufbau mit dem größten Sensorsignal, die zunächst im Einzellagenaufbau durchgeführt wurden, konnten wichtige, grundlegende Erkenntnisse für die Entwicklung von sensorischen Halbzeugen aus Mehrlagengewebestrukturen für den Aufbau von sensorischen FVK-Komponenten gewonnen werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Voruntersuchungen gelang die erfolgreiche Umsetzung der angestrebten rein textilen, piezoelektrischen Biegesensorik in einer Mehrlagengewebestruktur. Dabei wurden unterschiedliche An- bzw. Abbindungsarten der Gewebeschichten untereinander innerhalb der Mehrlagengewebestruktur ausgearbeitet und untersucht:

Es wurden eine kettseitige, sequentielle Lagenanbindung („Layer-to-Layer“) und eine Verbindung durch einen z-Verstärkungsfaden („Through-the-Thickness“) entwickelt. Die größte Herausforderung war dabei die Erzielung einer Kurzschlussfreiheit und damit Funktionsfähigkeit der gewebten Biegesensoren.

Während der hierfür durchgeführten Bindungsentwicklung erfolgte eine Erhöhung der Dichte der sensorischen Funktionsschicht, eine Änderung der An- und Abbindefolgen und des Bindungsübergangs im Bereich des Lagenwechsels. Des Weiteren wurde die Fachwechsel- und Schussreihenfolge nach dem Eintrag von Elektroden-Schussgarnen optimiert und die Schussdichte des Elektrodenstreifens verringert. Der Herstellungsprozess und ein Beispiel für eine sensorische Mehrlagengewebestruktur sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

So konnten im Projekt erfolgreich sensorische FVK-Strukturen mit kurzschluss sichereren sensorischen Verstärkungstextilien auf Mehrlagengewebebasis mit einer direkten Abhängigkeit des Sensorsignals zur aufgetragenen Kraft hergestellt und auf ihre elektro-mechanischen Eigenschaften untersucht werden. Durch eine geeignete

Bindungsentwicklung konnte gleichzeitig erreicht werden, dass die sensorische Struktur kaum negativen Einfluss auf die mechanischen Bauteileigenschaften hat. Eine Polarisierung der piezoelektrischen Zwischenschicht der erstellten Proben erzeugt bei jedem Mehrlagengewebeaufbau ein deutlich erhöhtes Sensorsignal.

Bei der durchgeführten weggesteuerten dynamischen Dreipunkt-Biegeprüfung weist die „Through-the-Thickness“-Anbindung das höchste Sensorsignal auf. Diese Anbindung der Lagen durch einen z-Verstärkungsfaden weist zudem eine sehr hohe interlaminare Scherfestigkeit auf.

Abbildung 4 zeigt eine sensorische Probe während des Dreipunktbiegeversuchs. Ein exemplarisches Sensorsignal unter zyklischer Belastung ist in Abbildung 5 dargestellt. Abbildung 6 gibt den Einfluss der verschiedenen Abbindungstypen der Mehrlagengewebe auf die Signalstärke des Sensors verglichen mit einem Aufbau ohne Anbindung der verschiedenen Lagen wieder.

Da die im Rahmen dieses Projekts entwickelten piezoelektrischen Strukturen unter Belastung eine Spannung erzeugen, wird nun in einem im September 2019 gestarteten IGF-Projekt (Projekt-Nr.: 20278 N) u. a. diese Struktur auf ihre Eignung für Energierückuperatoren bzw. Energy-Harvester untersucht und optimiert.

Abbildungen

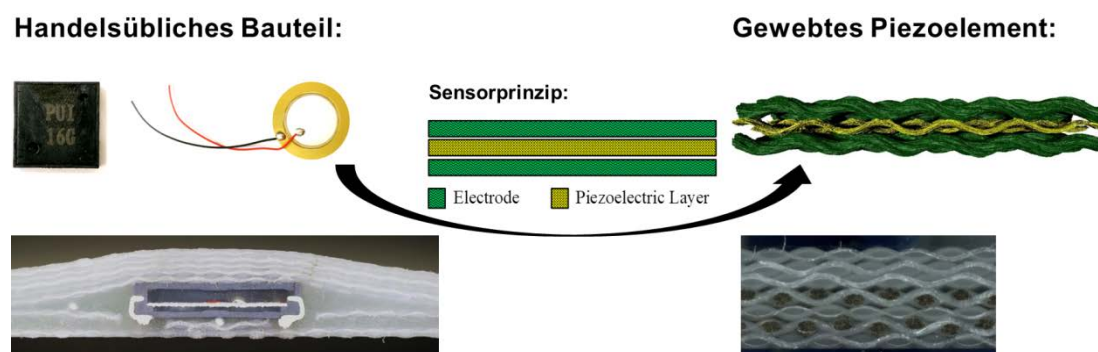


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Projektinhalts: Übertragung eines verbreiteten Sensorprinzips auf eine textile Struktur



Abbildung 2: Herstellungsprozess der sensorischen Verstärkungsstruktur auf Mehrlagengewebebasis auf der Webmaschine



Abbildung 3: Sensorische Mehrlagengewebestruktur („Through-the-Thickness“-Anbindung mit Carbonelektroden)

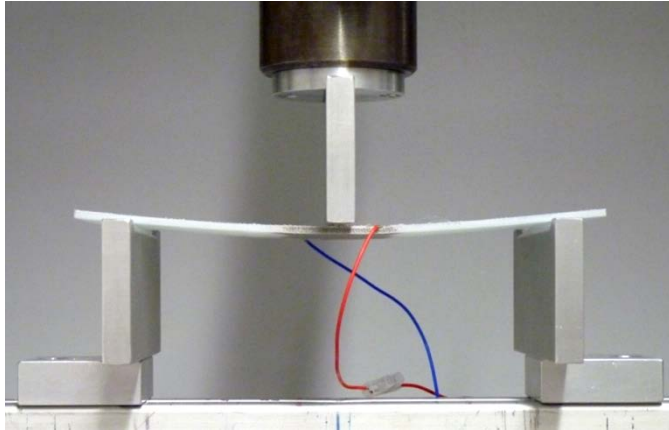


Abbildung 4: Sensorische Probe im Dreipunktbiegeversuch

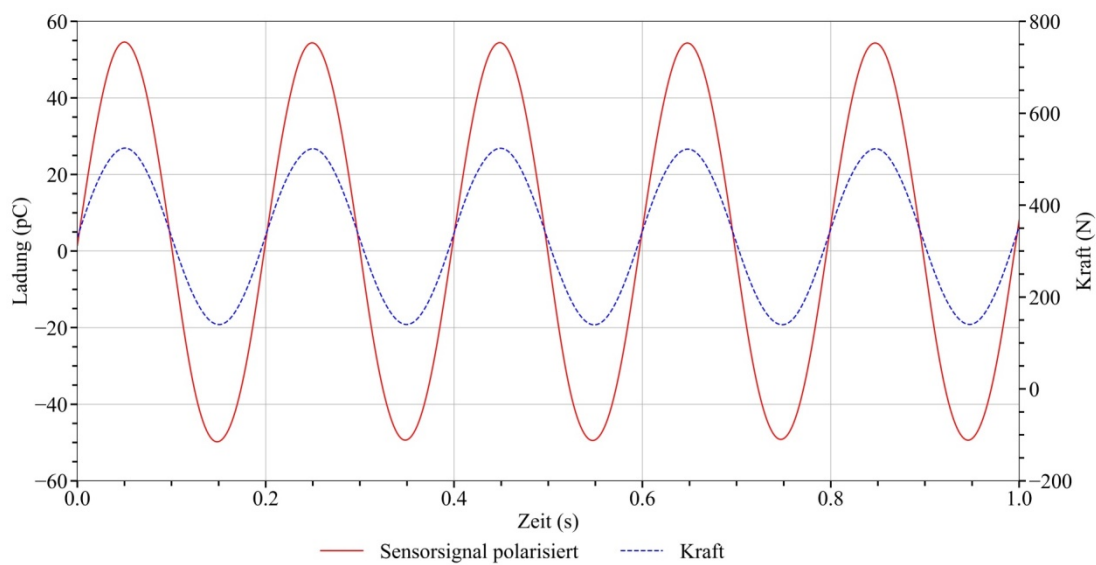


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung des Sensorsignals einer Probe mit „Through-the-Thickness“-Anbindung unter zyklischer Belastung

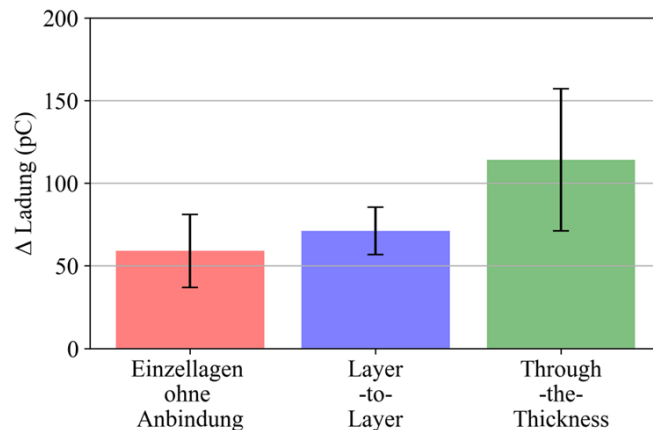


Abbildung 6: Einfluss der verschiedenen Abbindungstypen der Mehrlagengewebe auf die Signalstärke des Sensors verglichen mit einem Aufbau ohne Anbindung der einzelnen Lagen

Weitere Informationen

P. Hofmann, A. Walch, S. Arnold-Keifer, S. K. Selvarayan, G. T. Gresser, Utilization of the textile reinforcements of fiber reinforced plastics as sensor for condition monitoring, Composites Part A 126 (2019) 105603, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105603>

P. Hofmann, A. Walch, A. Dinkelman, S. K. Selvarayan, G. T. Gresser, Woven piezoelectric sensors as part of the textile reinforcement of fiber reinforced plastics, Composites Part A 116 (2019) 79–86, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.10.019>

Danksagung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 19551 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 und -entwicklung (IGF) vom
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
gefördert.

Unser Dank gilt außerdem folgenden Firmen für die freundliche Unterstützung:

- o AMOHR Technische Textilien GmbH
- o Dienes Apparatebau GmbH
- o Ettlín Spinnerei und Weberei Produktions GmbH & Co KG
- o F. A. Kümpers GmbH & Co KG
- o Gustav Gerster GmbH & Co KG
- o inca-fiber GmbH
- o Lenzing Plastics GmbH & Co KG
- o MC – Materials Consulting
- o Nanoedge GmbH
- o Rökona Textilwerk GmbH & Co KG

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens IGF 19551 N ist an den Deutschen
Instituten für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.

Ansprechpartner

Paul Hofmann, paul.hofmann@ditf.de