

KURZVERÖFFENTLICHUNG

Industrie 4.0: Vernetzte Prozessüberwachung bei der Herstellung von FVK-Bauteilen durch textilbasierte Sensorik im Verstärkungsgewebe (IGF 20146 N)

Autoren:	Paul Hofmann Timo Weimer Florian Fritz Dr. Hans-Jürgen Bauder Dr. Michael Haupt
Forschungsstelle:	Institut für Textil- und Verfahrenstechnik der DITF Denkendorf
Erschienen:	06.06.2021
Bearbeitungszeitraum:	01.05.2018 bis 31.01.2021

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden kostengünstige, textilintegrierte und textile Sensorsysteme entwickelt, die die Konsolidierung von Faserverbundbauteilen überwachen. Ziel ist die direkte Fertigung von textilintegrierten Sensoren als partielle, im Webprozess integrierte Bestandteile einer Mehrlagengewebestruktur. Mehrlagengewebe verbessern grundsätzlich die strukturelle Integrität eines Bauteils bei dynamischen Belastungen, Crash oder Impactsituationen. Die vorgesehenen (textilen) Sensoren sind möglichst ohne strukturelle Schwächung der Gesamtstruktur in den funktionellen Lagenaufbau der Gewebestruktur zu integrieren. Infolge des gewebten Mehrlagenaufbaus können sensorisch wirkende Gewebebereiche an kritischen Stellen im Inneren des Bauteils prozessrelevante Überwachungsfunktionen übernehmen. Speziell bei großen und dicken Bauteilen können so Prozessbedingungen aufgrund der zeitlichen Bestimmung des lokalen Aushärtegrades optimal geregelt werden (Abbildung 1, links). Auf Basis von Kapazitäts- und Temperaturveränderungen können die genauen Aushärtezeiten ermittelt werden. Damit können Prozesskosten der Konsolidierung deutlich reduziert und die Qualität jedes Bauteils online sichergestellt werden. Ein weiterer Mehrwert ergibt sich aus der Nutzung der integrierten Sensorgarne für Aufgaben des Structural Health Monitorings (Abbildung 1, rechts).

Der Nutzerkreis für die sensorischen Faserverbundtextilien umfasst alle Branchen entlang der Prozesskette von Herstellern textiler Verstärkungslagen, Sensorgarnanbieter, Maschinen- und Anlagenbau bis zu Composite-Herstellern. Die Markttreiber entlang der gesamten Prozesskette sind die Luftfahrt-, Automobil- und Maschinenbaubranche.

Projekthinhalte

Ein verfolgter Ansatz ist die möglichst automatisierte Integration von herkömmlichen Sensorkomponenten in die Verstärkungsgewebe mittels herkömmlicher textiler Fertigungsverfahren:

- *Integration von SMD-Temperatursensoren per Schusseintrag*
Eine wichtige identifizierte Messgröße bei der Überwachung des Herstellungsprozesses von FVK mit exotherm aushärtendem Matrixmaterial ist die Temperatur. SMD-Temperatursensoren sind in winzigen Abmessungen erhältlich. Für den im Prozess relevanten Temperaturbereich wurde ein geeigneter NTC-Sensor ausgewählt. Wie in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt, wurde ein Glasfaseroving mit diesen Sensoren bestückt und konnte so definiert im Verstärkungshalbzeug aus Mehrlagengewebe positioniert werden.
- *Integration und Verschaltung von Piezoelementen mittels Sticktechnik*
Aufgestickt wurden zur elektrischen Verschaltung jeweils vier parallele Mikrokabel mit einem definierten Abstand. Das Aufsticken erfolgte mit der Stickmaschine unter Verwendung eines Wickelkopfes. Die Aufnahmen in Abbildung 4 veranschaulichen den Stickvorgang und somit das Ablegen und Befestigen des Mikrokabels auf dem Stickgrund. Abbildung 5 zeigt das mit handelsüblichen Piezoelementen bestückte Verstärkungsgewebe.

Der zweite im Projekt verfolgte Ansatz ist der Aufbau von Sensorik zur Prozessüberwachung durch die textile Struktur von Mehrlagengeweben. Die innerhalb des Projekts hergestellten Mehrlagengewebe besitzen einen Aufbau aus sieben Gewebelagen. Der Zusammenhalt der Gewebelagen erfolgt mittels einer Through-the-Thickness-Abbindung, die dem fertigen Bauteil eine verbesserte Strukturintegrität verleiht. Das heißt einzelnen Fäden binden von der oberen Gewebelage in die untere Gewebelage ab (und umgekehrt) und schaffen somit einen Zusammenhalt innerhalb des Mehrlagengewebes. Im Aufbau unterscheiden sich die Lagen nach ihrer Funktion und nach ihrem Material. Vier der sieben Gewebelagen bestehen aus Glasfasergeweben, welche die Stabilität des Faserverbundes prägen. Zwei

Gewebelagen bestehen im sensorischen Bereich aus einem elektrisch leitfähigen Garn und übernehmen die Funktion der Elektroden. Die Gewebelage zwischen den beiden Elektroden besteht aus einem PVDF-Garn. PVDF ist einerseits als Dielektrikum in einem Kondensator geeignet, besitzt aber auch piezoelektrische Eigenschaften. Gewebt wurden die Mehrlagengewebemuster auf einer Dornier Greiferwebmaschine Typ TGN Y 8-JD (3D-Webmaschine), siehe Abbildung 6. Die Mehrlagengewebe unterscheiden sich in ihrer Funktion wie folgt:

- *Mehrlagengewebebasierte Kondensatoren*
Geplant war zunächst, das Füllen der Form mithilfe der Kondensatoren zu überwachen. Da Epoxidharz, der Matrixwerkstoff, eine andere Dielektrizität als Luft besitzt, könnte der Füllvorgang mit gewebten Kondensatoren somit überwacht werden.
- *Mehrlagengewebebasierte Piezoelemente*
Die Kondensatoren sollten den (exothermen) Aushärteprozess des Epoxidharzes in der gefüllten Form als Piezoelemente anhand einer Sender-und-Empfänger-Schaltung zusammen mit den Temperatursensoren aufzeichnen. Das Epoxidharz verändert während der Aushärtung sein E-Modul. Regt man es mit textilen bzw. textilintegrierten Piezoschwingern an, verändert sich die Geschwindigkeit und Intensität mit der die Wellen im Bauteil während des Aushärteprozesses verbreitet werden. Mit einem zweiten textilen bzw. textilintegrierten Sensor ließe sich das überwachen.

Ergebnisse

Die Arbeiten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens haben gezeigt, dass es möglich ist durch verschiedene textile Verarbeitungsprozesse automatisiert Sensorbauteile in eine textile Mehrlagenstruktur zu integrieren. Hierfür haben sich besonders der Eintrag beim Weben mittels eines sensorischen Schussgarns und die Sticktechnik als vielversprechende Möglichkeit erwiesen. Auch der Aufbau von sensorischen textilen Strukturen mittels der Mehrlagenwebtechnik ist möglich.

Die webtechnologische Umsetzung zur Herstellung der Mehrlagengewebe kann als Erfolg betrachtet werden. Es ist innerhalb des Projekts gelungen, Mehrlagengewebe exemplarisch in einem siebenlagigen Gewebeaufbau mit einem piezoelektrischen Verhalten herzustellen. Das verwenden textiler Kondensatoren als „Füllstandsanzeige“ des Werkzeugs bei der Herstellung von FVK ist nur bedingt möglich. Denn nicht ausgehärtetes Epoxidharz und -

härter sind elektrisch leitfähig. Auch die im Projekt geplante Verwendung als textile Piezoschwinger und -sensoren kommt aufgrund dieses Umstands nicht in Frage.

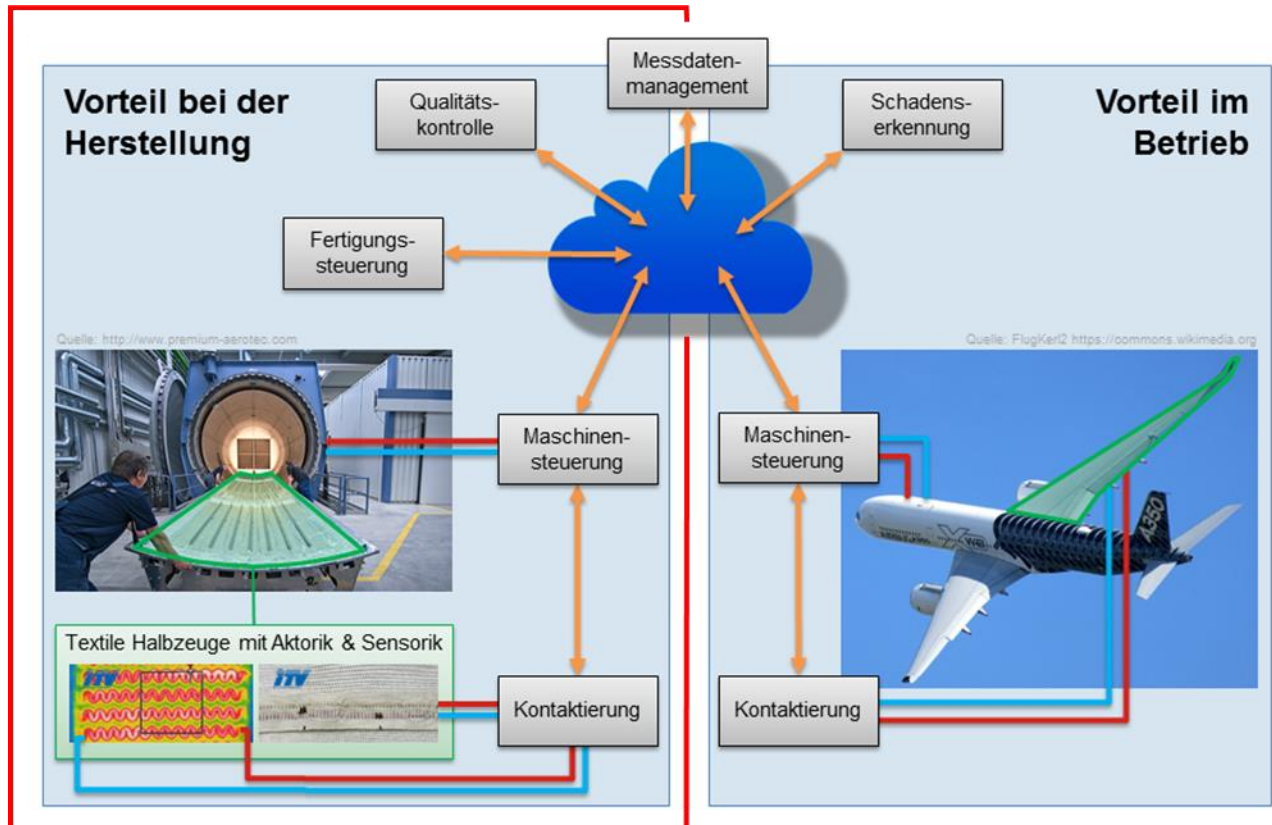
Im Projektverlauf hat sich aber gezeigt, dass der elektrische Widerstand zwischen zwei textilen Elektroden als Maß für den Aushärtezustand als sicherer Indikator herangezogen werden kann. Während des Aushärteprozesses steigt dieser ins Unendliche.

Auch handelsübliche Temperatursensoren, die in sehr kleinen Abmessungen erhältlich sind, eignen sich, um den exothermen Aushärteprozess von Epoxidharz zu überwachen. Diese lassen sich beispielsweise automatisiert über das Schussgarn mitführen und an definierten Positionen reproduzierbar in die textile Verstärkungsstruktur integrieren.

Die im Projekt geplante Verwendung von gewebten Piezoelementen als Aktor und Sensor zur Überwachung des Aushärtegrads des Matrixmaterials bedarf noch genauerer Untersuchungen und Entwicklungen. Neben dem bereits erwähnten Problem der elektrischen Leitfähigkeit des Matrixmaterials im flüssigen Zustand gibt es noch weitere Herausforderungen:

Für den Einsatz während des Infiltrationsprozesses müssen die textilen Piezoelemente zuerst im nicht infiltrierte bzw. nicht konsolidierte Zustand polarisiert werden. Hierfür ist ein geeignetes Dielektrikum notwendig. VE-Wasser hat sich zwar als geeignet erwiesen, um eine ausreichende Feldstärke für eine Polarisation zu erreichen, allerdings konnte bei darauffolgenden Tests kein Effekt festgestellt werden. Ein weiteres Problem der piezoelektrischen textilen Sensoren ist die fehlende Abschirmung. Die elektromagnetische Übertragung war auch bei den eingesetzten handelsüblichen Piezoelementen stärker, als der Effekt des Körperschalls.

Abbildungen



Projektfokus

Abbildung 1: Messsensoren im Textilhalbzeug zur Überwachung und Optimierung der Bauteilkonsolidierung (links) und zum späteren Structural Health Monitoring im Betrieb SHM (rechts)



Abbildung 2: Mit NTC bestückter Glasfaserrovings

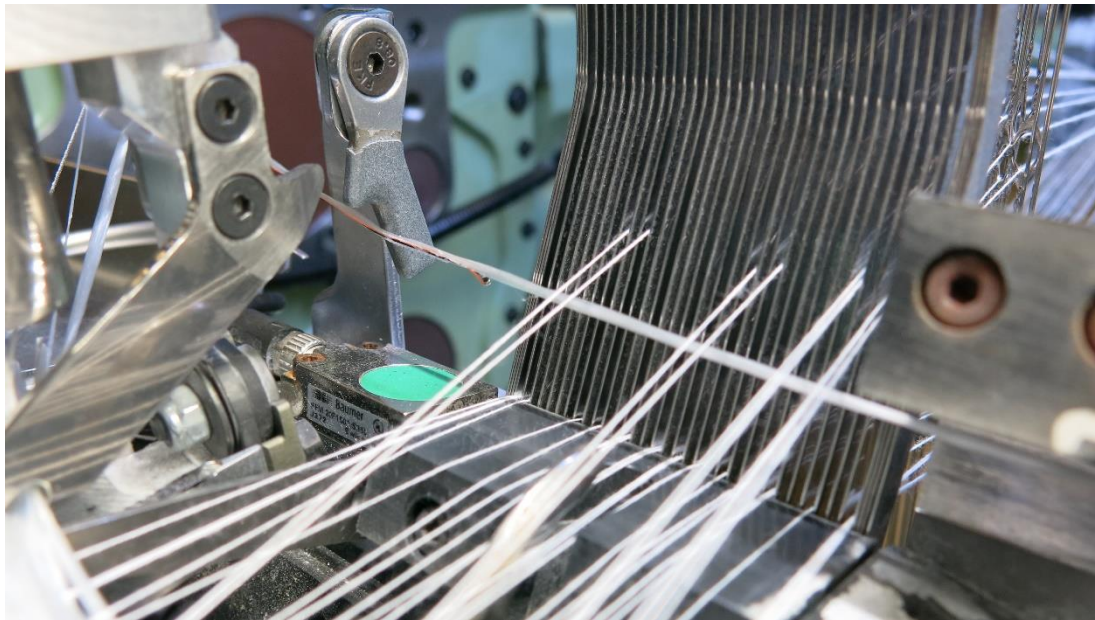


Abbildung 3: Schusseintrag des bestückten Schussgarns



Abbildung 4: Stickvorgang zum Aufbringen der Kontaktierung

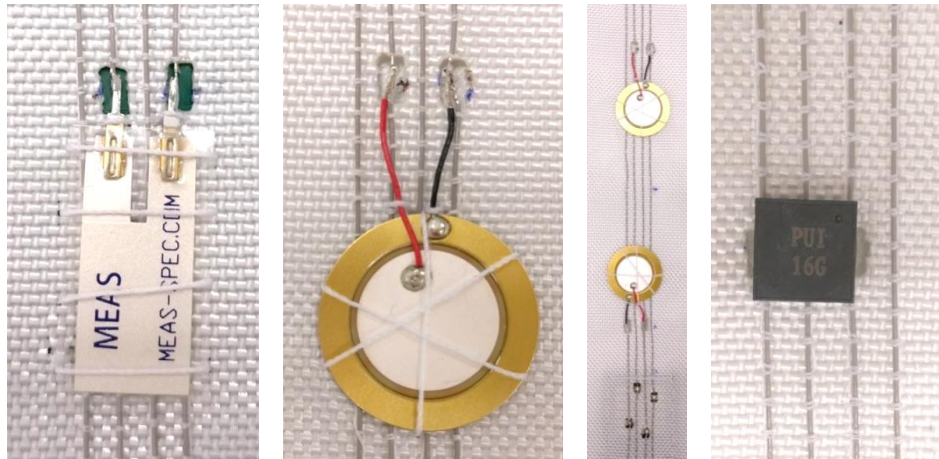


Abbildung 5: Auf Verstärkungstextil aufgebrachte und angelötete Piezoelemente

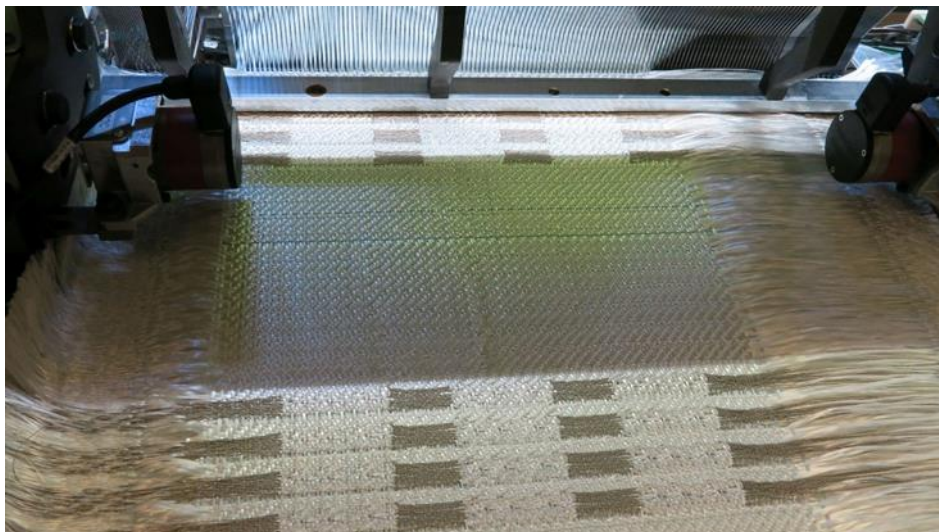


Abbildung 6: Mehrlagengewebe auf der Webmaschine

Danksagung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 20146 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:

- AIRBUS Defence and Space GmbH
- Allianz Faserbasierte Werkstoffe Baden-Württemberg e.V.
- AMOHR Technische Textilien GmbH
- CHT Germany GmbH
- Dienes Apparatebau GmbH
- EAT GmbH "The DesignScopeCompany"
- ETTLIN Spinnerei und Weberei Produktions GmbH & Co
- Gustav Gerster GmbH & Co KG
- IVGT Industrieverband Veredlung - Garne - Gewebe - Technische - Textilien e.V.
- J.H. vom Baur Sohn GmbH & Co. KG
- Maschinenfabrik Lauffer GmbH & Co KG
- Nanoedge GmbH
- Rökona Textilwerk GmbH & Co. KG
- Saurer Spinning Solutions GmbH & Co. KG

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens IGF 20146 N ist an den Deutschen
Instituten für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.

Ansprechpartner

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