

## KURZVERÖFFENTLICHUNG

### Entwicklung von textilbasierten Sensoren für die Überwachung von mechanischen Verformungen und Schädigungen in textilen Verbundwerkstoffen (IGF 19070 N/1)

Autoren: Dr. Reinhold Schneider  
Sabine Frick

Erschienen: 24.09.2018

Bearbeitungszeitraum: 1.3.2016 - 31.5.2018

#### **Kurzzusammenfassung**

Faserverbundwerkstoffe haben in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen, da sie bei geringem Gewicht hohen mechanischen Belastungen standhalten und im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen korrosionsbeständig sind. Anwendungen finden sich v.a. im Leichtbau, insbesondere im Automobil- und Flugzeugbau sowie bei der Herstellung von Rotorblättern für Windkraftwerke. Zur Überwachung und Kontrolle der mechanischen Verformung und Schädigung der Faserverbundwerkstoffe bedient man sich entweder aufgeklebten Dehnmessstreifen oder der Einbettung faseroptischer Sensoren mit integrierten Reflexionsgittern (Bragg'sche Gitter) oder piezoelektrische Sensoren. Nachteilig ist, dass große Bereiche und Flächen außerhalb der kleinen Messstrecken unberücksichtigt bleiben.

Gesamtziel des abgeschlossenen Forschungsprojektes IGF 19070 N/1 „Entwicklung von textilbasierten Sensoren für die Überwachung von mechanischen Verformungen und Schädigungen in textilen Verbundwerkstoffen“ war die Entwicklung der drucktechnischen Herstellung großflächig messender Sensoren, welche die mechanische Verformung und Schädigung am gesamten Verbundwerkstoff feststellen können.

Sowohl für den Siebdruck als auch für den Inkjetdruck wurden elektrisch leitfähige Pasten und Tinten auf Basis von Silber entwickelt, mittels derer die Herstellung von geeigneten Interdigitalstrukturen als Elektrodenmaterial gelingt. Beim Siebdruck genügt ein einmaliges Bedrucken um Oberflächenwiderstände von  $R < 5 \text{ Ohm/sq}$  zu erreichen. Beim Inkjetdruck ist ein mehrfaches Bedrucken erforderlich. Durch anschließendes Sintern bei  $150^\circ\text{C}$  können

Oberflächenwiderstände von  $R < 10 \text{ Ohm/sq}$  erreicht werden. Die Reproduzierbarkeit und die Reibbeständigkeit der Drucke sind gut.

Es konnten sensoraktive Pasten und Beschichtungen unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit hergestellt werden. Ausgehend von einer 5%igen Russpaste konnte der Oberflächenwiderstand der hergestellten Drucke durch Zumischen von Bindemittel im Bereich von 4-100 kOhm/sq variiert werden. Der Oberflächenwiderstand der sensorischen Tinten lag in Abhängigkeit von der Anzahl der Bedruckungen und der zugemischten Bindemittelmenge im Bereich von 10-100 kOhm/sq.

Die Herstellung sensorischer Strukturen gelingt entweder durch das Bedrucken von Verstärkungsgewebe aus Kohlenstofffasern mit Interdigitalstrukturen oder durch Bedrucken von Glasfaserverstärkungsgewebe mit Interdigitalstrukturen und anschließendem Aufdruck sensoraktiver Tinten/Pasten. Dies konnte sowohl durch Siebdruck als auch durch Inkjetdruck realisiert werden. Die besten Ergebnisse hinsichtlich der Kontaktierung wurden bei Verwendung eines biegeschlaffen selbstklebenden Kupferbandes erhalten.

Durch das Infiltrationsverfahren konnten einwandfreie sensorische Verbünde mit bis zu 4 Lagen Verstärkungsgewebe aus Epoxydharz hergestellt werden. Als Armierungsgewebe diente bedrucktes C-Gewebe und Glasfasergewebe. Die Verbundwerkstoffe auf Basis von Glasfasergewebe verlieren nach der Infiltration die sensorischen Eigenschaften, d.h. nach der Infiltration ist kein ohmscher Widerstand mehr messbar. Die Gründe hierfür konnten nicht geklärt werden. Das Aufdrucken der Sensorik auf den Glasfaserverbund ist hingegen möglich.

Es wurde gefunden, dass bereits minimale mechanische Beanspruchungen mit der Sensorik detektiert werden können. Jede Deformationsbewegung führt zu einem spontanen Abfall des Messsignals. Die Anzahl der Deformationen korreliert damit mit der Anzahl der negativen Ausschläge der Messsignale. Es wurde gefunden, dass sich der Widerstand annähernd linear mit der mechanischen Auslenkung erniedrigt. Je stärker die Auslenkung ist, umso größer ist dabei die Änderung des Widerstandes. Bei periodischer Materialbeanspruchung werden charakteristische und sich wiederholende Sequenzen mit schwacher Drift erhalten. Aufgrund der Drift müssen die Signaländerungen und nicht die Absolutwerte der Messsignale ausgewertet werden. Die zeitliche Signalveränderung korreliert annähernd linear mit der Deformationsgeschwindigkeit, d.h. die Steigung des Messsignals (1.Ableitung) ist umso negativer, je schneller die Auslenkung erfolgt.

Im Ergebnis wurden Tinten und Pasten entwickelt, die für das Drucken von Interdigitalstrukturen als Elektrodenmaterial geeignet sind. Sensorische Verbundwerkstoffe konnten auf Basis von Kohlenstoffverstärkungsgewebe hergestellt und analysiert werden.

Die Herstellung von Glasfaserverbundwerkstoffen mit interner Sensorik gelang nicht, wohl aber das Bedrucken mit besagter Sensorik. Aufgrund einer Signaldrift müssen die Signaländerungen ausgewertet werden. Die komplexen Messsignale der hergestellten Demonstratoren (Widerstandsänderung) korrelieren mit der Stärke der Deformation (Materialauslenkung) und die zeitliche Änderung des Widerstandes mit der Deformationsgeschwindigkeit.

## Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 19070 N/1 der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 12-14, 10117 Berlin 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.

Für diese Förderung danken wir.



Wir danken den Firmen des Projektbegleitenden Ausschusses für die wertvollen Hinweise und Ratschläge, genauso wie für die freundliche und tatkräftige Unterstützung zur erfolgreichen Durchführung des Projektes: 3T Inkjet Textile Consulting GmbH, ACC Technologies GmbH&Co.KG, AMOHR Technische Textilien GmbH, Barthels-Feldhoff

GmbH & Co.KG, BASF AG, Doduco GmbH, DP Solutions GmbH & Co. KG, Fa. Georg + Otto Friedrich Wirkwarenfabrik KG, INSKO GmbH, ITVP Produktservice GmbH, Lefatex Chemie GmbH, Lindenfarb Textilveredlung Julius Probst GmbH, MDS-Prozesstechnik GmbH, Multiplot GmbH, Allianz Faserbasierter Werkstoffe e.V., IVGT – Industrieverband Garne-Gewebe-Technische Textilien e.V. Frankfurt/M., Textilchemie Dr. Petry GmbH, S-Form GmbH, Trans Textil GmbH, GSB – Wahl GmbH.

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens (IGF-19070 N/1) ist an den DITF Denkendorf erhältlich.

Ansprechpartner: Dr. Reinhold Schneider (reinhold.schneider@ditf.de)