



## **Magneto-adaptive Funktionsbauteile aus faserverstärkten Elastomerverbunden für Smart Material-Anwendungen**

Beteiligte Forschungsvereinigungen:	Interdisziplinäres Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit:
Forschungskuratorium Textil e.V. Deutsche Kautschuk-Gesellschaft e.V.	Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e.V. (DIK), Hannover Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Dresden (IfWW), Dresden

### **Zielsetzung**

Elastomer-Dämpfungselemente mit magnetisch modulierbarer Steifigkeit und faserverstärkte Elastomerverbunde mit elektrisch veränderbarer Form bieten ein extrem großes Potenzial für eine Vielzahl von neuen, innovativen Produkten in vielfältigen Anwendungsgebieten, z. B. adaptive Schwingungsdämpfer und intelligente Greifsysteme. Insbesondere die Kombination der beiden Wirkmechanismen (magnetfeldinduzierte Änderung der Steifigkeit von magnetorheologischen Elastomeren und elektrisch schaltbare Formänderung durch Aktoren aus Formgedächtnislegierungen) ermöglicht die Entwicklung einer völlig neuen Materialklasse von magneto-adaptiven Elastomerkompositen. Ein wesentlicher Hinderungsgrund für eine industrielle Umsetzung derartiger Werkstoffsysteme ist das aktuell fehlende Basiswissen zu deren Auslegung und Fertigung. Ziel des Projektes ist deshalb die Entwicklung und Umsetzung von neuartigen, faserverstärkten Elastomerverbunden mit magnetfeldinduzierter Änderung der Steifigkeit sowie elektrisch steuerbarer Verformung.

### **Lösungsweg**

Zur Realisierung der elektromagnetisch einstellbaren Steifigkeit wurden unterschiedliche Magnetpartikel in ausgewählte Elastomerrezepturen integriert. Die aufgrund der sich beim Anlegen eines äußeren Magnetfeldes zwischen den eingebrachten Magnetpartikeln ausbildenden Feldkräfte führen zu einer Erhöhung des inneren Deformationswiderstandes bzw. der Schubfestigkeit und damit der Struktursteifigkeit des Materialies. Durch eine definiert eingestellte Magnetfeldstärke kann somit die Resonanzfrequenz eines Schwingungsdämpfers aktiv moduliert werden, sodass auf Schwingungen mit veränderlicher Frequenz aktiv reagiert werden kann, z. B. bei Anfahrvorgängen von Maschinen und Fahrzeugen. Zur Realisierung einer elektrisch steuerbaren Verformung wurden Drähte aus Formgedächtnislegierungen (FGL) verwendet, die in textile Festigkeitsträger maschinell integriert wurden. Beim Anlegen eines elektrischen Stromes erfolgt eine mit der durch die JOULE'sche Wärmeentwicklung ausgelösten Gefügewandlung einhergehende Kontraktion der FGL-Drähte, die zu einer gezielten Deformation des Elastomerbauteiles führt.

### **Ergebnisse**

Zunächst wurde eine geeignete niedrigtemperaturvernetzende NBR-Rezeptur entwickelt, die mit einer Vulkanisationstemperatur von 75°C die Fertigung von Elastomerverbunden mit integrierten FGL-Aktoren ermöglicht, ohne den Formgedächtniseffekt der FGL-Drähte dauerhaft zu zerstören. Weiterhin wurden Mehrlagengestricke aus PPS-Garnen als Verstärkungshalbzeuge als auch als Funktionshalbzeuge mit textiltechnisch integrierten FGL-Drähten entwickelt und hergestellt. Dabei wurden die FGL-Drähte mäanderförmig als Aktor-Netzwerke in den Mehrlagengestricken fixiert, um so den Aufwand für die Kontaktierung der FGL-Drähte zu minimieren und dennoch einen größtmöglichen Verformungseffekt zu erzielen. Zur Sicherstellung einer anforderungsgerechten Anbindung der FGL-Drähte an die Elastomermatrix, insbesondere zur gezielten Verankerung der FGL-Aktoren an Krafteinleitungspunkten sowie für eine möglichst reibungsfreie Einbindung im Bereich der Verformungszonen, wurden die FGL-Drähte mit einer geeigneten Ummantelung ausgestattet. Dafür haben sich PTFE-Schläuche sowie eine

Flechtummantelung als geeignet erwiesen. Die punktuelle Fixierung der FGL-Aktoren an Kräfteeinleitungspunkten, um so die notwendige Verbindung zur Elastomermatrix als Ankerpunkt sicherzustellen, erfolgte dabei nasschemisch mittels Phenolformaldehyd-haltigen sowie Maleimid-basierten Flüssigbeschichtungssysteme. Dadurch kann eine bestmögliche Kräfteinleitung erfolgen. Zur Verstärkung des magnetischen Flusses durch die Verbundstruktur wurden die Textilhalbzeuge im Foulardverfahren mit Magnetpartikeln beschichtet. Durch zusätzliche Oberflächenbeschichtung mit industrieüblichen Chemosil®-Haftvermittlersystemen kann zudem die Haftung der textilen Festigkeitsträger zur Elastomermatrix deutlich erhöht werden. Die beschichteten Funktionshalbzeuge mit integrierten FGL-Drähten wurden somit während der Vulkanisation mit dem Elastomer verbunden. Dies erfolgte in zwei Prozessschritten, um die Mehrlagengestricke beidseitig an das Elastomer anzubinden. Das Adhäsionsverhalten der einzelnen Grenzflächen zwischen sowohl Elastomermatrix und PPS-Fasern als auch zwischen Elastomermatrix und Ummantelung der FGL-Aktoren wurde in T-Tests untersucht, womit praxistaugliche mechanische Verbundeigenschaften nachgewiesen werden konnten.

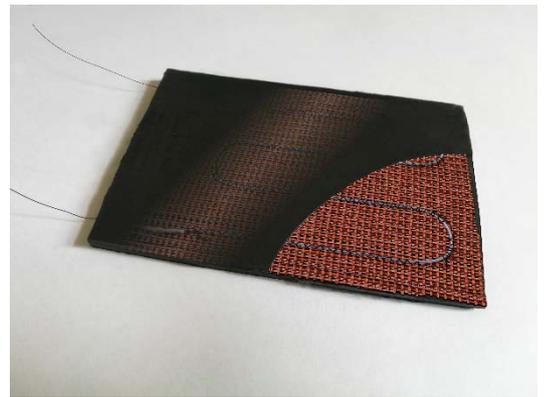
Magnetorheologische Messungen an faserverstärkten Elastomerverbunden haben gezeigt, dass sowohl eine Langfaserverstärkung mit PPS-Textilträger als auch eine Verstärkung mit Aramid-Kurzfasern den erzielbaren Schalteffekt nicht negativ beeinflussen. Es wurde eine relative Steifigkeitsänderung von 15,5 % bezogen auf die Grundsteifigkeit des Materials (ohne Einfluss eines Magnetfeldes) gemessen, was in der Größenordnung vergleichbarer magnetorheologischer Elastomere liegt. Ebenso haben Aktivierungsversuche gezeigt, dass eine aktive und reversible Verformung magneto-adaptiver Elastomerverbunde durch Aktivierung der FGL-Aktoren möglich ist. Das Hinzufügen von Magnetpartikeln führt dabei zu einer Versteifung des Materials und damit einhergehend zu einer leichten Verringerung der maximal erreichbaren Verformung um ca. 3 % (bezogen auf die Bauteillänge).

Schließlich wurde ein Synergiedemonstrator, der die beiden Wirkmechanismen (magnetfeldinduzierte Änderung der Steifigkeit sowie elektrisch schaltbare Formänderung) kombiniert, umgesetzt und erfolgreich erprobt. Somit steht fortan eine robuste Prozesskette für eine industrietaugliche Fertigung anforderungsgerechter aktiv und definiert reversibel verformbarer Elastomerverbunde mit einstellbarer Steifigkeit zur Verfügung.

### **Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)**

Mit den erarbeiteten Projektergebnissen werden insbesondere die KMU der Textil- und Elastomertechnik in die Lage versetzt, innovative Produkte auf Basis von magneto-adaptiven Elastomerkompositen herzustellen, die gegenüber konventionellen Systemen vorteilhafte Eigenschaften aufweisen, wie einen geringen Verschleiß und Bauraumbedarf sowie eine reduzierte Anzahl an Komponenten. Potenzielle Anwendungsfelder hierfür sind neuartige Bauteile mit elektromagnetisch adaptierbarer Steifigkeit und Form, z. B. für Greif- und Niederhalterelemente, Ventile oder Schieber.

Zur zukünftigen effektiven Nutzung derartiger Smart Materials in verschiedensten Anwendungsfeldern besteht weiterer Forschungsbedarf. Dies umfasst insbesondere das Erstellen umfassender Steuer- und Regelalgorithmen, um gezielte Verformungsrichtungen einstellen zu können. Darüber hinaus sind umfassende mechanische, thermische und elektrische Charakterisierungen dieser Materialien notwendig, um diese beanspruchungsgerecht und effektiv auslegen zu können.



**Abbildung 1:** Faserverstärkte magneto-adaptive Elastomerverbunde mit magnetfeldinduzierter Steifigkeitsänderung und elektrisch schaltbarer Formänderung durch Formgedächtnislegierungs-Aktoren © ITM

## Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19486 BG der Forschungsvereinigungen Forschungskuratorium Textil e.V. und Deutschen Kautschuk-Gesellschaft e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

Der Forschungsbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages