

Titel

Morphing durch formvariable Strukturen aus Formgedächtnislegierungen und Faserverbundwerkstoffen

IGF-Nr.: 21247 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe, Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern (IVW)



Ansprechpartner beim Kürzel Institut 1:

Dr. Romina Krieg
02191 / 5921-179
krieg@fgw.de

Ansprechpartner beim IVW:

Dr. Martin Gurka
0631 / 2017-0
martin.gurka@ivw.uni-kl.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 21247 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Anwendungsszenarien für Morphing-Strukturen sind vielfältig, aber bislang nur in wenigen Branchen in Nutzung. Insbesondere im Automotive und der Luftfahrt ist mit signifikanten Optimierungen zu rechnen. Dazu sollen im Folgendem zwei mögliche Anwendungen beschrieben werden. Sie dienen als Beispiele, wie technische Strukturen durch formvariable Konzepte einen zusätzlichen funktionalen oder technischen Nutzen erhalten können.

Die Geometrie der KFZ-Außenspiegel ist starr. Eine formvariable Struktur würde es ermöglichen, die äußere Hülle adaptiv an die Fahrsituation gemäß der Geschwindigkeit, Fahrweise und den Wetterbedingungen anzupassen und somit Fahrgeräusche und den Luftwiderstand zu reduzieren. Aufgrund der extremen Packungsdichte an Motoren, Heizelementen, Assistenzsystemen und Elektronik ist kein Platz für ein zusätzliches konventionelles Motor-Getriebesystem im Spiegel. Entsprechend wären platzsparende Lösungen notwendig.

Das zweite denkbare Beispiel stammt aus der Luftfahrtindustrie. Während eine adaptive Anpassung von Flugzeugstrukturen signifikante Vorteile in der Geräusch- und Stabilitätsentwicklung während des Fluges sowie der erreichbaren Flugreichweite zeigen [AOPA-Germany, „Allgemeine Luftfahrt,“ (Online)], stehen die dafür notwendigen Aktorkonzepte im Konflikt zur Leichtbauweise, insbesondere bei Segelflugzeugen. Eine einfache und flexible Faserverbund-Außenstruktur in Kombination mit einem Leichtbauaktor, welcher die Außenhülle den Umgebungsbedingungen anpasst, ermöglicht die Umsetzung der verbrauchs- und geräuschoptimierten Ziele. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde auf Basis des Formgedächtnisprinzips ein Morphing-System umgesetzt werden, auf Basis dessen Unternehmen in die Lage versetzt werden können, Morphing-Strukturen wie die oben genannten umzusetzen. Die Realisierung neuartiger situationsabhängiger Anpassungen von Bauteilformen durch einsetzbare formvariable Strukturen (auch Morphingstrukturen genannt), bei denen Aktoren auf Basis von Formgedächtnislegierungen (FGL) direkt in den Materialverbund integriert ist, unterstützt die Funktionalität, Leistungsfähigkeit und Effizienz der Produkte.

Forschungsziel

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung von neuen, leichten, kosteneffizienten und langlebigen adaptiven formveränderbaren Demonstratoren in Form von Morphingstrukturen, mit denen das Verhalten von Fahrzeugen und Flugzeugen optimiert werden kann. Die FG-Elemente würden dabei eine aktive Rolle bei der Erzeugung von Zug- und Druckkräften innerhalb der adaptiven Struktur spielen, während das FKV-Element (Faser-Kunststoff-Verbund) die notwendige Rückstellung bereitstellt. Für eine spezifikationsgerechte Umsetzung mussten alle verwendeten

Materialien/Komponenten, welche eine Morphingstrukturen bilden, untersucht und deren gegenseitige Beeinflussung definiert werden.

Auch Überlast- und Endlagenschutz sowie elektrische Leitungen wurden die Morphingstruktur integriert. Die Zellen können zu einem Array aus Morphing-Zellen zusammengeschlossen werden, um großflächige formveränderbare Strukturen zu ermöglichen. Dazu ist es unter anderem notwendig neue Herstellungsprozesse und Anbindungstechnologie zu untersuchen und deren Anwendbarkeit zu beweisen. Ein enger Austausch mit den projektbegleitenden Unternehmen, hat sichergestellt, dass gemeinsame Anforderungen von Industrie und Luftfahrt erfüllt werden, um Skalierbarkeit und Einsatzmöglichkeiten in verschiedenen Systemen zu erhöhen. Dazu wurden mehrere Teilziele festgelegt.

- 1) Konkretisierung realer Einsatzanforderungen für FGL und Faserkunststoff-Verbunde als formvariable Strukturen durch mechanische, thermische, elektrische und konstruktive Auslegung sowie Validierung standardisierter Module.
- 2) Integration des FGL-FKV-Verbunds samt Elektronik zu einer Morphingstruktur, die zu den erarbeiteten Einsatzanforderungen passen.
- 3) Validierung der Morphingstruktur unter Einsatzbedingungen in zwei Anwendungsklassen.
- 4) Standardisierung der Ergebnisse in einem Technologieleitfaden

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurden mehrere Ansätze konzipiert, um FG-Elemente in Morphing-Strukturen zu integrieren. Zunächst wurde dazu der projektbegleitende Ausschuss befragt, um mögliche Anwendungsbeispiele festzulegen und eine grundlegenden Anforderungsanalyse durchzuführen. Auf dieser Basis konnten zwei Anforderungskategorien, kleine (kMZ) und große (gMZ) Morphing- Zellen, definiert und in mehreren Schritten sowie mehreren Ausführungen hergestellt werden.

Ergebnisse Herstellung

Die kleinen Morphing- Zellen (kMZ) wurden entsprechend Abbildung 1 umgesetzt. Um eine breite Materialauswahl testen zu können, wurden verschiedene Grundlamine und Binder gewählt und so 12 verschiedene Zellen mit den Abmaßen (90 mm x 50 mm x 2-4 mm) erstellt.

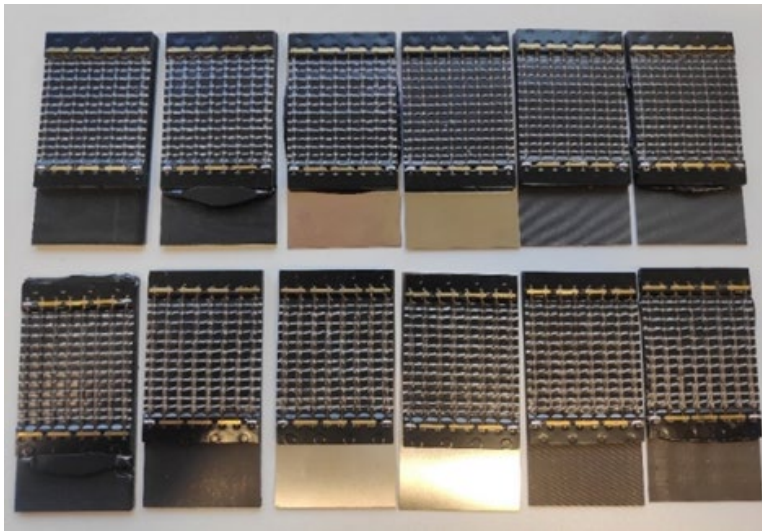


Abbildung 1: 12 kleine Morphing-Zellen (kMZ)

Als Variation wurden mithilfe des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) ein FGL-Stahlgewebe hergestellt und zur Handhabung und Anbringung in Silikon gegossen. (vgl. Abbildung 2).

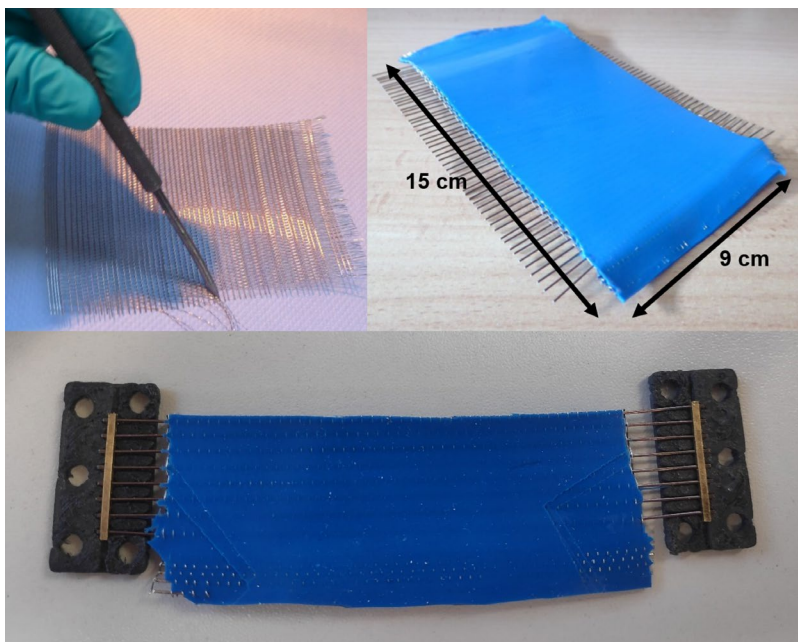


Abbildung 2: Verarbeitung FGL-Stahlgewebe

Als eine weitere Variante wurde zu den bereits genannten Morphing-Zellen ein „Shape Memory Alloy Hybrid Composites“ (SMAHC) entwickelt, validiert und eingebaut (vgl. Abbildung 3). Dazu wurde als Fasermaterial Glasfaser und als Matrixmaterial eine Kombination aus elastischen *Formlabs Elastic 50 A Resin* und harten *Anycubic ABS-LIKE RESIN+ black* gewählt.

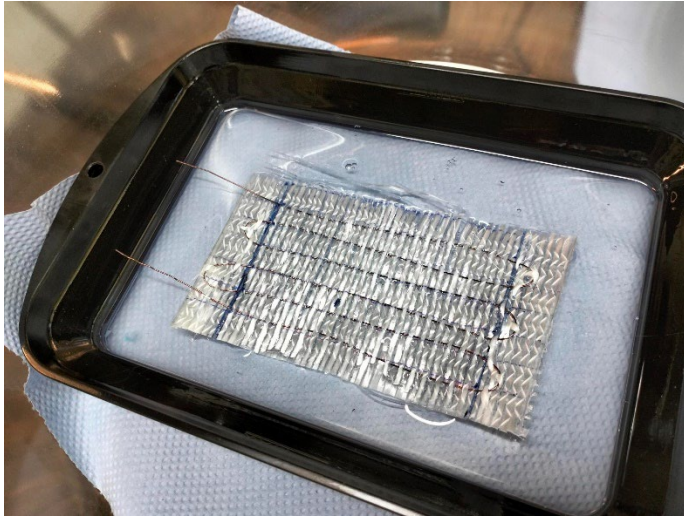


Abbildung 3: Glasfaser-Gelege mit FGL in Harzbad (SMAHC)

Die großen Morphing-Zellen (gMZ) wurden aus einem CFK und Federblech Laminat hergestellt. Vier Stege halten die 5 parallele FG-Elemente auf einem definierten Abstand zur neutralen Faser. Die beiden Zellen sind in Abbildung 4 dargestellt.

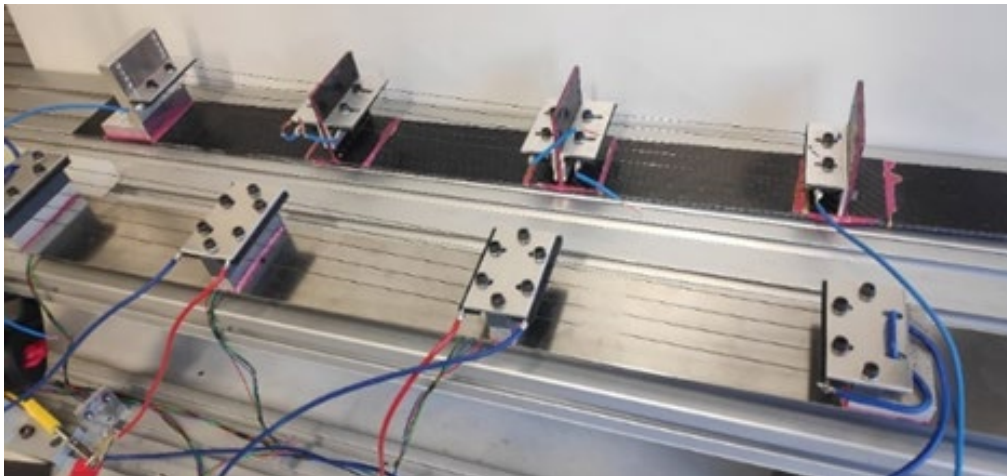


Abbildung 4: 2 große Morphing-Zellen (gMZ)

Ergebnisse Validierung

Alle Zellen wurden in verschiedenen dynamischen Versuchen validiert und bewertet.

Die kMZ wurden thermodynamisch und elektromechanisch in einer Temperierkammer von 20 °C bis -45 °C validiert. Dabei wurden ersten Schwachstellen der kMZ an den Verankerungen und den Klebestellen identifiziert. Ein besonderes gut geeignetes Laminatmaterialien war das CYCOM977 0/0/90/0/0 CFK. Hier waren Stellwege von bis zu 16 mm und Kräfte von 59 N möglich.

Darüber hinaus wurden die kMZ in einem Dauerversuch getestet. Die oben genannte kMZ konnte 4.000 Zyklen ohne einen sichtbaren Stellwegsverlust erreichen. Lediglich die Schutzschicht der FG- Element wies mechanischen Schädigungen durch die Biegung auf.

Das FGL-Stahlgewebe wurde mit einem vergleichbaren Federblech Grundlaminat umgesetzt wie in den kMZ und ist daher zu diesen vergleichbar. Der realisierte Stellwege belief sich ebenfalls auf ca. 16 mm, jedoch fällt auf, dass die Aktivierungszeiten bei vergleichbaren A/mm² sehr viel länger sind.

Die beiden gMZ lieferten vergleichbare Stellwege von bis zu 160 mm und Kräfte von bis zu 15 N. Für die weiteren Untersuchungen wurden verschiedene Aktivierungsstrategien und Regelungen erstellt und validiert. Die gMZ wurde daraufhin in einen Flügeldemonstrator umgesetzt.

Ergebnisse Schutzschichten

Im Rahmen der Untersuchungen wurden mehr Schutzschichten und Binder überprüft, ob sie für die Anforderung in Morphing-Strukturen angewendet werden können. Dazu wurden 3-Punkt-Biegeversuche und Bewitterungsversuche an:

- *MG Chemicals 4223F PUR Leiterplatten Schutzlack*
- *PU140: Abdeckmittel für Dehnungsmessstreifen, Polyurethan-Lack*
- *HBM Protective Coating SG 250*

durchgeführt. Für die 3-Punkt-Biegeversuche konnten nach 2.000 Zyklen unter Raumtemperatur wie auch unter 150 °C, neben einer leichten Verfärbung, keine weitere Schädigung erkannt werden. Im Rahmen der Bewitterungsversuche konnten hingegen nach 400 h bereits mehrere Korrosionsstellen detektiert werden, was auf eine Semipermeabilität der Schichten hindeutet.

Ergebnisse Aktivierung und Regelung

Es konnte eine effizientere Aktivierung von bis zu 63 % für integrierte Aktoren durch eine schnellere und hochstromige Aktivierung erreicht werden.

Es wurden verschiedene integrierte Messprinzipien untersucht. Dabei wurden DMS in Stellwegeregungen eingesetzt und weitere Möglichkeiten der Integration konzeptioniert. Des Weiteren wurde die Widerstandskennlinie der FG-Elemente betrachtet und Anwendungsfälle für die Nutzung der sensorischen Fähigkeiten der FGL untersucht. So ist eine Nutzung beispielsweise bei der Validierung einer Aktivierung (min. Widerstand erreicht) vorstellbar.

Ergebnisse Demonstratoren

Mehrere der gebauten Morphing-Zellen wurden in Form von Demonstratoren umgesetzt und auch auf Messen vorgestellt (vgl. Abbildung 5).



Abbildung 5: Aufbauten der Demonstratoren (links) aus

Abschließend wurden alle Ergebnisse und verwendeten Technologien näher in einem Technologieleitfaden zusammengefasst, um Unternehmen und insbesondere KMU die Entwicklung von Morphing-Strukturen mit FG-Komponenten zu vereinfachen.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zu Beginn mehrere Teilziele definiert, die mit den erreichten Ergebnissen abgeglichen wurden.

Zunächst sollten im Vorhaben reale Einsatzanforderungen für FGL und Faserkunststoff-Verbunde als formvariable Strukturen unter Betrachtung der mechanischen, thermischen, elektrischen und konstruktiven Aspekte konkretisiert werden. Durch die Absprache mit dem Projektausschuss, wie auch eine Analyse verschiedener Anwendungen konnten zwei Anwendungsklassen definiert und entsprechende Morphing-Zellen ausgelegt werden.

Für das nächste Teilziel sollte der FKV-FGL Verbund samt Elektronik in einer Morphing-Zelle integriert werden, die zu den erarbeiteten Einsatzanforderungen passt. Die Herstellung der Morphing-Zellen mit integrierten FG-Elementen wurde unter Nutzung verschiedener Materialien, Materialkombinationen und Designkonzepten durchgeführt. Dieses Vorgehen ermöglichte eine breite Eignungsanalyse, so dass für die Anwendungsklassen die geeignetste Morphing-Zelle ausgewählt werden konnte. In

diesem Zuge wurde außerdem ein neues FGL-Stahl Gewebe hergestellt, das ein hohes Potential an Leichtigkeit, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit bietet.

Die erstellten Morphing-Zellen konnten daraufhin unter Einsatzbedingungen in zwei Anwendungsklassen validiert werden. Die erstellten Morphing-Zellen wurden dabei unter Variation der thermischen, elektrischen und mechanischen Bedingung erprobt. Hier wurden die Stellwege, Kräfte und Lebensdauer, wie auch die generelle Eignung der Materialien gemessen und bewertet. Zusätzlich wurden weitere Untersuchungen von Schutzschichten durchgeführt und ausgewertet.

Abschließend konnten die Zellen in mehreren Demonstratoren umgesetzt werden, um die Technologie besser darzustellen. Die Ergebnisse des Vorhabens wurden außerdem in einem Technologieleitfaden zusammengefasst und für eine praktische Überführung ausgelegt.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Dr. Romina Krieg unter 02191 / 5921-179.