

Konzeption, Auslegung und experimentelle Untersuchung von integralen Faserverbundgelenken für die Anwendung an formadaptiven Flügelstrukturen

Dominik Boos, M.Sc., Technische Universität München

In der Luftfahrt sind Faserverbundwerkstoffe schon länger im Einsatz, um Gewicht und damit Treibstoff einzusparen. In der Regel handelt es sich in diesen Anwendungen um CFK Strukturbauteile mit einer duromeren oder thermoplastischen Matrix. Neben der strukturellen Masse hat jedoch auch die Aerodynamik einen entscheidenden Anteil an der der Effizienz des Luftfahrzeugs. Ablösungen und Druckausgleiche an Klappensystemen führen zu hohen Widerstandskräften. Ein lang erklärtes Ziel in der Luftfahrt ist es, mit Hilfe von formvariablen Strukturen (morphing structures) diese Luftwiderstände für möglichst viele Flugphasen zu verringern.

Die vorliegende Arbeit fokussiert die Konzeption, numerische Auslegung und experimentelle Untersuchung einer formvariablen Spaltabdeckung für das Querruder eines A320 auf Basis eines Hybrid-Matrix Faserverbundwerkstoffkonzepts. Anstelle eines einheitlichen Matrixmaterials im gesamten Bauteil zu verwenden, wird die „harte“, spröde Duroplastmatrix ganz oder zum Teil lokal durch eine Matrix mit deutlich geringerem E-Modul (Elastomer) ersetzt. Zusammen mit der ausgeprägten Anisotropie, die sich beim Einsatz von Faserverstärkungen ergibt, lassen sich auf diese Weise lokal besonders biegeweichere Zonen in einem Bauteil realisieren.

Im Zuge einer geometrischen Vorauslegung wird der verfügbare Bauraum der Spaltabdeckung in einem parametrisierten, makrogesteuerten CAD-Modell (s. Abb. 1) untersucht und in MATLAB durch einen genetischen Algorithmus optimiert (Minimierung von Deckschichtdehnungen). Die Berechnungen liefern wichtige Erkenntnisse über die Zusammenhänge von Ruderausschlag, Gelenkwinkel und Deckschichtdehnungen.

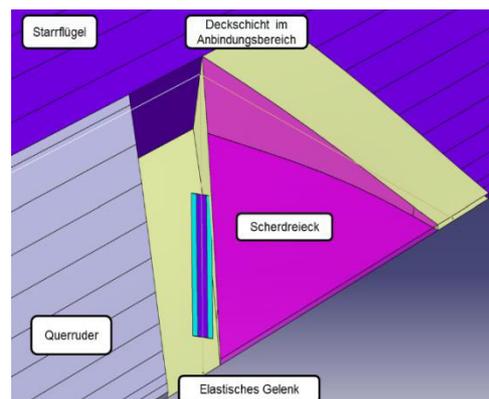


Abb. 1: Flächenmodell der Spaltabdeckung

Mithilfe des Hybrid-Matrix Faserverbundkonzepts lassen sich integrale Gelenke in Faserverbundstrukturen erzeugen. Wichtig ist hierbei vor allem ein sanfter, gradueller Steifigkeitsverlauf, sodass Spannungssprünge bei der Biegeverformung vermindert werden. Dazu werden Lagen mit sowohl unterschiedlicher Matrix- als auch Faserorientierung derart kombiniert, sodass sich ein gleichmäßiger Steifigkeitsabfall zur Gelenkmittle hin einstellt. Als Matrix der biegeweicheren Zonen kommt der Elastomer EPDM zum Einsatz und als Matrix der biegesteifen Zonen konventionelles Epoxidharz.

Die Herausforderung bei der Verwendung von EPDM als Matrixwerkstoff besteht in der vollständigen Tränkung (sowohl Mikro- als auch Makrotränkung) der Fasern. Im unvernetzten Zustand ist EPDM bei Raumtemperatur eine zähe, klebrige Masse und auch bei der Vulkanisation im Autoklaven ist der kurzzeitige Abfall der Viskosität nicht ausreichend um z.B. Gewebe zu tränken. Deswegen wurde ein neuer Verarbeitungsprozess entwickelt. Die Viskosität von unvulkanisiertem EPDM lässt sich durch Zugabe von Lösungsmittel senken. In Versuchen mit Nasslaminier-Vakuum Kompaktierungsverfahren wurde ein Mischungsverhältnis gefunden, das einerseits eine ausreichend niedrige Viskosität und andererseits eine ausreichend hohe EPDM-Fraktion in den Verstärkungsfasern nach dem Ablüften des Lösungsmittels sicherstellt. Das EPDM-Prepreg wird zusammen mit Epoxid-Prepreg gestapelt und im Autoklaven vulkanisiert bzw. ausgehärtet. Durch das gemeinsame Prozessieren entsteht eine optimale adhäsive Verbindung an den Matrixgrenzflächen. Ein Schlibbild des Hybrid-Matrix-Laminats ist in Abb. 2 gezeigt.

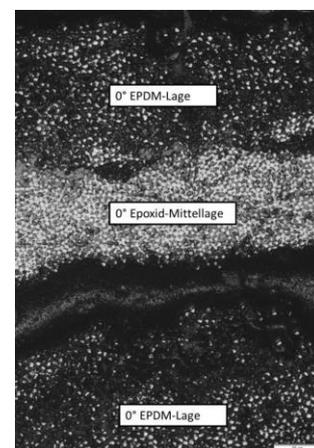


Abb. 2: Schlibbild des EPDM-Epoxid Verbunds nach dem Autoklavprozess

Anand von zweidimensionalen Gelenkprüfkörpern, wurde das mechanische Verhalten in Zug- und speziellen Gelenk-Biegeversuchen nach Colin [1] charakterisiert. In Fatiguetests ($\sim 10^4$ Gelenkbewegungen) wurde eine Reduktion des E-Moduls um 16% beobachtet. Die Zugfestigkeit bleibt aber nahezu identisch, da sie bei dem gewählten Laminataufbau hauptsächlich von der Mittellage nahe der neutralen Faser bestimmt ist, die durch die Biegebelastung am wenigsten geschädigt wird.

Die neue Hybrid-Werkstoffkombination ermöglicht eine Vielzahl von innovativen Anwendungen wie z.B. die Erhöhung der Crashresistenz spröder CFK-Strukturen. Darüber hinaus qualifiziert sich EPDM als Matrixmaterial durch seine hohe chemische, Temperatur- und Strahlungsbeständigkeit auch besonders für die Luft- & Raumfahrt.

Die Untersuchungen fanden im Rahmen des FlexMat Projekts (Flexible Materialien und Strukturen für formvariable Komponenten in industrieller Fertigung) gefördert durch das BMWi in Zusammenarbeit mit Invent GmbH und dem DLR Braunschweig statt.

[1] D. Colin, Bending Characterization of Hybrid-Matrix Fiber Reinforced Hinges with a Developed Testing Device, Garching: Technische Universität München, Lehrstuhl für Carbon Composites, 2015.