

INNOVATIVE GESTALTUNG DER EIN- UND AUSTRITTPUNKTE VON FASER-BRAGG-GITTER SENSOREN IN FASERVERBUNDSTRUKTUREN UND HERSTELLUNG VON SMART-PREFORMS

Technologieentwicklung und experimentelle Untersuchungen

11/2017 – 08/2020

Ausgangssituation

Strukturbauteile aus Faserverbundwerkstoffen werden in der Regel mit hohen Sicherheitsfaktoren belegt, da innere Schäden nur sehr schwer und mit hohem Aufwand detektiert werden können. Dieses Vorgehen widerspricht dem generellen Leichtbaugedanken und führt zu einer unzweckmäßigen Gewichtszunahme. Insbesondere in Mobilitätsanwendungen spielt dieser Faktor eine entscheidende Größe im Zusammenhang mit der erzielbaren Reichweite oder Nutzlastaufnahme. Einen zielführenden Ansatz stellt eine Überwachung der Strukturen dar. Diese kann über verschiedenste Messverfahren, wie Ultraschall- oder optische Messsysteme, sowie mittels Widerstandsmessung realisiert werden. Optische Messsysteme bieten aufgrund der Miniaturisierung, geringen Gewichts und Multiplexingfähigkeit das meiste Potential zur Strukturintegration. Die Ein- und Austrittspunkte aus dem Verbund stellen jedoch eine erhebliche Schwachstelle dar, da es hier zum Bruch der Sensorfaser und damit zum Ausfall des gesamten Messsystems kommen kann.

Forschungsziel

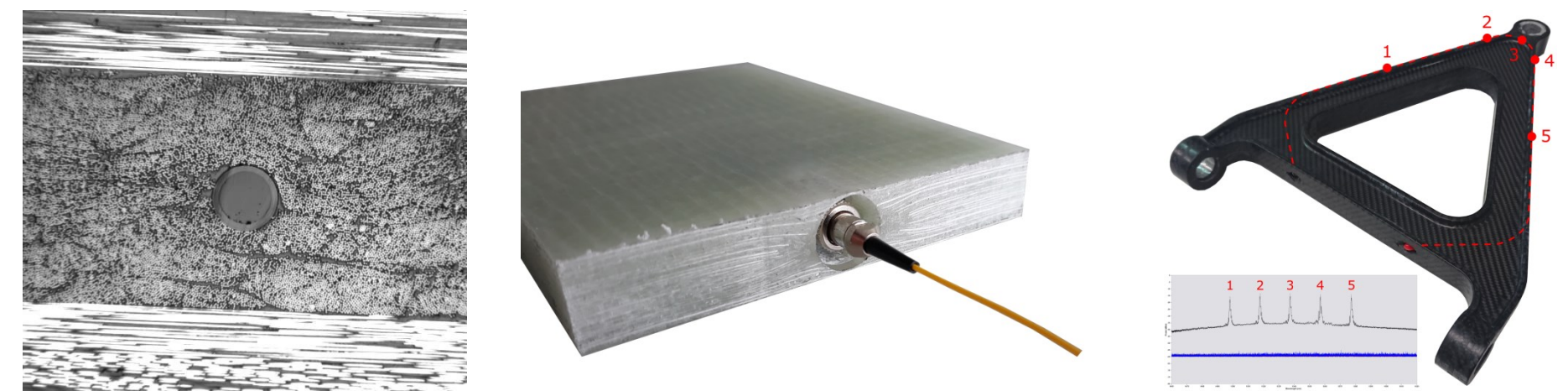
Das Ziel des Projektes stellt die Erforschung eines industrietauglichen Verfahrens zur Integration von faseroptischen Lichtwellenleitern mit eingeschriebenen Faser-Bragg-Gittern dar. Hierzu sollen zum einen verfahrensunabhängig die Ein- und Austrittspunkte direkt in die Faserverbundstruktur integriert und die reproduzierbare Ablage von komplexen Sensornetzwerken über mehrere Faserlagen entwickelt werden. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der umfassende Charakterisierung des Einflusses der Sensorfasern auf die mechanischen Verbundeigenschaften in Abhängigkeit von Faserwinkel und Laminataufbau.

Ergebnis

Im Projekt wurde erfolgreich ein Verfahren zur Integration eines Sensornetzwerks und der Steckverbindung entwickelt und deren Einsatz am Beispiel eines Dreiecklenkers nachgewiesen. Die Integration der Ein- und Austrittspunkte erfolgt durch den Einsatz von Standardsteckern. Diese werden mit Hilfe des 3D-Drucks so modifiziert, dass sie fasergerecht in das Laminat eingebettet werden können. Der 3D-Druck ermöglicht es, die Steckergeometrie für nahezu jeden Anwendungsfall beliebig anzupassen. Eine entfernbare Kappe schützt den Stecker im Fertigungsprozess vor dem Eindringen von Harz. Das entwickelte Verfahren wurde durch Probekörperherstellung in den gängigsten Herstellungsverfahren von Faserverbundwerkstoffen, wie Press-, Autoklav-Prepreg-, Wickel- sowie Infusions- und Injektionsverfahren validiert und verifiziert.

Die reproduzierbare Ablage der Sensorfaser wurde mit einer Schablone und der Fixierung auf einem bebinderten Vlies mit geringer Grammaturn realisiert. Alternativ kann die Sensorfaser auch direkt auf das Fasertextil appliziert werden. Der Verlauf des Sensornetzwerks kann dabei unter der Bedingung des minimalen Biegeradius von 20 mm völlig frei gestaltet werden. Daraus resultierend ist grundsätzlich jede beliebige Ausrichtung der Sensoren im Bauteil möglich. Des Weiteren konnte in mehreren experimentellen Standardversuchen nachgewiesen werden, dass die eingebettete Sensorfaser keinen signifikanten Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Laminats aufweist. Ergänzende FEM-Simulationen haben gezeigt, dass unter bestimmten Voraussetzungen eine Abminderung der lokalen Druckfestigkeit von 25 % auftritt, die jedoch global vernachlässigt werden kann.

Aufbauend auf den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen wurde ein Dreiecklenker als Demonstratorbauteil im RTM-Verfahren gefertigt. Abschließende Vergleichsmessungen mit Dehnmessstreifen zeigten eine gute Übereinstimmung mit den integrierten Faser-Bragg-Gitter Sensoren.



(li.) integrierte Sensorfaser, (mittig) Steckverbindung im Faserverbund, (re.) Demonstratorbauteil mit Sensorsignal

Bedeutung

Durch die Integration einer Strukturüberwachung kann der Leichtbaugedanke durch die gezielte Reduktion von Sicherheitsfaktoren auf eine neue Ebene gehoben werden. Damit gehen gleichermaßen eine Reihe von Sekundäreffekten einher, die maßgeblich zum Abbau der CO₂-Emmission beitragen. Darüber hinaus ist von einer signifikanten Senkung der Lebenszykluskosten aufgrund bedarfsgerechter Wartungsintervalle und der Erhöhung der Bauteillebensdauer auszugehen, wodurch sie Komponenten ohne Structural-Health-Monitoring (SHM) Systemen trotz erhöhter Fertigungskosten in der Gesamtbilanz deutlich überlegen sind.