

Vorhersage der Zwischenfaserbrüche in Biax-Laminaten unter mechanischer Beanspruchung mit Berücksichtigung fertigungsbedingter Eigenspannungen

Faser-Kunststoff-Verbunde unterliegen während der Fertigung einem Härtingsverfahren, welches aufgrund von Temperaturänderungen die Bildung von Eigenspannungen innerhalb des Materials bewirkt. Diese sind in erster Linie auf das unterschiedliche thermische Dehnungsverhalten von Faser und Matrix sowie Reaktionsschwindungen zurückzuführen [1]. Die Matrix weist dabei ein temperatur- und vernetzungsgradabhängiges viskoelastisches Verhalten auf. Das Zusammenwirken der Matrix mit den Fasern resultiert in temperaturabhängigen Eigenspannungen [2]. Diese überlagern sich mit den resultierenden Spannungen aus äußerlichen Beanspruchungen additiv gemäß dem Superpositionsprinzip und stellen somit eine zusätzliche Belastung des Verbundes dar [3].

In der vorliegenden Arbeit wurde daher der Einfluss fertigungsbedingter Eigenspannungen in Bezug auf die Vorhersage von Zwischenfaserbrüchen untersucht.

Um dieses Ziel zu erreichen, erfolgte eine thermische und mechanische Analyse eines Scheibenelements anhand ihrer konstitutiven Elemente Harz und Faser.

Die thermische Analyse beinhaltete die experimentelle Bestimmung der Harzeigenschaften bezüglich der Abhängigkeiten der Steifigkeiten sowie Wärmeausdehnungskoeffizienten von der Temperatur und von dem Grad der Polymervernetzung sowie dessen Materialmodellierung.

Unter Anwendung der Klassischen Laminattheorie wurde ein Modell entwickelt, welches das Materialmodell berücksichtigt und die Berechnung der Eigenspannungen anhand eines simulierten Härtingsprozesses ermöglicht.

Die Bestimmung der thermischen Eigenspannungen erfolgte unter Berücksichtigung des temperatur- und vernetzungsgradabhängigen Elastizitätsmoduls der Matrix sowie unter der Annahme eines linearen, temperaturunabhängigen Verhaltens des E-Moduls, entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik. Diese Untersuchung zeigte, dass die Eigenspannungen lediglich um 0,98 % voneinander abwichen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Wahl der Aushärtetemperatur einen großen Einfluss auf die Bildung des E-Moduls und somit auf die Eigenspannung hat.

Ebenfalls auf Basis der Klassischen Laminattheorie wurde der Spannungszustand infolge mechanischer Belastung simuliert. Die Berechnungen wurden zunächst ohne Eigenspannungen und anschließend unter Berücksichtigung der Eigenspannungen durchgeführt. Diese ergaben eine prozentuale Abweichung von 7,7 %. Demzufolge konnte gezeigt werden, dass die Eigenspannungen einen signifikanten Einfluss auf die Zwischenfaserbruchentwicklung haben. Anschließend erfolgte die

Validierung der Ergebnisse anhand von Messergebnissen aus experimentellen Zugversuchen am Biax-Laminat. Diese zeigten, dass der Schädigungsbeginn bereits vor dem prognostizierten Zwischenfaserbruch unter Berücksichtigung der Eigenspannungen auftritt, da die Matrixfestigkeiten überschätzt wurden. Graphisch ist der Vergleich in der Abbildung 1 dargestellt.

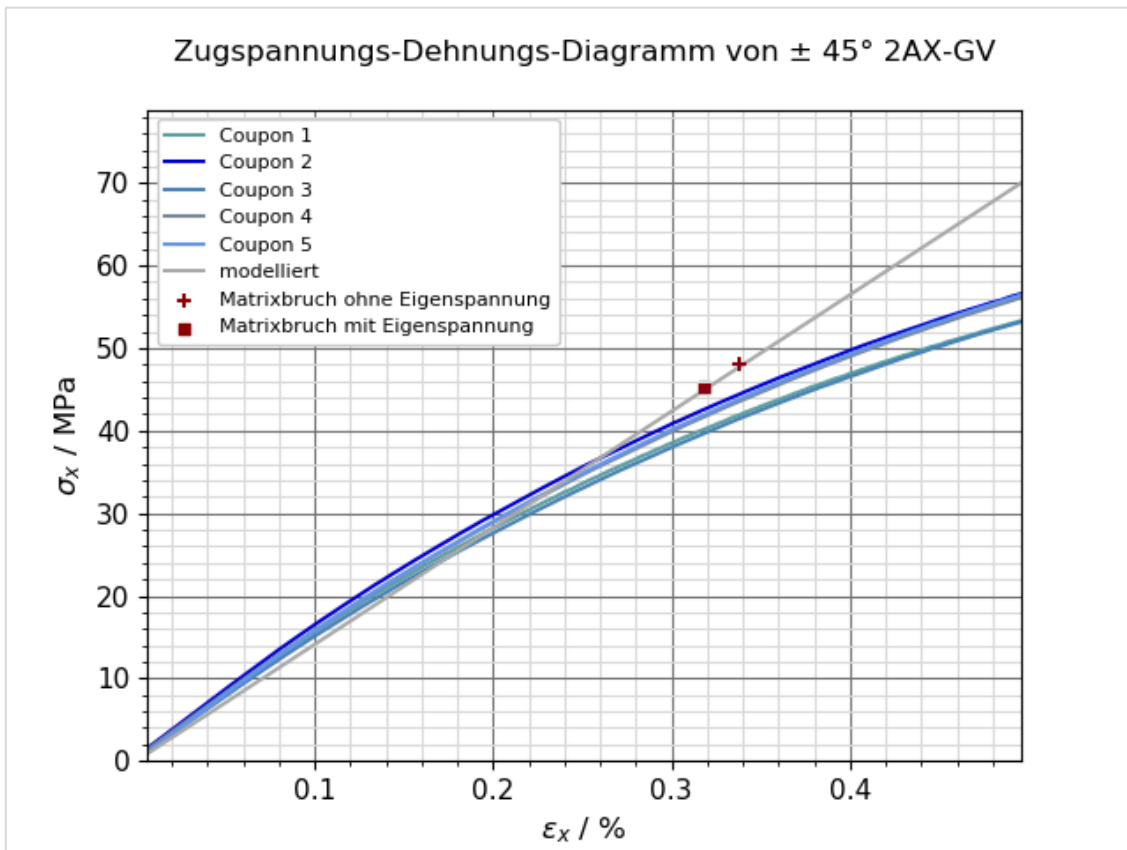


Abbildung 1: Vergleich des Matrixbruchs mit und ohne Eigenspannungen, sowie lineare Eigenspannungsberechnung

Der Eintritt erster Risse in einer Einzelschicht des Mehrschichtverbundes führt nicht unmittelbar zum Totalversagen des Gesamtlaminates. Stattdessen erfolgt ein Steifigkeitsverlust innerhalb dieser Schicht. Damit beispielsweise das Spannungs-Dehnungs-Diagramm eines Laminats bis zum Totalversagen beschrieben werden kann, wurde zusätzlich das Degradationsverhalten nach dem Auftreten des Zwischenfaserbruchs untersucht. Ein Ergebnis ist noch ausstehend.

Literaturverzeichnis

- [1] Faserinstitut Bremen e.V., „Faserinstitut,“ 03 2012. [Online]. Available: http://www.faserinstitut.de/wp-content/uploads/2019/01/Jahresbericht2010-11_D.pdf. [Zugriff am 26. 09. 2019].
- [2] T. Blumenstock, „Analyse der Eigenspannungen während der Aushärtung von Epoxidharzen,“ Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde der Universität Stuttgart, Stuttgart, 2003.
- [3] E. Schnack und R. Meske, *Eigenspannungen bei viskoelastischen Verbundwerkstoffen, 1. DFG-Forschungsbericht*, Universität Karlsruhe: Institut für Technische Mechanik/Festigkeitslehre, 1996.