

Titel: Simulation des Fertigungsverfahrens von Faserverbundwerkstoffen mit OpenFOAM

Einleitung: Zur Gewichtsreduzierung ist die Luftfahrt auf Leichtbauteile aus Faserverbundwerkstoffen angewiesen. Diese bestehen aus Verstärkungsfasern und einer Kunststoffmatrix, welche die Fasern umgibt. Der eigentliche Werkstoff entsteht erst während der Bauteilfertigung, nachdem die Fasern mit der Matrix getränkt wurden und dann die Matrix aushärtet. Das Fertigungsverfahren hat Einfluss auf die Bauteilqualität: Zum Beispiel treten bei nahezu allen Bauteilen prozessbedingte Verformungen auf oder bei Vakuuminfusion/RTM muss darauf geachtet werden, dass überall die Fasern mit Harz getränkt werden. Die hohen Qualitätsanforderungen in der Luftfahrtindustrie verlangen nach wissensbasierten Auslegungsmethoden, welche das Prozessverständnis erhöhen, den Fertigungsprozess modellieren und damit zeitaufwendige und teure Iterationsschleifen bei der Entwicklung von Werkzeug und Fertigungsverfahren vermeiden. Am Aerospace Engineering Department der FH Wiener Neustadt werden die Fertigungsverfahren Vakuuminfusion und RTM genauer untersucht.

Methode: Die genaue Modellierung des Füllverhaltens und der prozessbedingten Verformung erfordert das Bestimmen einer Vielzahl von Parametern (wie z.B. Glasübergangtemperatur abhängig von der Bauteiltemperatur oder Permeabilität abhängig vom Faservolumengehalt), die teilweise in aufwendigen Messungen bestimmt werden und für jede Matrix/Faser-Kombination erneut bestimmt werden müssen. Das gesamte Fertigungsverhalten für die einzelnen Testbauteile (durchsichtige flache Platte zur Untersuchung des Füllverhaltens während Vakuuminfusion und RTM-gefertigtes U-Profil zur Untersuchung der prozessbedingten Verformung, siehe Bild 1) wird mit einem OpenFOAM-Modell modelliert (Füll-, Wärmeübertragungs- und Verformungssimulation) und mit Messergebnissen validiert.

Mit den validierten Simulationsmodellen wird dann eine Sensitivitätsanalyse nach Morris durchgeführt, um die Vielzahl an Parametern in solche mit starkem oder vernachlässigbarem Einfluss zu unterteilen, sowie diejenigen Parameter zu identifizieren, die das Ergebnis nicht-linear beeinflussen oder sich gegenseitig beeinflussen. Damit identifiziert man diejenigen Parameter, welche vor der Durchführung der Prozesssimulation genau bestimmt werden müssen. Für alle anderen Parameter reicht ein Wert nach bestem technischen Ermessen.

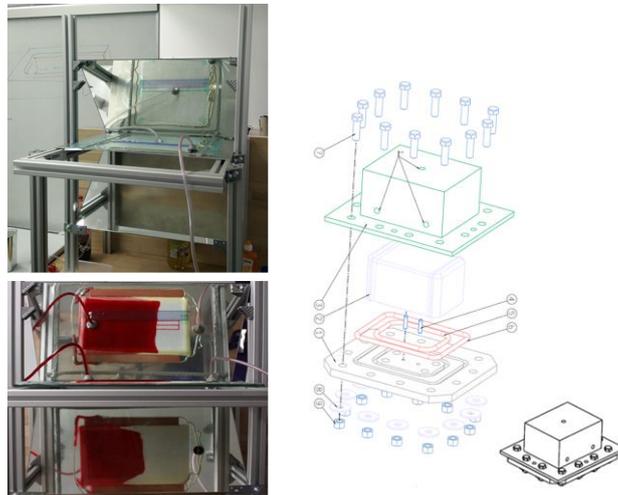


Bild 1: Infusionsteststand (links oben) mit Experiment zur Demonstration des Lead-lags bei Vakuuminfusion (links unten) und Explosionszeichnung vom RTM-Werkzeug (rechts).

Ergebnisse: Die Sensitivitätsanalyse ist noch am Laufen. Im Zuge der Simulation mit OpenFOAM wurden bisher einerseits Verformungsberechnung mit dem Finite-Volumen-Verfahren anstatt wie üblich mit dem Finite-Elemente-Verfahren durchgeführt um alle Schritte der Prozesssimulation mit einem Softwaretool, nämlich OpenFOAM, durchführen zu können und andererseits wurde die Modellierung für Füllsimulation verbessert. Dies sieht man z.B. dort, wo Fließfronten aufeinander treffen und Lufteinschlüsse bilden (siehe Bild 2).

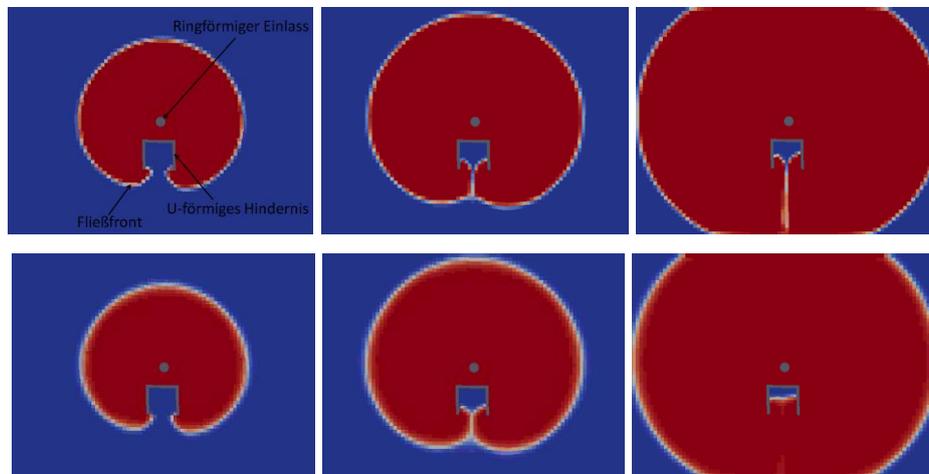


Bild 2: Vorhergesagtes RTM-Füllverhalten (rot: komplett gefüllt mit Harz, blau: komplett gefüllt mit Luft) bei Füllung einer flachen Kavität mit einem U-förmigen Hindernis und Harzinjektion in der Mitte. Dargestellt ist das Füllverhalten an drei repräsentativen Zeitpunkten, vor und nach dem Zusammentreffen der beiden Fließfronten und nachdem sich eine gemeinsame Fließfront gebildet hat. Oben mit Standardmethode berechnet, unten mit Mischung aus kompressibler Luft und inkompressiblem Harz. Verwendet wurde das gleiche Netz. Man erkennt die realistischere Darstellung, falls zwei Harz-Fließfronten hinter einem Hindernis aufeinander treffen.