

### Simulation zum Imprägnieren dickwandiger gewickelter Faserverstärkungen für Ariane 6

**Der Erstflug der neuen europäischen Weltraumrakete Ariane 6 ist für das Jahr 2020 geplant. In Kooperation mit dem Unternehmen MT Aerospace repräsentiert das Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) eine Gruppe von deutschen Subunternehmen, die verschiedene Strukturbauteile dieses Programms, inklusive Booster-Gehäusen der Rakete, entwickeln und herstellen.**

Die großen, gewickelten Kohlenstofffaserverbundstrukturen für die Ariane 6 Weltraumrakete sind 12 m lang, bis zu 30 mm dick und haben einen Durchmesser von bis zu 3,5 m (Abb. 1 a). Sie werden in einem Vakuuminfusionsverfahren mit einem duroplastischen Harzsystem infiltriert, wobei allein schon die Bauteildicke einen erheblichen Harzfluss bedingt. Gleichzeitig verbietet sich darum aber auch ein Trial-and-Error-Ansatz bei der Auslegung des Herstellprozesses.

Die Forschungsarbeit ist daher zweigeteilt: Zum einen wird der eigentliche Wickelprozess entwickelt, zum anderen aber auch eine Prozesssimulation für den Infusionsprozess und entsprechende Metho-

den zur Materialcharakterisierung. Und Technologien für bessere Permeabilität in Dickenrichtung ermöglichten eine vollständige Tränkung. In den Vorentwicklungsphasen diente ein 6 m langer Demonstrator als Versuchsobjekt (Abb. 1 b). An diesem wurden Techniken zur Simulation des Harzflusses durch gewickelte Vorformlinge zur Simulations-Validierung und zur Materialcharakterisierung entwickelt.

#### Vorarbeit genutzt, ...

Mit einem neuartigen Verfahren bestimmte das IVW zunächst die Permeabilität einer gewickelten Faserstruktur für Harze in Dickenrichtung. Es basiert auf dem IVW-patentierten System „HyKoPerm“ zur Messung der Dickenpermeabilität unter Berücksichtigung hydrodynamischer Kompaktierung (Abb. 2). In der Folge suchten die Fachleute Möglichkeiten zur Steigerung der Permeabilität, beispielsweise Garntwist und Bindervlies zwischen den Einzellagen. Die schließlich gewählte Konfiguration führte im Vergleich zur unbehandelten Referenz zu einer Permeabilitätssteigerung von über 1.000 Prozent, ohne dabei die Faserorientierung oder den Gesamtfaservolumengehalt zu beeinflussen.

#### ... 3D-simuliert ...

Auf den so ermittelten Permeabilitätswerte basiert die Simulation des Infusionsprozesses, der in der virtuellen Fertigungssoftware Visual RTM (PAM-RTM) der ESI Group simuliert wird. Das komplexe Modell (Abb. 3) kann wichtige Aussagen über das 3D-Fließfrontverhalten treffen und so Probleme vorhersagen, die während der Herstellung auftreten können, und helfen, eine entsprechende Optimierung durchzuführen.



Abb. 3: Vorhersage der Fließfrontausbreitung durch 3D-Finite-Elemente-Simulation des dickwandigen, gewickelten Demonstrators.

#### ... und experimentell validiert

Zur Validierung liefert die Überwachung des Harzmassenzuflusses während der Infusion experimentelle Daten, die mit Simulationen verschiedener Infusionskonfigurationen und Fließmedienverteilungen verglichen werden. Insgesamt zeigt das Forschungsprogramm, dass innovative Methoden zur Prozesssimulation und Kennwertermittlung ein Schlüsselement des modernen Prozessdesigns sind. Sie führen zu einer Verkürzung der Entwicklungszeiten und ermöglichen Kostensenkungen durch die Substitution von Realversuchen.

Weitere Informationen:

**Miro Duhovic,**

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH,  
Kaiserslautern,  
Telefon +49 (0) 6 31/20 17-363,  
E-Mail: miro.duhovic@ivw.uni-kl.de,  
www.ivw.uni-kl.de



Foto: ESA

Abb. 1 a: Geplantes Raketengehäuse der Ariane 6 (A64 vier Booster Konfiguration) aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff.



Foto: MT Aerospace

Abb. 1 b: Fertiggestellter trockengewickelter Kohlenstofffaser Demonstrator, bereit zur Infusion

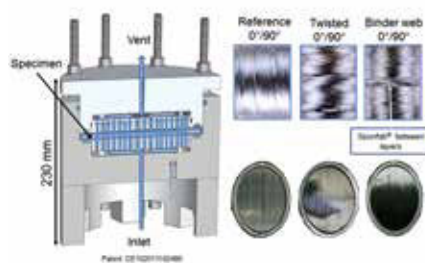


Abb. 2: Das vom IVW patentierte System „HyKoPerm“ (li.) charakterisiert die Dickenpermeabilität gewickelter Preforms. Proben werden zunächst auf Klemmrahmen gewickelt, fixiert und in der Messzelle platziert (re.). Das erhält sowohl die Faserorientierung als auch die Prozessbedingungen beim Wickeln (z. B. Faserspannung).