UNTERSUCHUNGEN ZUR QUALITÄTSSICHERUNG UND DRAPIERUNG AN GROSSEN, DOPPELT GEKRÜMMTEN OBERFLÄCHEN

F. Weyrauch, S. Nowotny, W. Dudenhausen

Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

1. KURZFASSUNG

Das Bauteil auf das in diesem Beitrag näher eingegangen wird, ist ein hauptsächlich durch Kabineninnendruck belasteter Druckspant für ein generisches Transportflugzeug. Im Folgenden wird auf die Fertigung der Druckmembran des Spantes und der hiermit verbundenen technologischen Herausforderungen eingegangen.

Bauteilauslegung und Geometriedefinition erfolgten bei EADS Military Air Systems (MAS). Der Aufgabenbereich des DLR Instituts für Bauweisen- und Konstruktionsforschung (IBK) im Gesamtprojekt war es die Fertigungskette zu untersuchen und Wege zu einer qualitätsgesicherten Fertigung der Duckmembran aufzuzeigen.

Im Laufe der Untersuchungen wurde zunächst die Problematik der Drapierbarkeit experimentell und theoretisch näher untersucht und die Passgenauigkeit der mit FiberSim® ermittelten Zuschnittgeometrien bestimmt. Aus diesen Ergebnissen wurde eine Fertigungskette definiert, um die einzelnen Lagen qualitätsgesichert auf der Form ablegen zu können. Ein weiterer Schwerpunkt wurde auf die Qualitätssicherung gelegt und hierbei speziell auf den Infiltrationsschritt. Das Qualitätssicherungskonzept beinhaltet die komplette Datenaufzeichnung aller wichtigen Prozessparameter, wie zum Beispiel Prozessdrücke und Temperaturen. Diese Daten stellen eine wichtige Grundlage zur Prozessoptimierung und zur Bauteildokumentation dar.

2. STAND DER TECHNIK

Im Bereich der Luftfahrt zeigt sich eindeutig der Trend vermehrt Bauteile aus Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen einzusetzen. Vielfach werden diese Bauteile in Prepreg-Bauweise gefertigt. Aufgrund der hierbei nötigen Autoklav-Technik und der meistens angewandten händischen Ablage ist dieses Verfahren sehr kostenintensiv. Deswegen wurden in den letzten Jahren verschiedene Harzinfusionsverfahren untersucht, die keinen Autoklav benötigen und helfen manuelle Arbeitszeit einzusparen. In Zusammenarbeit mit dem Partner EADS-MAS entstanden so Verfahren zur kostengünstigen Fertigung von Bauteilen in Luftfahrtqualität.

2.1. VARI-Verfahren

Das vom DLR-IBK entwickelte VARI-Verfahren (Vacuum Assisted Resin Infusion) [1][2] und das bei EADS-MAS entwickelte VAP-Verfahren [3] haben als Hauptmerkmal, dass das Harz zunächst über ein Verteilmedium auf der Bauteiloberfläche verteilt wird und die eigentliche Imprägnierung der Verstärkungsstruktur in Dickenrichtung erfolgt. Hierdurch können große Bauteile in geringer Zeit infiltriert werden. Basierend auf beiden Verfahren wurden in den letzten Jahren in mehreren Kooperationen zwischen dem DLR und EADS-MAS innovative Bauteile entwickelt und Prototypen gefertigt. Inzwischen werden auch erste Teile des Airbus A380 im VAP-Verfahren gefertigt. Im Folgenden wird das VARI-Verfahren näher vorgestellt. In BILD 1 ist schematisch der Infiltrationsaufbau des VARI-Verfahrens dargestellt.

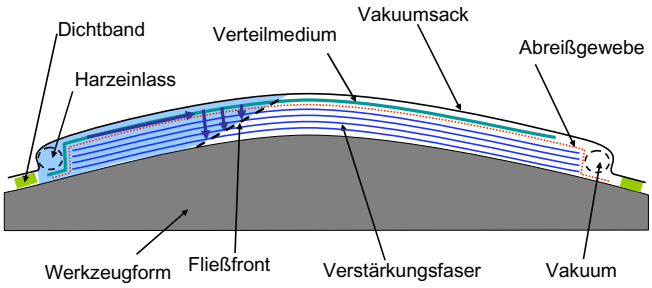

BILD 1: Schematischer Aufbau des VARI-Verfahrens

Zunächst wird auf das Formwerkzeug die eigentliche Verstärkungsstruktur, in Form von Geweben oder Gelegen aus z.B. Kohlenstoff- oder Glasfasern, abgelegt. Auf dieses wird zur schnellen Verteilung des Harzes auf der Bauteiloberfläche das Verteilmedium gelegt. Meist ein grobes Gewirke aus Polyester. Dieses wird von der eigentlichen Verstärkungsstruktur durch ein Abreißgewebe getrennt, so dass das Verteilmedium nach dem Aushärten des

Harzes vom eigentlichen Bauteil entfernt werden kann. Um ein leichteres Entfernen zu gewährleisten, kann hier zusätzlich noch eine Lochfolie eingesetzt werden. Anschließend werden noch Verteilkanäle für das Harz und Vakuumanschlüsse aufgebracht. Der Aufbau wird komplettiert durch die mit Dichtband auf dem Formwerkzeug luftdicht angebrachte Vakuumfolie. Durch das Anlegen eines Vakuums wird die Verstärkungsstruktur durch den umgebenden Luftdruck kompaktiert. Zur Infiltration des Bauteils mit Harz wird ein Harzvorrat an einen Harzverteilkanal angeschlossen. Durch diesen strömt das Harz nun in das Verteilmedium und tränkt die Verstärkungsstruktur von der Oberfläche in Richtung Werkzeugform. Sobald das Bauteil vollständig infiltriert ist wird die Harzzufuhr gestoppt und das Bauteil ausgehärtet. Nach erfolgter Aushärtung kann die Vakuumfolie und das Verteilmedium entfernt werden und das Bauteil von der Werkzeugform abgenommen werden.

Zusammengefasst zeichnet sich das VARI-Verfahren insbesondere durch folgende Merkmale aus:

- Verzicht auf Autoclav
- Fertigung auch großer Bauteile (Infiltrationen bis zu 10 m Länge wurden bereits am IBK durchgeführt)
- Einseitiges Werkzeug
- Kürzere Legezeiten als beim Prepreg-Verfahren auf Grund dickerer Einzellagen.
- Kosteneffektiv
- Faservolumengehalt: 55-60%

Zusammengenommen bilden diese Vorteile die Motivation die Druckmembran im VARI-Verfahren zu fertigen.

3. PROBLEMSTELLUNG

In dem im Folgenden näher vorgestellten Projekt zur Fertigungsentwicklung werden mehrere Ziele verfolgt. Das Hauptziel ist die Entwicklung eines kosteneffektiven seriennahen Fertigungsprozesses für Preform in hoher Qualität. Ein weiteres Ziel ist die Bereitstellung eines robusten Verfahrens zur Harzinfiltration. Anhand der hergestellten Labormuster sollen die erzielbaren Fertigungstoleranzen und –kosten quantifiziert und optimiert werden.

Die Geometrie der Druckmembran wurde bei EADS-MAS ausgelegt. Sie ist definiert durch den zur Verfügung stehenden Bauraum und das Ziel durch einen ebenen Spannungszustand (Seifenblasenoberfläche) den Werkstoff optimal auszunutzen und somit Gewicht einzusparen. Aus diesen Bedingungen resultiert die doppelt gekrümmt Oberfläche (BILD 2) der Druckmembran. Die Hauptabmessungen des dargestellten, aus Uriol gefrästen Werkzeuges betragen 4 m x 3 m x 1,5 m.

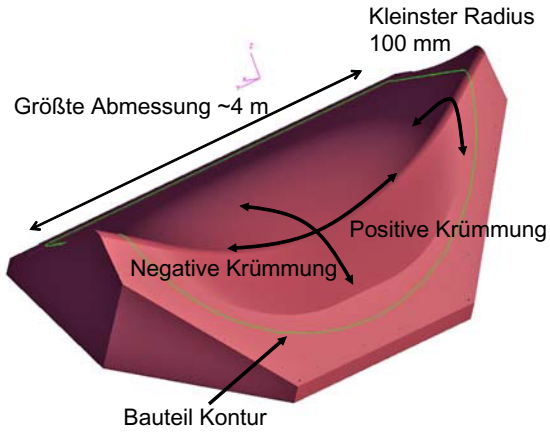

BILD 2: Werkzeug für die Lege- und Infusionsuntersuchungen

Die Fertigung großer doppelt gekrümmter Bauteile in einem Harzinfusionsverfahren stellt unter verschiedenen Gesichtspunkten eine Herausforderung dar. So enthält die Oberfläche die in BILD 2 hervorgehoben fertigungsrelevante Merkmale. Zum einen sind dies Bereiche mit positiver Krümmung, da hier die Faserhalbzeuge dazu neigen Brücken zu bilden, also nicht auf der Oberfläche aufzuliegen. Zum anderen sind dies die Bereiche mit negativer Krümmung, da hier, insbesondere bei kleinen Radien, die Halbzeuge beim Kompaktieren Falten bilden können. Dies wird dadurch verursacht, dass beim Kompaktieren die Halbzeugdicke abnimmt und somit sich bei den äußeren Lagen der Radius verringert. Dies wiederum resultiert in einem Materialüberschuss, der durch Faltenbildung ausgeglichen wird.

Bei doppelt gekrümmten Bauteilen ist auch die beschränkte Drapierbarkeit der Faserhalbzeuge zu berücksichtigen. Die Drapierbarkeit ist ein Maß in wie weit ein Faserhalbzeug geschert werden kann. Ab einem materialabhängigen kritischen Scherwinkel beginnt das Faserhalbzeug zu blockieren und kann sich nicht mehr an die Oberfläche anlegen. Für die Druckmembran sollte Bi-Axialgelege (0°/90° und +45°/-45°) eingesetzt werden, da dieses einen guten Kompromiss zwischen mechanischer Festigkeit, Drapierbarkeit und kosteneffizienter Fertigung darstellt.

Aus der mechanischen Auslegung mittels FEM, die bei EADS-MAS durchgeführt wurde, und der Auslegung auf einen ebenen Spannungszustand ergab sich ein nahezu quasi-isotroper Aufbau. Da Faserhalbzeuge, wie auch das verwendete Bi-Axial-Gelege nur in begrenzter Breite produziert werden, mussten für dieses Bauteil Spleißstellen zwischen den einzelnen Zuschnitten vorgesehen werden. Aus fertigungstechnischen Überlegungen z.B. hinsichtlich Montage sowie mechanischen Gesichtspunkten legten die Projektpartner fest, dass an den Spleißstellen keine Überlappung auftreten sollte. Der Spalt

an den stumpf stoßenden Lagen soll dabei möglichst eng sein, um nicht Welligkeiten in benachbarten Gelegelagen zu erzeugen, die sich in den Spalt schmiegen wollen. Hier galt es die erzielbaren Fertigungstoleranzen zu untersuchen und zu optimieren. Die ersten Fertigungsversuche sollten mit Glasfasergelege durchgeführt werden. Erst nach der Überprüfung des Fertigungskonzepts, erfolgte der Nachweis zur Fertigung eines qualitätsgesicherten Bauteils mit Kohlenstofffasergelege.

4. DAS FERTIGUNGSKONZEPT

Zusammen mit EADS-MAS wurde ein Fertigungskonzept erstellt, dass versprach, unter Berücksichtigung der Randbedingungen einer industriellen Fertigung eine luftfahrtgerechte Qualität, erreichen zu können. Einer der ersten Schritte der Erstellung des Fertigungskonzeptes war die Definition der Spleißstellen. Ausgewählt wurde eine äquidistante Spleißverteilung mit planaren Spleißen. Die Spleißlinien entstehen durch Schnitte von senkrechten Ebenen durch die Bauteiloberfläche. Diese Auswahl wurde getroffen, da so die Fehlstellen im Laminat (Spleißstellen) relativ gleichmäßig verteilt sind. Es befinden sich maximal 3 Spleißstellen übereinander und der Lagenaufbau ist symmetrisch bezüglich der Laminatdicke. Planare Spleiße wurden gewählt, um geometrisch einfache Schablonen als Anlegehilfe und gleichzeitig als Fixierung bereits abgelegter Zuschnitte einsetzen zu können. Beides hat sich später als nicht nötig erwiesen. Die gewählte Spleißverteilung ist in BILD 3 dargestellt.

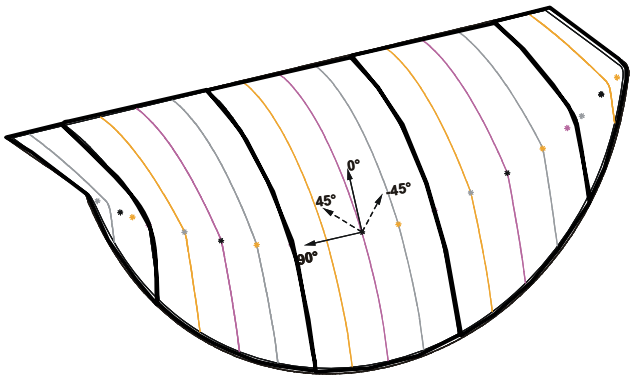

BILD 3: Spleißverteilung (Zuschnitte der 1. Lage fett hervorgehoben)

Die Zuschnitte wurden auf einer NC-Schneideanlage mit Hilfe der durch FiberSIM® erzeugten Abwicklungen zugeschnitten. Bei dieser Abwicklung wird auch die Konturänderung, die durch die Drapierung verursacht wird, berücksichtigt. Um eine genau Kontur zu erhalten und auch durch späteres Handling die Verformung zu begrenzen, wurde das Gelege einseitig mit einem dünnen thermisch aufgebrachten Bindervlies fixiert. Für den Transport wurden die Zuschnitte eben in einer Kiste abgelegt. Auf diese Weise konnte eine Konturänderung während des Transports verhindert werden.

Die einzelnen Zuschnitte wurden auf das Werkzeug händisch abgelegt und drapiert. Die Positionierung erfolgte mit Hilfe eines Laserprojektors. Die Fixierung der Zuschnitte erfolgte an den Bauteilrändern in einem schmalen Bereich der beim Besäumen nach dem Infiltrieren wegfällt (s. BILD 4).

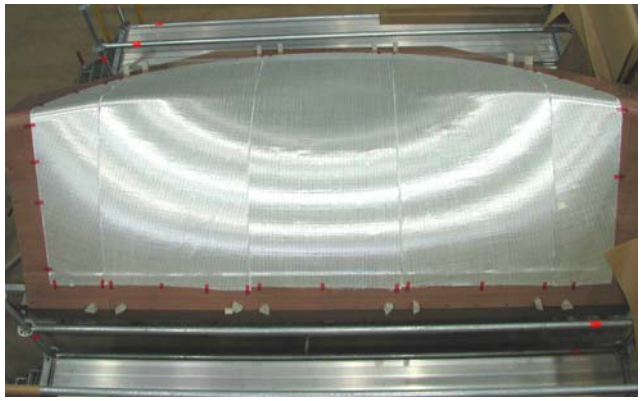

BILD 4: Abgelegte und an den Rändern fixierte 1. Lage

Beim Drapieren der ersten Lagen wurde festgestellt, dass die berechneten Konturen nicht optimal waren und dadurch das händische Drapieren aufwändiger war als für einen kostengünstigen industriellen Prozess vertretbar ist. Die Ursache für die unzureichende Passgenauigkeit der Zuschnitte lag in der fehlenden Implementierung von Gelegen in FiberSIM®. Die Berechnungen erfolgten mit den Rechenroutinen für Gewebe und daran angepasste Materialparameter für Gelege. Nachdem diese Materialparameter mit tatsächlichen Ergebnissen von abgelegten Lagen angepasst wurden, konnte eine wesentlich bessere Passgenauigkeit erzielt werden. Wesentliche Änderungen betrafen den Startpunkt und die Drapierrichtung. Der Drapieraufwand reduzierte sich erheblich werden, weil geringere Scherung des Materials berechnet wurde. Der angestrebte Wert für eine Spaltbreite von kleiner 5 mm konnte somit eingehalten werden. Die Spaltbreite wurde sowohl nach dem Ablegen als auch mit Schliffbildern am ausgehärteten Bauteil mit maximal 3 mm gemessen, wobei der Durchschnitt deutlich niedriger lag.

Durch das Drapieren der einzelnen Lagen auf die Oberfläche der Form, kommt es nicht nur zu einer Konturänderung der Zuschnitte sondern auch zu einer Scherung der beiden Faserlagen des Bi-Axialgeleges und somit zu einer Winkeländerung zwischen diesen. An den Spleißstellen tritt eine weitere Winkeländerung auf, die hauptsächlich durch die Abwickelung des ebenen Halbzeuges auf die gekrümmte Oberfläche verursacht wird. An diesen kann sich die Faserorientierung sprunghaft ändern (BILD 5).

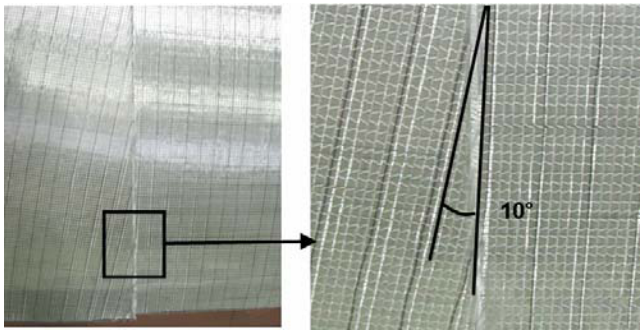

BILD 5: Detail einer Spleißstelle mit Winkeländerung

Dies hat auch eine Änderung der lokalen Spannungsverteilung zur Folge. Um die mechanischen Materialeigenschaften optimal ausnutzen zu können, sollten diese lokalen Spannungszustände berücksichtigt werden. Hierzu ist die Kenntnis der lokalen Winkellage Voraussetzung. Das eingesetzte Softwaretool FiberSIM® kann die durch die Drapierung veränderte Faserorientierung berechnen und für eine anschließende FEM-Berechnung zur Verfügung stellen. Bei einem Vergleich der berechneten Faserorientierung und der sich einstellenden Faserorientierung nach dem Ablegen der einzelnen Lagen, hat sich eine für die FEM-Berechnung ausreichende Übereinstimmung ergeben [4].

4.1. Infiltrationskonzept

Nach der präzisen Ablage der einzelnen Zuschnitte stellt die Infiltration des Bauteils im VARI-verfahren den nächsten die Qualität bestimmenden Arbeitsschritt dar. Deswegen wurden verschiedene Infiltrationskonzepte erstellt und bewertet. Ausgewählt wurde schließlich das Konzept mit der besten Bewertung hinsichtlich Parameter wie Prozessstabilität, Fertigungsaufwand und Infiltrationszeit.

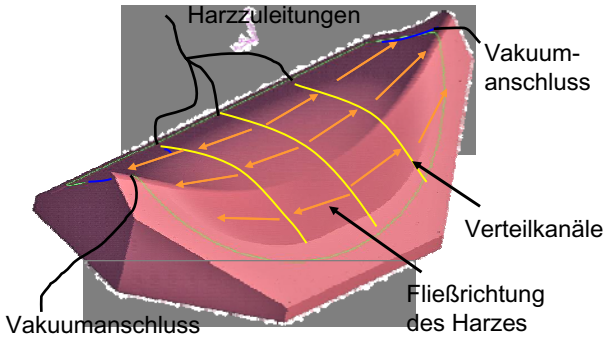

BILD 6: Eingesetztes Infiltrationskonzept

Bei dem ausgewählten Infiltrationskonzept (BILD 6) wird das Harz durch drei sequentielle zuschaltbare Verteilkanäle dem Verteilmedium zugeführt. Zunächst wird nur durch den mittleren Verteilkanal infiltriert und sobald die Fließfront des Harzes die beiden äußeren Verteilkanäle auf deren ganzer Länge erreicht, wird über alle drei Verteilkanäle infiltriert. Durch diese Maßnahme kann die Infiltrationszeit erheblich verkürzt werden. Bei der ersten Infiltration einer vollständigen Druckmembran betrug die Infiltrationszeit knapp 3,5 Stunden. Unter Berücksichtigung, dass das eingesetzte Harzsystem (Bakelite EPR04908) bei Raumtemperatur eine hohe Viskosität besitzt, liegt die erzielte Infiltrationszeit im erwarteten Zeitrahmen. In dieser Zeit wurde über 30 kg Harz infiltriert. Die ausgehärtete Druckmembran (GFK-Version) (BILD 7) hat ein Gewicht von ca. 90 kg bei einem Faservolumengehalt von ~52%. Für die Druckmembran aus CF-Gelege wird erfahrungsgemäß ein höherer Faservolumengehalt erwartet. Die auffälligen hellen Streifen auf der Membran sind durch doppelt liegendes Abreißgewebe bedingt. Am unteren Bauteilrand sind die Aufkleber zu erkennen mit denen die einzelnen Zuschnitte gekennzeichnet waren, um Verwechslungen auszuschließen. Beim abschließenden Besäumen wird dieser Rand entfernt.

BILD 7: Infiltriertes Bauteil (unbesäumt)

4.2. Qualitätssicherungsverfahren

Die Qualitätssicherung ist ein elementarer Bestandteil eines Fertigungskonzeptes für Luftfahrtbauteile. Hierbei kann sich die Qualitätskontrolle nicht nur auf die Prüfung des fertigen Bauteils stützen, da in diesem Stadium nicht mehr alle Fehler festgestellt werden können oder der Aufwand zur Feststellung sehr hoch wäre. Hinzu kommt, dass durch frühzeitige Prüfungen und Prozessüberwachung die Kosten für Ausschussbauteile reduziert werden können, da Bauteilfehler schon im in diesem Status festgestellt werden können. Aus diesen Gründen ist eine den Fertigungsprozess begleitende Qualitätssicherung unabdingbar. Ziel ist es ein kosteneffizientes Qualitätssicherungsverfahren zu definieren, das die speziellen Anforderungen des hier angewandten Fertigungsverfahrens berücksichtigt. Zusätzlich stellt die Prozessüberwachung mit Aufzeichnung der Messdaten eine Grundlage zum späteren Nachweis der ordnungsgemäßen Fertigung des Bauteils dar und ist damit Bestandteil einer Fertigungsdokumentation.

Für die Fertigung der Druckmembran in Harzinfusi-

onstechnik sind die Hauptarbeitsschritte die Faserhalbzeugbearbeitung und die eigentliche Infusion des Harzes. Vor- und nachgelagerte Schritte, wie eine qualitätsgesicherte Entwicklung und die Nachbearbeitung und Montage werden im Folgenden nicht betrachtet, wobei diese natürlich Bestandteil der Qualitätssicherungskette sind.

Diese Hauptarbeitschritte könne dann in weitere Arbeitsschritte unterteilt werden. Der erste Hauptarbeitsschritt lässt sich in die folgenden Arbeitsschritte unterteilen:

- Eingangskontrolle des Faserhalbzeuges
- Automatisierter Zuschnitt des Halbzeuges. Hierbei ist die Schnittgeometrie zu prüfen und auf eine saubere Schnittkante zu achten.
- Ablage der Zuschnitte auf dem Werkzeug.

Da eine korrekte Ablage der Zuschnitte entscheidend für die späteren mechanischen Eigenschaften des Bauteils ist, ist auch hier ein Augenmerk auf die Qualitätssicherung zu legen. So ist es notwendig Maßnahmen zu ergreifen mit denen sichergestellt werden kann, dass alle Lagen abgelegt wurden, dass alle Zuschnitte in den vorgegebenen Toleranzen positioniert sind (5 mm Spaltabstand) und dass auch die Orientierung (z.B. nicht spiegelverkehrt) der einzelnen Zuschnitte stimmt. Maßnahmen hierzu befinden sich noch in der Definitionsphase.

Zur Qualitätssicherung des nächsten Fertigungsschrittes wurde im Laufe der Entwicklung des VARI-Verfahrens ein Messsystem aufgebaut, das es ermöglicht die anfallenden Messdaten digital aufzuzeichnen. Das Messsystem besteht aus einem Messkoffer, der einen Laptop und die notwendige Messelektronik enthält, sowie der dazugehörigen Sensorik für die aufzuzeichnenden Parameter der einzelnen Arbeitsschritte. In BILD 8 sind die Arbeitsschritte mit den jeweiligen Parametern dargestellt. Im Folgenden wird auf die Schritte Absaugen, Infiltrieren und Aushärten näher eingegangen.

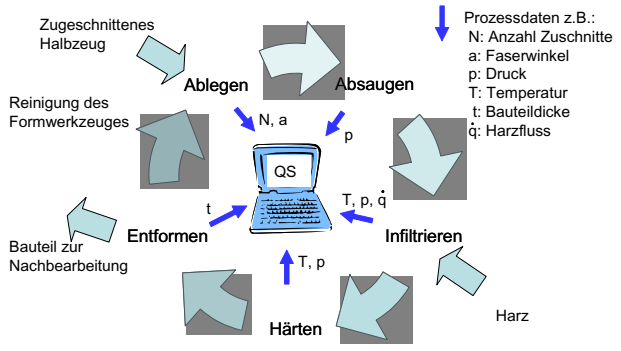

BILD 8: Qualitätssicherung beim Harzinfiltrationsverfahren

Nach dem Absaugen der Luft muss gewährleistet werden, dass der Vakuumaufbau dicht ist. Durch kleine Lecks oder Löcher in der Vakuumfolie wird andernfalls beim Infiltrieren Luft in das Harz gesaugt, mit der Folge, dass das Bauteil poröse Bereiche enthält. Um einen dichten Vakuumaufbau zu gewährleisten, wird ein zweiter Vakuumsack eingesetzt und ein Dichtigkeitstest durchgeführt. Der zweite Vakuumsack dichtet eventuell vorhandene Löcher ab und verhindert, dass sich das Dichtband des ersten Sacks während der Infiltration lösen kann. Der Dichtigkeitstest ist in die Messsoftware des Messkoffers integriert. Bei diesem wird für eine bestimmte Zeit (wenige Minuten) die Vakuumpumpe abgeschaltet und der Druckanstieg im Inneren des Vakuumsacks gemessen. Da ein Vakuumsack nicht vollkommen gasdicht ist, muss ein gewisser Druckanstieg toleriert werden. Dieser wurde auf 10 mbar/min festgelegt. Bei diesem Wert ist nicht mit die Qualität beeinträchtigenden Lecks zu rechnen. Da dieser Wert von der Bauteilgröße und der Komplexität des Bauteils abhängt, laufen Untersuchungen, um den Druckanstieg in Abhängigkeit dieser Parameter zu definieren.

Während des nächsten Schritts ist es notwendig die Temperatur von Harz und Formwerkzeug sowie den Druck des angelegten Vakuums zu erfassen. Die Temperatur beeinflusst stark die Viskosität des Harzes und somit die Infiltrationsgeschwindigkeit. Die Höhe des Vakuums muss auf einen vom eingesetzten Harzsystem und der Temperatur abhängigen Wert geregelt werden. Wird dieser Wert deutlich unterschritten beginnt das Harz auszugasen und Blasen zu bilden. Diese können zu einer erhöhten Porosität führen. Im Aufbau befindet sich eine Erfassung des Harzflusses, um Einfluss auf die Infiltrationsgeschwindigkeit nehmen zu können. In Infiltrationsversuchen konnte nachgewiesen werden, dass bei hohen Fließfrontgeschwindigkeiten, wie sie zu Beginn der Infiltration auftreten, poröse Bereiche im Bauteil auftreten. Ziel ist es durch Regelung des Harzflusses die Fließfrontgeschwindigkeit zu begrenzen.

Sobald das Bauteil komplett mit Harz gefüllt ist, beginnt der nächste Schritt: Das Aushärten des Bauteils. In diesem Schritt ist es ebenfalls notwendig Temperatur und Druck aufzuzeichnen. Viele Harzsysteme werden mit definierten Temperaturzyklen ausgehärtet. Für die Bauteileigenschaften ist eine Einhaltung dieses Temperaturprofils in bestimmten Grenzen notwendig und ein Nachweis der Einhaltung für die Qualitätssicherung unabdingbar. Auch der Restdruck des anliegenden Vakuums hat einen Einfluss auf die Bauteileigenschaften. Mit steigender Aushärtetemperatur steigt die Neigung des Harzes auszugasen und man erhält ein poröses Laminat. Deswegen muss das Vakuum auf diesen Wert geregelt werden. Allerdings hat die Höhe des Vakuums auch einen Einfluss auf den Faservolumengehalt

(BILD 9), da mit steigendem Druck im Vakuumaufbau die Kompaktierung der Faserlagen durch den Außendruck abnimmt. Die Folge ist, dass die Druckdifferenz nicht völlig ausgenutzt werden kann und somit der Faservolumengehalt des Bauteils sinkt.

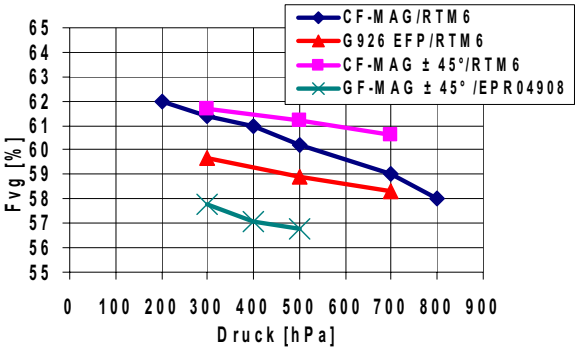

BILD 9: Abhängigkeit von Rücksaugdruck und Faservolumengehalt

Die Absenkung des Faservolumengehaltes ist abhängig von dem verwendete Faserhalbzeug und liegt bei den meisten Faserhalbzeugen im Bereich von 2 Prozentpunkten, da ein Restdruck von 500 mbar ausreicht, um Ausgasen des Harzes zu verhindern.

Mit dem Messsystem werden diese Messwerte durchgehend erfasst, überwacht und abgespeichert. Somit können die die Qualität entscheidenden Arbeitsschritte, wie der Dichtigkeitstest und die eigentlichen Infiltration, online dokumentiert und in die Qualitätssicherungskette des Bauteils integriert werden. Des Weiteren können durch die Aufzeichnungen der Messwerte Unregelmäßigkeiten in der Fertigung oder der Qualität analysiert und behoben werden.

Ein zukünftiges Ziel ist es durch diese Qualitätssicherung weitgehend auf Ultraschaluntersuchungen verzichten zu können, die im Prepreg-Verfahren ein wesentlicher Bestandteil der Qualitätssicherung und gleichzeitig ein bedeutender Kostenfaktor sind. Hier wird mit dieser Untersuchung vor allem nach Porositäten, Delaminationen und Einschlüssen gesucht. Einschlüsse, meist nicht abgezogene Folienreste, und Delaminationen treten bei im Harzinfusionsverfahren gefertigten Bauteilen so nicht auf. Porositäten können, wie oben beschrieben, sehr gut durch eine qualitätsgesicherte Prozessführung verhindert werden. Somit könnte bei der Druckmembran auf die Ultraschalluntersuchung verzichtet werden oder zumindest auf ausgewählte Bereiche (Spleißstellen, als schwächste Stellen) beschränkt werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Mit den hier vorgestellten Arbeiten wurden die Voraussetzungen geschaffen, um schon im Entwicklungsstadium sehr gut passende Zuschnitte erzeugen zu können. Damit können aufwändige händische Zwischenschritte entfallen. Des Weiteren wurde die erzielbare Spaltbreite ermittelt, die wiederum ein Parameter darstellt, der bei der Auslegung berücksichtigt werden muss. Im Bereich des Infusionsschrittes wurden kritische Arbeitsschritte identifiziert und QS-Maßnahmen eingeführt, mit denen mögliche Fehlerquellen rechtzeitig erkannt werden können. Durch die erfolgreiche Infiltration eines ersten Bauteils konnte die Durchführbarkeit des Fertigungskonzeptes nachgewiesen werden.

Ausblick

Nachdem die ersten Untersuchungen mit Glasfaserhalbzeug durchgeführt wurden, wird im nächsten Schritt der Aufbau mit Kohlenstofffasergelege drapiert und im Herbst 2006 das Bauteil infiltriert. Dies stellt dann einen weiteren Schritt zur industriellen Umsetzung der Harzinfusionsverfahren für großflächige doppeltgekrümmte Bauteile dar.

Danksagung

Wir Danken unserem Projektpartner EADS-MAS für die gute Zusammenarbeit und die finanzielle Unterstützung der Arbeiten.

6. LITERATUR

[1] Hinz, B.: Der VARI Prozess für großflächige Luftfahrtbauteile. 6. Nationales Symposium SAMPE Deutschland e.V., 2000, Stuttgart
[2] Feiler, M.: VARI – kostengünstiges Verfahren zur Herstellung großer Luftfahrtbauteile. DGLR Jahrestagung 2001, Hamburg
[3] N.N.: VAP-Technologie macht Karriere. M-Forum, EADS-MAS Firmenzeitschrift Sept. 2005
[4] Weyrauch, F., Nowotny, S.; Dudenhausen, W.; Spenninger, G.; Klug, M.: Simulation and experimental studies of the draping behaviour of NCF on a double-curved mould, SAMPE Europe Conference 2006, Paris
[5] Feiler, M.; Dudenhausen, W.; Chatzigeorgiou, L.: Manufacturing of Primary Aircraft Structures with Vacuum Assisted Resin Infusion. ICCM, 14th International Conference on Composite Materials, San Diego, USA, 2003