

Automatisiert

Innovationen in der Handhabungs- und Textiltechnik zur Rotorblattfertigung

Um die aktuell hohen Fertigungszeiten in der Produktion von Rotorblättern zu verringern sowie gleichzeitig die Qualität der immer größer werdenden Bauteile zu erhöhen, ist eine Kombination von automatisierter Handhabungstechnologie und hochleistungsfähigen Verstärkungstextilien ein erfolgversprechender Lösungsansatz. Zusammen mit der Preforming-Technologie sowie der Harzinjektionstechnik wird so eine innovative Prozesskette für die Herstellung von aktuellen und neuartigen Rotorblättern möglich.

Das Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen und der Hersteller von technischen Geleugen, die Saertex GmbH & Co. KG, entwickeln im Verbundprojekt „mapretec“ gemeinsam innovative Handhabungstechnologien und Textilien für die automatisierte Herstellung von Rotorblattkomponenten, um die aktuell hohen Fertigungszeiten zu verringern sowie gleichzeitig die Qualität der immer größer werdenden Bauteile zu erhöhen. Für das Erreichen dieser Zielgrößen ist eine Kombination von automatisierter Handhabungstechnologie und hochleistungsfähigen Verstärkungstextilien ein erfolgver-

sprechender Lösungsansatz. Zusammen mit der Preforming-Technologie sowie der Harzinjektionstechnik wird so eine innovative Prozesskette für die Herstellung von aktuellen und neuartigen Rotorblättern möglich.

In der Fertigung von immer größeren Rotorblättern [1] für Windenergieanlagen ist die Positioniergenauigkeit beziehungsweise die Reproduzierbarkeit bei der Ablage im Formwerkzeug der verstärkenden Textilien ein entscheidendes Qualitätskriterium für die strukturellen Eigenschaften im späteren Betrieb. Die Ausrichtung der einzelnen Faserbündel (Rovings) des Halbzeugs relativ zueinander, als



»Die Ausrichtung der einzelnen Rovings des Halbzeugs relativ zueinander und auch von den verstärkenden Halbzeugen als Ganzes muss entsprechend der späteren Bauteilbelastung erfolgen.«

Dr.-Ing. Jan-Hendrik Ohlendorf ist Abteilungsleiter und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

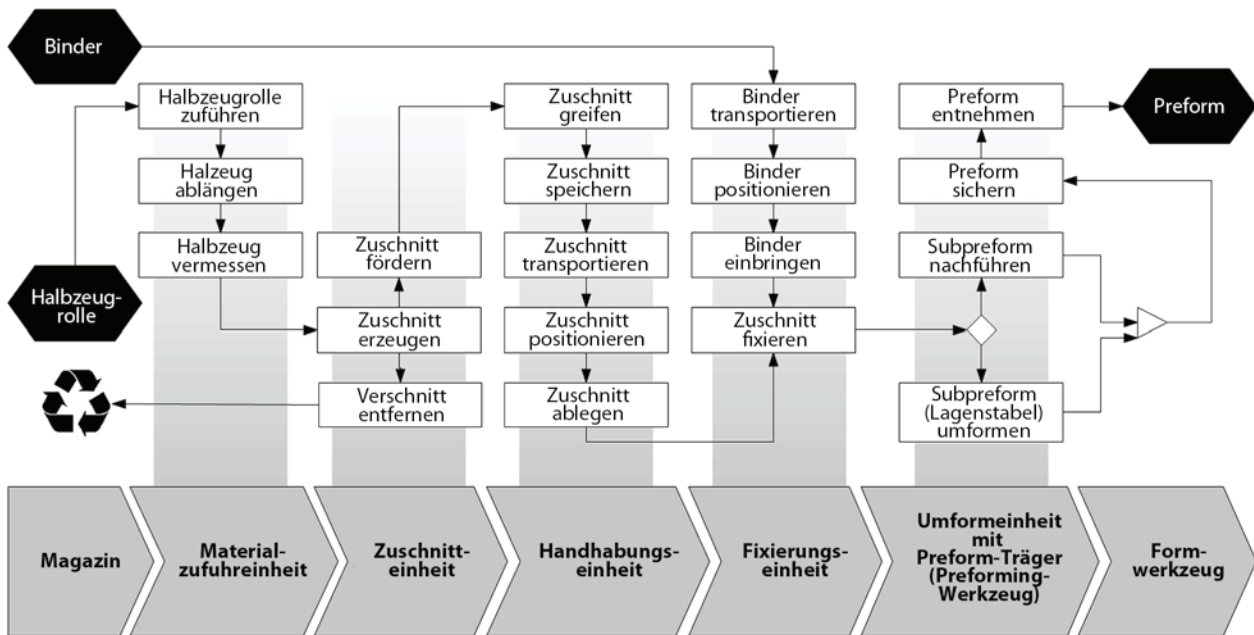


BILD 1 Prozessablauf zum Aufbau und zur Umformung (CMT) eines Preforms (Preforming), Auszug nach [4] (Bilder 1 bis 6 © BIK)

auch von den verstärkenden Halbzeugen als Ganzes, muss entsprechend der späteren Bauteilbelastung erfolgen. Aktuell wird am BIK eine Prozesskette, **Bild 1**, für die automatisierte Handhabung von Gelegen für Rotorblätter und die dafür notwendige Anlagentechnik, **Bild 2**, entwickelt. Parallel werden von Saertex Entwicklungen für technische Gelege betrieben, die speziell für eine automatisierte Handhabung und große Umformwege geeignet sind. Exemplarisch soll innerhalb des gemeinsamen Verbundprojekts „ma-pretec“ [2] die Machbarkeit am geometrisch komplexesten Bereich eines Rotorblatts, dem sogenannten Übergangsbereich in die Hinterkante, **Bild 3**, nachgewiesen werden. Dabei ist die Umformung eines in der Ebene automatisch abgelegten Faserlagenstapels (Subpreform) in eine stark gekrümmte Formgeometrie vorgesehen. Grundlage aller Entwicklungen ist eine Geometrieanalyse des untersuchten Rotorblattbereichs und der zugehörigen Zuschnitt-

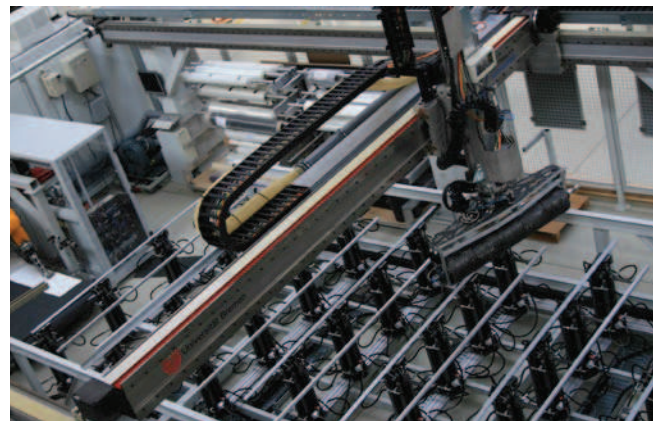


BILD 2 Entwickelte und im Aufbau befindliche Anlagentechnik am BIK für die biegeweiche Handhabungstechnik



»Die maßgeblichen Anforderungen an die Handhabungstechnologie ergeben sich durch die biegeweiche Charakteristik und die erzeugten Geometrien des Textils.«

Dipl.-Ing. Martin Rolbiecki ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

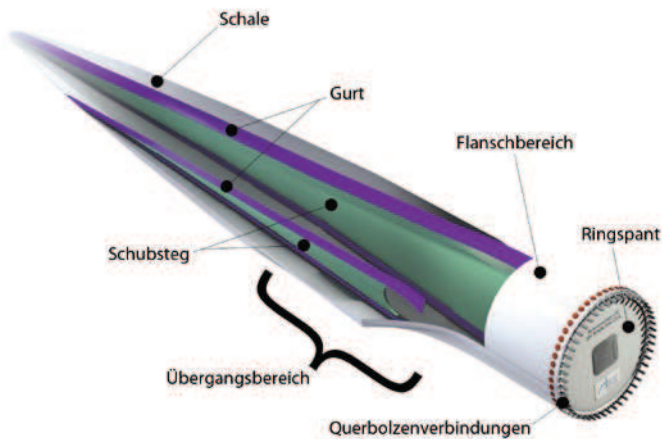


BILD 3 Prinzipieller Aufbau eines aktuellen Rotorblatts

und Legepläne. Zusätzlich werden die Eigenschaften der biegeweichen Hochleistungsgelege, wie Biege-, Zug-, Schub- und Reibverhalten, vermessen.

Für eine ganzheitliche Prozessbetrachtung wird die Prozesskette von der Lagerung der textilen Halbzeugrollen bis zum fertig aufgebauten, endkonturnahen Preform für ein Offshore-Rotorblatt betrachtet.

OPTIMIERTE MATERIALBEREITSTELLUNG ALS VORAUSSETZUNG DER AUTOMATISIERUNG

Schädigungen der Textilrollen die bereits in diesem ersten Schritt der Prozesskette durch falsche Lager- und Transportbedingungen entstehen, sind oft irreversibel und führen nicht nur zu schlechteren mechanischen Eigenschaften des Bauteils, sondern insbesondere auch zu stark erschwerten Bedingungen und erhöhtem Aufwand bei der Automatisierung. Daher wird im Verbundprojekt „maprectec“ besonderer Wert darauf gelegt, mit einem optimierten Materiallager ein gutes Fundament für den anschließenden Prozess zu schaffen. Die textilen Halbzeuge werden als Bahnware auf Rollen geliefert. Da diese Rollen im weiteren hängend gelagert werden, ist die Menge des Materials so zu wählen, dass beispielsweise ein Verzug aufgrund von Eigenwicht weitgehend vermieden wird.

Alle Rollen im Magazin sind mit einem aktiven Informationssystem ausgerüstet. So wird das Material schnell und effizient identifiziert, und alle Informationen zur Materialrolle werden direkt beim Einrücken an die Steuerung des Prozesses übergeben. Alle anschließenden Prozessschritte können dann bereits bei der Einrüstung automatisch auf das zu verarbeitende Textil hin angepasst werden.

KONTINUIERLICHER KONTUR- UND ABSCHNITT VON TEXTILEN HALBZEUGEN

Die für den textilen Lagenaufbau notwendigen Einzellagen müssen gemäß Lagenplan vorkonfektioniert werden, Bild 4. Die besonders großen Dimensionen von Rotorblättern führen zu entsprechend langen und breiten textilen Lagen, die von einigen Zentimetern bis über 40 m lang sein können. Zudem weisen die einzelnen Lagen gemäß der Geometrie der Rotorblätter eine Kontur längs der Lage auf. Aus diesem Grund wird zwischen einem Kontur- und einem Abschnitt unterschieden.

In der Praxis haben sich unterschiedliche Verfahren für die Konfektionierung der Zuschnitte herausgebildet, die überwiegend auf manuellen Prozessen basieren. Aktuell wird dazu auf entsprechend langen Zuschnitt-Tischen manuell abgewickelt und längs oder quer zur Lage mittels handgeführter Schneidwerkzeuge zugeschnitten. Maschinelle, am Markt verfügbare Zuschnitt-Tische führen einen sequentiellen automatisierten Zuschnitt durch, wobei die jeweiligen Schnitte der Sequenzen durch die Tischlänge begrenzt sind. Ein kontinuierlicher Zuschnitt, also ein Schnitt ohne absetzen, ist somit technisch nicht

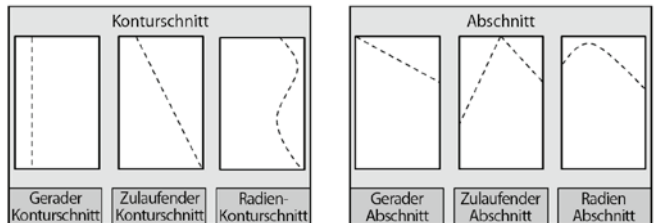


BILD 4 Mögliche Schnittmuster für die Vorkonfektionierung von textilen Lagen



»Schädigungen der Textilrollen sind oft irreversibel und führen zu schlechteren mechanischen Eigenschaften des Bauteils und stark erhöhtem Aufwand bei der Automatisierung.«

Dipl.-Ing. Tim Schmohl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

möglich. Zudem werden oftmals manuell aufgebrauchte Einwegfolien zum Niederhalten der Bahn verwendet. Diese Folien werden nach dem Zuschnitt entsorgt.

Für eine automatisierte Produktion von großflächigen Strukturbauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbunden, wie sie im Projekt „mapretec“ angestrebt wird, bedarf es einer neuartigen Zuschnittvorrichtung. Die wesentliche Anforderung an den Zuschnitt der textilen Bahnen ist der kontinuierliche Konturschnitt längs der Bahn über eine theoretisch endlose Länge. Dies kann nur realisiert werden, wenn bereits beim Umwickeln der Bahn von der Halbzeugrolle auf den Effektor ein Konturschnitt durchgeführt wird.

Hierzu wird eine Vorrichtung entwickelt, die gleichzeitig die Bahn fördert, niederhält und schneidet. Der Aufbau der Zufuhr- und Zuschnitteinheit wird in Bild 5 dargestellt.

Die Zuschnittvorrichtung besteht im Wesentlichen aus einem synchronisierten Förderband, einer Differenzdruckeinheit und einer Zuschnitteinheit. Der Schnitt erfolgt durch ein Ultraschallmesser, das durch einen oberhalb des Förderbands montierten Knickarmroboter geführt wird.

Die textile Bahn wird während der Förderung und des Zuschnitts mittels Differenzdruck niedergehalten. Der Differenzdruck erfolgt durch eine unter dem luftdurchlässigen Fördergurt angebrachten Differenzdruckeinheit und kann über einzeln schaltbare Abschnitte und den stufenlos regelbaren Radialverdichter variiert werden. Auf diese Art und Weise ist ein kontinuierlicher Konturschnitt der textilen Bahnen auf einem verhältnismäßig kleinen Bauraum möglich.

MATERIALGERECHTE HANDHABUNG – SCHLÜSSEL DER PROZESSKETTE

Nicht nur die biegeweiche Charakteristik, sondern auch die erzeugten Geometrien der textilen Materialien stellen die maßgeblichen Anforderungen an die Handhabungstechnologie. Die wichtigsten Ansprüche sind hierbei die sichere Aufnahme von Ab- und insbesondere von Konturschnitten, der Transport des Materials ohne unzulässige Beeinflussung oder gar Schädigung sowie eine präzise Ablage bei ausreichender Prozessgeschwindigkeit.



BILD 5 Kontinuierliche Zufuhr- und Zuschnitteinheit der Preforming-Anlage

Die größten Herausforderungen bestehen in der Handhabbarkeit verschiedener biegeweicher Materialien sowie unterschiedlicher Schnittgeometrien, was einer angepassten Greifkonfiguration bedarf. Gleichzeitig sollten Transport und Ablage mithilfe bewährter und platzsparender Wickeltechnik realisiert werden, was unter den Aspekten des Leichtbaus und der Kostenreduktion ebenso eine Herausforderung darstellt wie die präzise Bahnkantenregelung. Da aufgrund der Produktion von technischen Textilien eine oft nicht ganz klar zu definierende Kante vorliegt, gilt es hier, ein Verfahren zu implementieren, das auch in dieser Situation noch eine genaue Erkennung der Textilkante und somit eine präzise Ablage gewährleistet.

Die Adaption des Greifsystems auf die verschiedenen Halbzeuggeometrien wurde mithilfe zueinander verstellbarer Walzen realisiert, die zusammen eine Walzeneinheit bilden. Somit wird sichergestellt, dass das Textil von allen Greifern während des Wickelvorgangs gehalten und gegen ungewolltes Abrutschen gesichert wird. Während des Aufwickelvorgangs wird eine etwaige Bewegung quer zur Wickelrichtung sensorisch erfasst und durch einen Portalroboter, an dem die Handhabungseinheit hängt, ausgeglichen. Der Ablege- und Positionierungsvorgang wird durch Klemm- und Führungsvorrichtungen unterstützt, wodurch eine positionsgenaue Ablage sichergestellt ist.



»Die wesentliche Anforderung an den Zuschnitt der textilen Bahnen ist der kontinuierliche Konturschnitt längs der Bahn über eine theoretisch endlose Länge.«

Dipl.-Ing. Jan Franke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

AUTOMATISIERUNG FÜR EINE PRÄZISE APPLIKATION VON BINDERMATERIAL

In der Fertigung von Faser-Kunststoff-Verbundbauteilen für Rotorblätter kommen aktuell verschiedene Bindertechnologien zum Einsatz, um ein Verrutschen der einzelnen, trockenen Faserlagen nach deren Positionierung zu verhindern. Für die Automatisierung der Fertigungsprozesse ist daher die Entwicklung einer automatisierten Binderapplikation erforderlich.

Die während des Umformvorgangs zu erwartende Faltenbildung soll unter anderem durch das gezielte Einbringen eines Textilbinders auf Basis eines Epoxidharzklebers (Saerfix EP) [3] minimiert werden. In einer automatisierten Fixierungseinheit wird der als Rollenware gelieferte Binder von einer Trägerfolie auf die Textiloberfläche übertragen.

Die Geschwindigkeit des Bindereintrags auf die textile Oberfläche muss an die relative Bewegungsgeschwindigkeit der Fixierungseinheit durch eine geeignete Regelung und Sensorik angepasst werden. So wird ein Binderauftrag ohne Einleitung von Querkräften auf das Textil gewährleistet, die zu Verschiebungen oder Ondulationen der abgelegten Textilien führen würden. Durch die Flexibilität des Knickarmroboters ist auch ein Auftrag des Binders an schwer zugänglichen Stellen möglich. Der Einsatz einer solchen Fixierungseinheit kann daher auch direkt in einer mehrfach gekrümmten Form erfolgen.

PREFORMING IN GROSSER DIMENSION

Die entwickelte Umformeinheit ist das zentrale Element für den eigentlichen Preforming-Prozess. Neuartig ist eine Verformung der trockenen, automatisiert aufgebauten Textilstapel in einer geometrischen Dimension für Rotorblätter. Zusammen mit dem Einsatz eines neuartigen Preform-Trägers, Bild 2, ist es möglich, den Fertigungsprozess so zu gestalten, dass der kritische Pfad, insbesondere durch die Reduzierung der Belegungszeiten der Rotorblattform, entlastet wird. Dies gelingt durch eine parallele oder sogar zeitlich vorgelagerte Produktion. Mit einer entsprechenden Anzahl an Preform-Trägern wird sogar eine Zwischenlagerung möglich.

Damit dieser Umformprozess möglich wird und es kein ungewolltes Materialverhalten gibt, ist der Einsatz eines hochdrapierfähigen und

automatisiert zu verarbeitenden Materials erforderlich. Die Schwierigkeit ist, das Materialverhalten kontinuierlich zu erfassen und so den eigentlichen Formgebungsprozess zum endkonturnahen Preform zu regeln.

Abschließend wird dieser in das Formwerkzeug transportiert. Dieser Schritt stellt erhöhte Anforderungen an die Logistik des biegeweichen Preforms, insbesondere, da es sich um eine sehr großflächige Komponente handelt. Anschließend kann der Vakuumaufbau für das Erstellen des Faser-Kunststoff-Verbundbauteils beginnen.

ENTWICKLUNG VON AUTOMATISIERUNGSGERECHTEN TECHNISCHEN TEXTILIEN

Das automatisierte Ablegen von technischen Textilien stellt auch die Hersteller dieser Materialien vor ganz neue Herausforderungen. Entscheidend für das Ablegen von Gelegen in automatisierten Prozessen ist die Qualität der textilen Flächengebilde im Herstellungsprozess.

So führen zum Beispiel unterschiedliche Fadenspannungen in der 0°-Lage bei UD-Gelegen zu unterschiedlichen Spannungszuständen beim Ablegen der Lagen, was zur Faltenbildung beziehungsweise zum Verzug führen kann.

Gleichzeitig stellen die textilen Anforderungen die Handhabungstechnik auch vor bisher nicht erkannte oder nicht berücksichtigte Herausforderungen. UD-Gelege müssen, damit sie im späteren Bauteil die besten mechanischen Kennwerte erbringen, unter Spannung abgelegt werden. Ein biaxiales Gelege ($\pm 45^\circ$) muss hingegen weitestgehend spannungsfrei abgelegt werden, damit sich das Material nicht unzulässig verzieht.

Als Referenzmaterial dient ein aktuell verwendetes triaxiales Glas-Carbon-Hybridgelege, an dem, neben den bekannten mechanischen Eigenschaften, weitere Basisuntersuchungen wie zum Beispiel die Drapier- und die Infusionsfähigkeit getestet werden.

Da Labortests keine abschließende Aussage über das tatsächliche Verhalten des Textils im Bauteil zulassen, kommt zusätzlich ein Formwerkzeug des Übergangsbereichs im Verhältnis 1:9 zum Einsatz, um entsprechende Untersuchungen durchführen zu können. So ist es



»Die entwickelte Umformeinheit ist das zentrale Element für den eigentlichen Preforming-Prozess, neuartig ist eine Verformung der trockenen, automatisiert aufgebauten Textilstapel in einer geometrischen Dimension für Rotorblätter.«

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Thoben ist Leiter des Instituts für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

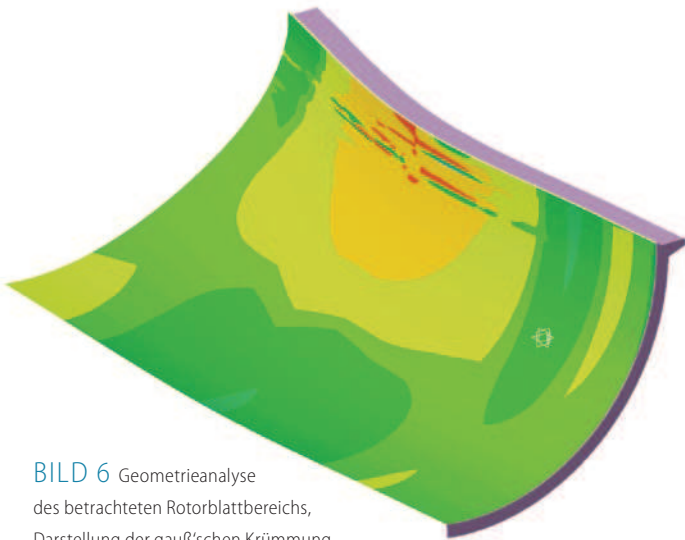


BILD 6 Geometrieanalyse des betrachteten Rotorblattbereichs, Darstellung der gauß'schen Krümmung

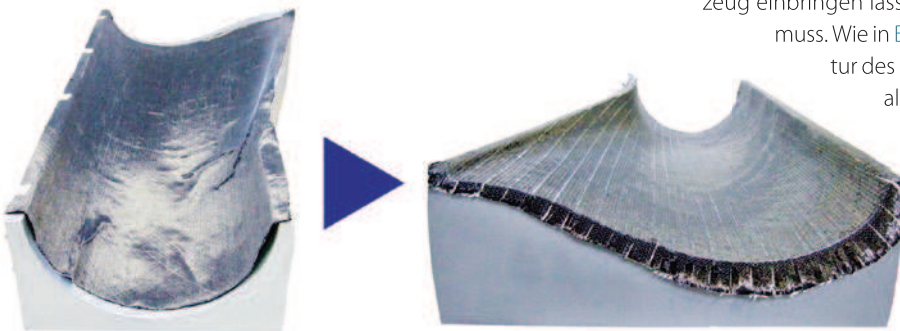


BILD 7 Drapieruntersuchungen im Modell (1:9) des späteren Formwerkzeugs; links Referenzmaterial, rechts im Verbundprojekt mapretec entwickeltes Gelege

möglich, frühzeitig Rückschlüsse auf das Verhalten des Textils im späteren realen Umformprozess zu ziehen. Erwartungsgemäß kommt es bei einem Standardtextil im betrachteten Bereich zur Faltenbildung. Die reale Faltenbildung stimmt gut mit den theoretisch ermittelten, kritischen Bereichen der Krümmungsanalyse, Bild 6, überein. Die Faltenbildung wird im manuellen

Produktionsablauf durch Einschnitte im Gelege vermieden. Diese Schwächung der durchgehenden 0°-Lagen wird durch zusätzlich eingebrachte Lagen kompensiert.

Im Hinblick auf den Leichtbaugedanken ist die Kompensation der Einschnitte durch das Einbringen von zusätzlichen Lagen nicht optimal. Deshalb wird im Projekt der Gedankengang verfolgt, die Lagen durchgehend durch das Bauteil laufen zu lassen. Das ist jedoch mit den herkömmlich verwendeten textilen Halbzeugen nicht ohne weiteres möglich.

Die große Herausforderung besteht darin, nicht nur ein Gelege zu entwickeln, das die benötigten Drapiereigenschaften mit sich bringt, sondern auch die Beibehaltung des textilen Aufbaus (Lagengewicht, verwendete Rohstoffe) garantiert. Mithilfe mehrerer Iterationsschleifen konnte so erstmalig ein Gelege entwickelt werden, das sich sehr leicht und faltenfrei in eine endkonturnahe Lage in das Formwerkzeug einbringen lässt, ohne dass aufwendig nachdrapiert werden muss. Wie in Bild 7 zu sehen ist, folgt der Faserverlauf der Kontur des Bauteils. Somit kann das Formwerkzeug material- und bauteilgerecht belegt werden.

Parallel zu den Drapierversuchen im Formwerkzeug werden Drapieruntersuchungen mit dem „Drapetest“ (entwickelt innerhalb des Projektes „Messsysteme zur Charakterisierung der Drapierbarkeit von Multiaxialgelegen“ gefördert durch das BMWI/ZIM, Vertrieb Firma TexTechno) durchgeführt. Auf diese Weise lässt sich das neu entwickelte Material quantitativ und qualitativ, durch die

Angabe von Kraftaufnahme, Gap-Bildung und Winkelabweichung in Abhängigkeit des Umformgrades mit dem Referenzmaterial vergleichen. In Bild 8 ist exemplarisch die Winkelabweichung beider Materialien dargestellt. Dabei fällt auf, dass sich das Referenzmaterial, bedingt durch die enge Vernähung, kaum öffnet und es schon bei geringen Umformgraden zu einer Schlaufenbildung kommt. Die Ergebnisse des für das Verbundprojekt entwickelten Geleges zeigen deutliche Unterschiede im Drapierverhalten, so ist eine we-



»Die Ergebnisse des entwickelten Geleges zeigen deutliche Unterschiede im Drapierverhalten, so ist eine wesentlich gleichmäßigere Öffnung des Materials und kaum Schlaufenbildung zu beobachten.«

Dipl.-Ing. (FH) Lars Ischtschuk arbeitet in der R+D Werkstoffprozessertechnik bei der Saertex GmbH & Co. KG in Saerbeck.

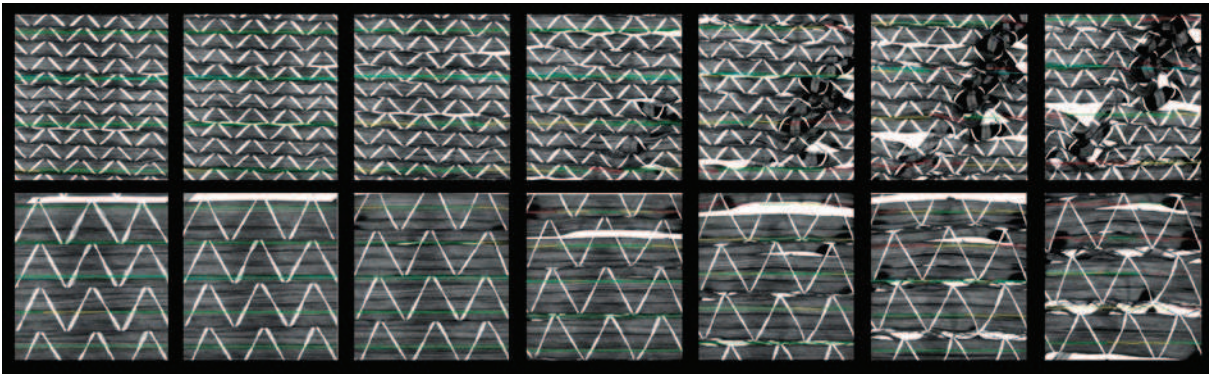


BILD 8 Untersuchung des Drapierverhaltens (Gap- und Schlaufenbildung) mit dem Drapetest und dazugehörige Gelegebilder bei 10, 20, 30, 40, 50, 60 und 70 mm vertikalem Verformungsweg (Stempel); oben Referenzmaterial, unten im Verbundprojekt „mapretec“ entwickeltes Gelege

sentlich gleichmäßigere Öffnung des Materials und kaum Schlaufenbildung zu beobachten. Durch die vergleichende Untersuchung zwischen den Gelegen lassen sich schlüssige Aussagen über das Materialverhalten bei der Verformung machen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die im Rahmen des Verbundprojekts „mapretec“ entwickelte und schon zu großen Teilen umgesetzte Prozesskette hat große Innovationen in der automatisierten Handhabungs- und Textiltechnik zur Rotorblattfertigung ergeben. Infolge dessen bietet die Automatisierungstechnik die Möglichkeit, neuartige Gelege zu entwickeln beziehungsweise einzusetzen, die aufgrund ihrer Empfindlichkeit für herkömmliche, manuelle Fertigungsprozesse nicht geeignet sind. Zudem ist der Aspekt der Reproduzierbarkeit und somit verbundene Qualitätssteigerung ein weiterer Punkt, der für die automatisierte Produktion von großen Faserverbundbauteilen spricht.

Schon jetzt ist ein Großteil der gesteckten Projektziele aus textil- und automatisierungstechnischer Sicht erreicht. Bis zum Ende der Projektlaufzeit wird die Forschungsanlage die vorgestellte Prozesskette komplett mit einem original großen Formwerkzeug abbilden, sodass eine automatisierte Preform-Fertigung zukünftig auch im industriellen Einsatz ermöglicht wird.

DANKSAGUNG

Wir danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages das Verbundprojekt „mapretec“ fördert, sowie dem Projektträger Jülich für die Koordinierung des Vorhabens.

Ebenfalls möchten wir der Areva Blades GmbH danken, die das Verbundprojekt als assoziierter Partner unterstützt. ●

LITERATURHINWEISE

[1] Albers, H.: Bundesverband Windenergie e.V. Internetauftritt, Zugriff am 30.05.2013. <http://www.wind-energy-market.com/de/windenergieanlagen>

[2] Verbundprojekt mapretec. Internetauftritt, Zugriff am 30.05.2013. <http://www.mapretec.de>

[3] Ischtschuk, L.: Selbsthaftende Gelege für höhere Produktions-effizienz und Qualität. In: *Lightweight Design* (2011), Nr. 1, S. 57-61

[4] Ohlendorf, J.-H.; Rolbiecki, M.; Schmohl, T.; Müller, D. H.; Thoben, K.-D.: Entwicklung von Handhabungseinrichtungen für biegeschlaffe Materialien - Automatisierter preform-Aufbau für Rotorblätter von Windenergieanlagen. In: Brökel, K.; Stelzer, R.; Feldhusen, J.; Rieg, F.; Grote, K.-H. (Hrsg.): 9. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, Rostock, Shaker Verlag, S. 141-146, 7-8 Oktober 2011

Die Autoren

DR.-ING. JAN-HENDRIK OHLENDORF ist Abteilungsleiter und wissenschaftl. Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

DIPL.-WI.-ING. MARTIN ROLBIECKI ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

DIPL.-ING. TIM SCHMOHL ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

DIPL.-ING. JAN FRANKE ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

PROF. DR.-ING. HABIL. KLAUS-DIETER THOBEN ist Leiter des Instituts für integrierte Produktentwicklung (BIK) der Universität Bremen.

DIPL.-ING. (FH) LARS ISCHTSCHUK arbeitet in der R+D Werkstoffprozessechnik bei der Saertex GmbH & Co. KG in Saerbeck.
