

# ERNEUERBARE ENERGIEN

Das unabhängige Monatsmagazin für die Zukunftsenergien!

Sonderseiten  
**HUSUMwind**  
23.-27.09.2003

Ausgabe

# 9

September 2003

13. Jahrg. / 5,- €

## Windenergie

Ist die 10-MW-Turbine möglich?

## Biomasse

Pellets contra Scheitholz

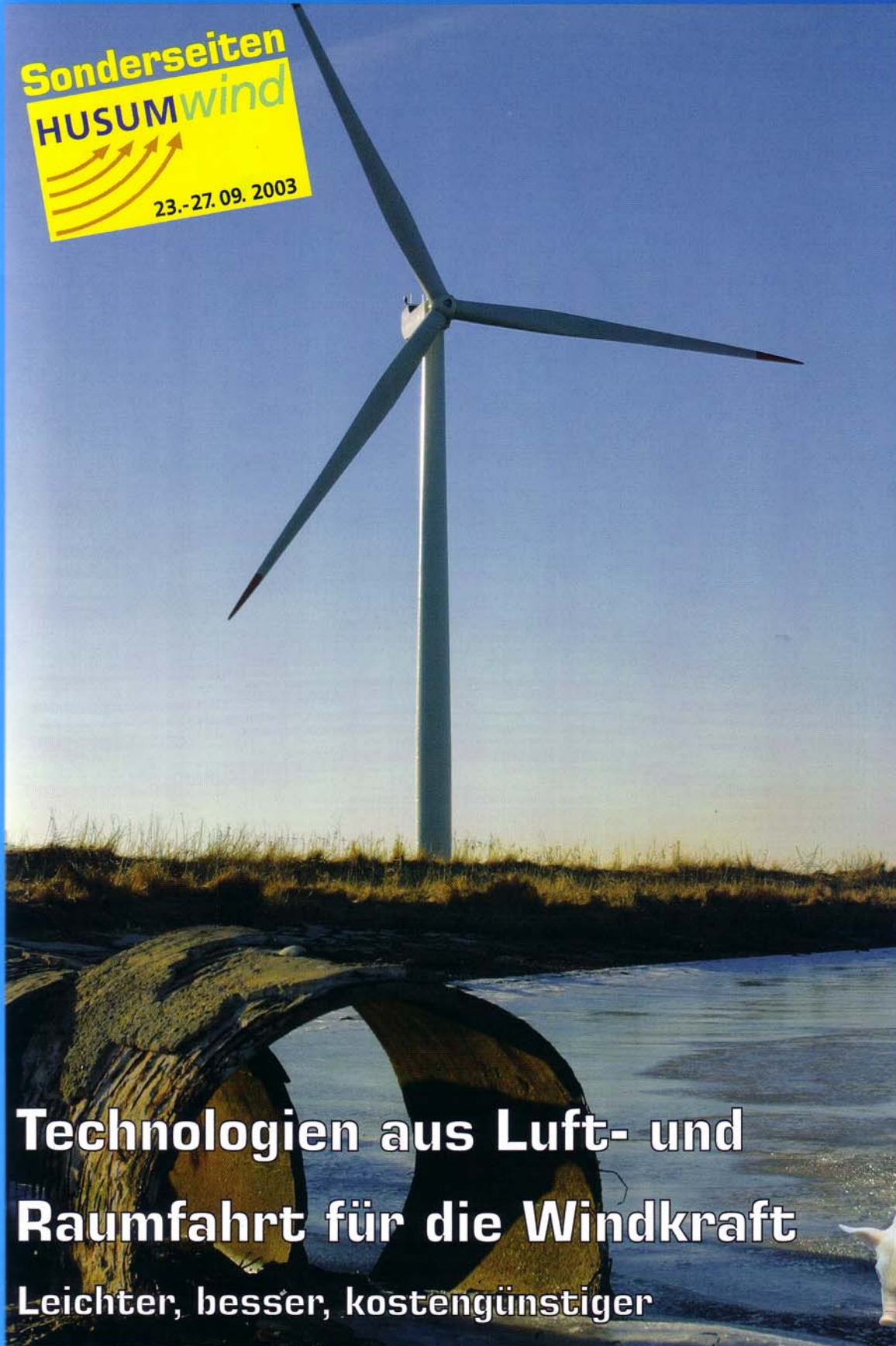
## Solarenergie

Nachgeführte PV-Anlagen

Warme Füße für Ferkel

## Technologien aus Luft- und Raumfahrt für die Windkraft

Leichter, besser, kostengünstiger





## 2003

# Der Kongress

### Trends für Märkte der Zukunft

Programm:

- Anlagentechnik
- Offshore
- Stromnetze
- Finanzierung und Versicherung
- Internationale Märkte

## The conference

Trends for Markets of Tomorrow Program:

- Installation Engineering
- Offshore Wind Energy
- Power Supply System
- Factoring and Insurance
- International Markets

## 23 - 26 September

www.husumwind.com

Wir danken unseren Sponsorpartnern:  
/ We thank our sponsors:



HSH Nordbank AG  
Gerhart-Hauptmann-Platz 50,  
20095 Hamburg  
Martensdamm 6, 24103 Kiel



IKB Deutsche Industriebank AG  
Wilhelm-Böttskes-Str. 1  
40474 Düsseldorf



Deutsche Energie-Agentur GmbH  
Chausseestr. 128a  
10115 Berlin

## Leichter, besser, kostengünstiger ...

Seit den Anfängen der modernen Windenergienutzung ab 1920 haben Windenergieanlagen (WEA) stets von den Erkenntnissen der Luftfahrtforschung profitiert. Neben aerodynamischen Verbesserungen haben vor allem Werkstoffe und Bauweisen aus dem (Segel-)Flugzeugbau – bedeutende Pioniere der Windenergienutzung wie Hütter, Eppler und Wortmann waren eigentlich Luftfahrtexperten [1] – Eingang in WEA gefunden und zu dem heute erreichten hohen Standard beigetragen.

### Stand der Technik

Werkstoffe und Bauweisen sind bei Segelflugzeugen und Windrotorflügeln ähnlich. Eingesetzt werden vorwiegend Glasfasern und für hoch belastete Bereiche (Holme, Gurte) trotz wesentlich höherer Kosten zunehmend Kohlenstofffasern.

Bei WEA besteht die Flügelstruktur üblicherweise aus zwei Halbschalen (Sandwichstrukturen mit Schaumkern) mit Nasen- und Endkantenklebung sowie Holmen aus einfachen oder doppelten Stegen. Ober- und Untergurte sind meist monolithische Faserverbundbauteile [1].

Die Halbschalen werden meist im Handlaminierverfahren in Negativformen gefertigt und Nass in Nass mit den Holmstrukturen zusammen verklebt [1]. Zunehmend werden auch geschlossene Verfahren (Vakuumtechnologien, Harzinfusion) eingesetzt, da sie Vorteile bei der Laminatqualität (bessere Kompaktierung, höhere Faservolumengehalte)

sowie beim Arbeitsschutz (verminderte Emissionen) bieten [2, 3]. Andere Fertigungstechnologien (Wickeltechnik für Teilstrukturen der Blätter) kommen derzeit kaum zum Einsatz.

### Anforderungen an WEA

Windenergieanlagen unterliegen einem sehr komplexen Belastungsprofil durch:

- instationäre aerodynamische Luftkräfte (voll turbulente Grenzschicht),
  - Eigenbewegungen des Systems und seiner Einzelmassen (Schwingungsprobleme),
  - unterschiedliche klimatische Bedingungen (Vereisungsproblematik).
- Demgegenüber stehen hohe Anforderungen an WEA:

- Lebensdauer > 30 Jahre (> 120.000 Stunden),
- extrem kostengünstig in Herstellung, Anschaffung, Betrieb und Wartung (Konkurrenz zu anderen Energiewandlungssystemen),
- hohe Qualität der Rotorblätter und gute Reproduzierbarkeit trotz Toleranzproblematik bei Verarbeitung größter Mengen Fasern und Harze.

Kostensenkung und Qualitätssicherung werden somit an Bedeutung gewinnen. Hier müssen die gleichen Maßstäbe wie in der Luftfahrt (Großflugzeugbau) angesetzt werden [1]. Somit erscheint es lohnend, dort verfügbare und bewährte Technologien sowie Werkstoffe und Bauweisen auf ihre Verwendung für Windenergieanlagen zu untersuchen.

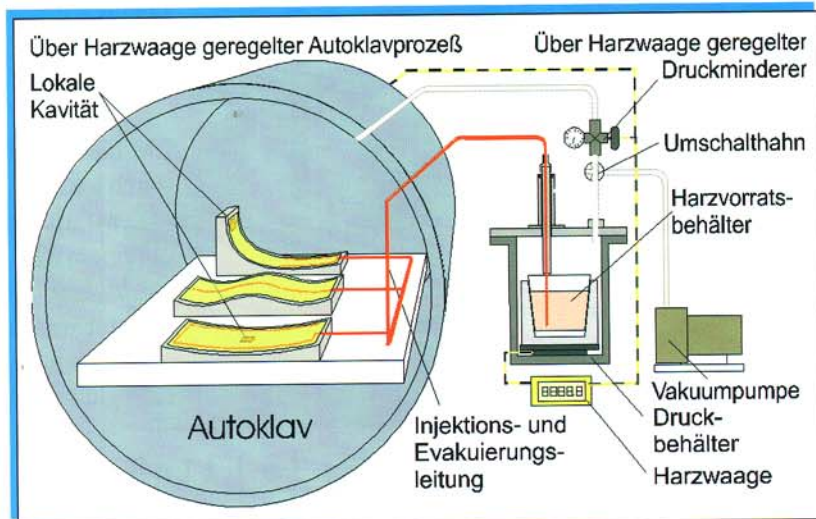


Abbildung 1: Darstellung des SLI-Verfahrens

## Aktuelle Luftfahrttechnologien für Rotorblätter

Nachdem bei metallischen Flugzeugstrukturen deutliche Gewichts- und Kosteneinsparungen nicht mehr zu erwarten sind, kommen Faserverbundstrukturen vermehrt zum Einsatz. Zunächst für Klappen, Ruder und Leitwerke verwendet, wird derzeit der Einsatz von kompletten CFK-(Kohlenstofffaserverbundkunststoff)-Tragflächen und Rumpfen mit einer angestrebten Gewichts- und Kostenreduzierung von 30 Prozent beziehungsweise 40 Prozent vorbereitet.



Dr.-Ing. Lars Herbeck

*Anschrift der Autoren:  
Deutsches Zentrum für  
Luft- und Raumfahrt e.V.  
In der Helmholtz-  
Gemeinschaft,  
Institut für  
Strukturmechanik,  
Lilienthalplatz 7,  
38108 Braunschweig,  
Tel. 0531/295-2859,  
Fax 0531/295-2838,  
E-Mail  
joerg.nickel@dlr.de*

## Weiterentwickelte Technologien

Hochwertige, endlosfaserverstärkte Bauteile werden heute meist im Prepregverfahren gefertigt. In jüngster Zeit werden verstärkt sogenannte Nassverfahren untersucht, die infolge günstiger Halbzeuge die Fertigungskosten reduzieren. Für die Rotorblattfertigung erscheinen besonders die folgenden Verfahren sehr interessant. Beim Vari-Verfahren (Vacuum Assisted Resin Infusion) wird, wie bei allen Harzinjektionsverfahren, zuerst der trockene Faservorformling in die Form

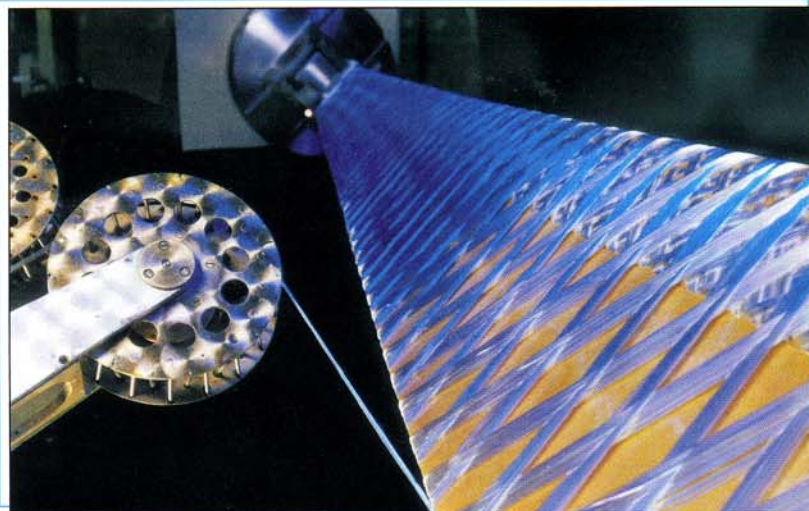


Abbildung 2: Rotorblattfertigung im Faserwickelverfahren

eingbracht, diese geschlossen und evakuiert. Oft ist nur eine Werkzeughälfte erforderlich, die andere wird durch eine luftdichte Membran ersetzt. Im Gegensatz zum Massivform-RTM-Verfahren (Resin Transfer Moulding) findet hier der Infusions- und Aushärtungsprozess bei Umgebungsdruck statt. Eine Variante der Vari-Technologie ist das Scrimp-Verfahren (Seeman Composites Resin Infusion Moulding Process), das eine Fließhilfe auf dem trockenen Faservorformling nutzt, die für eine sehr schnelle Verteilung des Harzes beim Infiltrieren

sorgt. Die Infiltration findet senkrecht zur flächigen Faserverstärkung statt. Meist wird auch hier ein einseitiges auf der Gegenseite mit einer Vakuumfolie geschlossenes Fertigungsmittel verwendet. Aufgrund fehlender oder sehr geringer Faserkompaktierung und ungeordneter Durchtränkung ist die Laminatqualität oft deutlich schlechter als beim Prepreg-Autoklav-Verfahren. Um den Rohmaterialvorteil der Nass-technologie mit den Laminatqualitäten der Prepreg-Autoklav-Technologie zu kombinieren, wurde am DLR-Institut für Strukturmechanik das SLI-Ver-

WWW.HYTORC.DE



**NEU: SYSTEM DISC™**  
Verschrauben ohne  
Reaktionsarm und Gegenhalter



**DDW-3000™**  
Drehmoment-Drehwinkel Montage  
nach VDI 2230



**NEU: SMART-STUD™**  
Für schnelles und  
torsionsfreies Verschrauben

HUSUMWIND  
23.-27.09.2003

HALLE 2  
STAND A212

## Systeme für wartungsfreie Schraubverbindungen

Auf der HUSUMWIND präsentiert Ihnen HYTORC das volle Sortiment modernster Verschraubungs-Systeme. Damit arbeiten Sie nachweislich sicherer, präziser, schneller und einfacher. Wenn Sie genau wissen wollen worum es sich dreht, besuchen Sie uns in der Halle 2, Stand A 212 oder Sie rufen uns einfach an: +49 (0) 89 / 23 09 99-0.



JUSTUS-VON-LIEBIG-RING 17  
D-82152 KRAILLING / MUC  
TELEFON: 089 / 23 09 99-0  
TELEFAX: 089 / 23 09 99-12

fahren (Single Line Injection) entwickelt (Abbildung 1). Der Vorteil liegt in der Harzinjektion unter Druck. Das Laminat wird bei der Aushärtung durch den Autoklavdruck kompaktiert. Es ist nur eine kombinierte Injektions-/Evakuierungsleitung erforderlich, die auf der Faserpreform optimal angeordnet werden kann, um Fließstrecken und Injektionszeiten zu verkürzen [4]. Nachteilig ist der erforderliche Autoklav. Zur Fertigung etwa von Windflügeln kann das SLI Verfahren ohne Qualitätsverlust auch ohne Autoklav betrieben werden, wenn hochkompakte Multiaxialgelege und Fließhilfen zum Einsatz kommen.

### Alternative Faserhalbzeuge und Harzsysteme

Mit Harzinjektionsverfahren können kostengünstige, trockene Faserhalbzeuge wie zum Beispiel Gewebe, Geflechte und Multiaxialgelege aus Kohlenstoff-, Glas-, Aramid- oder auch Naturfasern verarbeitet werden. Beispielsweise wurde ein Rotorblatt mit kombinierter Glas-/Naturfaserverstärkung von der Firma Invent GmbH, Braunschweig (Ausgründung des DLR Instituts für Strukturmechanik) realisiert. Die verschiedenen Faserhalbzeuge lassen sich mit den für die jeweilige



Abbildung 3: DLR Windrotor mit gewickelten 2,5-m-Blättern

Anwendung optimalen Matrixharzen kombinieren (Epoxide, Vinylester, Polyisocyanurate (Blendur), Bismaleinimide, Cyanatester, Phenolharze).

### Blattfertigung in Faserwickel- und Formpresstechnik

Ziel dieses Verfahrens ist eine größtenteils automatisierte Herstellung von Faserverbundrotorblättern [5]. Die Herstellung ist wie folgt gegliedert:

- Schäumen des Wickelkerns (geschlossenzelliger PU-Schaum),
- Zuschnitt: Vorderes Flügelprofil, Holm, Hinteres Flügelprofil,
- Nasswickeln unidirektionaler Fasern (Fliehkraft-, Biegemomentaufnahme) um eingespannten Holmkern und Metallinserts der Einspannung,

- Anbringen nasser Kreuzwicklungen (Schubkraftaufnahme) auf axial vorgespanntem, stabilisiertem Holm,
- Ansetzen der Kernteile für vordere und hintere Profilgeometrie und Fixierung mittels Metallstiften,
- flächendeckende Aufbringung nasser Kreuzwicklungen (Erzeugung eines geschlossenen Flügelprofils) mit gleichmäßig vorgespannten tragenden Fasern (Abbildung 2),
- Formpressen des nassgewickelten Rotorblattes unter Vakuum,
- Ofenhärtung.

Alternativ kann der Wickelvorgang mit trockenem Fasermaterial durchgeführt und die Matrix injiziert werden.

Die Rotorblattherstellung nach dem beschriebenen Verfahren beinhaltet Produktionsvorteile und konstruktive Verbesserungen am Windflügel durch die wickeltechnische Fertigung. Zu den Produktionsvorteilen zählen:

- Zeit- und Kostenersparnis durch automatisiertes Verfahren (stückzahl- und baugrößenabhängig),
- qualitätsgesicherte Produktion mit reproduzierbarer Faserablage,
- bessere Werkstoffausnutzung infolge hoher Fertigungsgenauigkeit,

... just add wind

**PERMAPOWER**  
ENERGY



## Die Kunst des Weglassens ...

Die neue Vensys 62 ist das Ergebnis unseres Bestrebens, Windkraftanlagen konsequent zu vereinfachen:

- **Permanentmagneterregung,**
- **getriebeloser Generator** und
- **Luftkühlung**

sorgen für höchste Effizienz und Ausfallsicherheit.

Auch in vielen Details wurden neue Wege beschritten:

Von der nahezu wartungsfreien Blattverstellung bis zum Transformator im Mastfuß zeigt sich eine Fülle überzeugender Lösungen, die nur einem Ziel dienen: Ihrem Nutzen!

Ihrem Nutzen!

Weitere Informationen sendet Ihnen gerne:

PERMAPOWER ENERGY GMBH • Dorfstraße 28 • 23992 Glasin  
Tel. 03 84 29/4 49 55 • Fax 03 84 29/4 49 56 • www.permapower.de

Wissenschaft  
und Technik



Dipl.-Ing. Jörg Nickel

- verbesserter Arbeitsschutz durch prozessbedingt reduzierte Emissionen. Die Verbesserungen umfassen:
- integrierte faserverbundgerechte Krafteinleitung an der Blattwurzel,
- Wegfall der sicherheitskritischen Klebenähte an Flügelvorder- und Flügelhinterkante.

Insgesamt ergab sich eine Masseinsparung von etwa 20 Prozent gegenüber einem handlaminierten Rotorblatt bei der Blattlänge 2,5 m (Abbildung 3). Auf diese Weise ließen sich Blätter für Kleinanlagen oder Blattspitzen größerer Anlagen fertigen.

### Strukturintegrierte Konzepte

Faserverbundwerkstoffe und Integralbauweisen helfen mit eingebauten Zusatzfunktionen Funktionalität, Kosten und Gewicht zu optimieren.

- Die verstärkte Nutzung der Windenergie führt zum Betrieb von Windkraftanlagen unter extremen Witterungsbedingungen (Vereisung) [6, 7, 8]. Da Vereisungsprobleme auch an Tragflächen auftreten, können bewährte Lösungen aus dem Flugzeugbau auch hier zur Anwendung gelangen (Anti-Icing/Eisfreihaltung, De-Icing/Enteisung). Neben elektrischen Widerstandselementen mit reiner Heizfunktion ist es grundsätzlich möglich, Kohlenstofffaserrovings aus der Struktur aufgrund ihres elektrischen Widerstandes auch als Heizelemente zu nutzen. Weiterhin bekannt sind periodisch luftgefüllte elastische Bälge an der Flügelvorderkante, die Eisansatz infolge Volumenänderung absprennen. Für ein Tragflächen-De-Icing/Anti-Icing Konzept können bereits während der Fertigung entsprechende Kanäle für Heizmedien integriert werden (Abbildung 4). Die Temperierung des Heizmediums kann zum Beispiel mit Hilfe der Mikrowellentechnologie erfolgen [9].

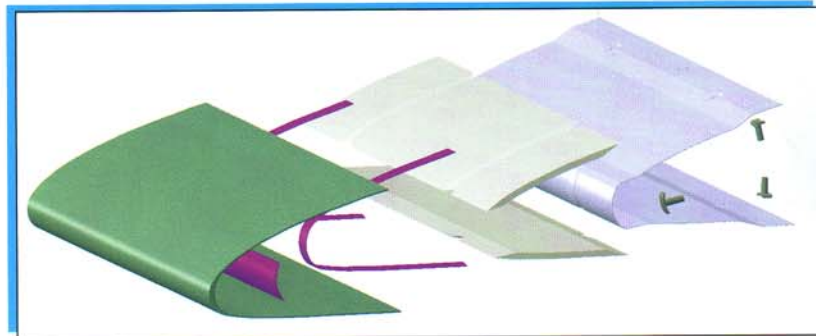


Abbildung 4: De-Icing/Anti-Icing-Konzept

- Für Zuverlässigkeit und Qualitätssicherung von Rotorblättern gewinnt die Schadensfrüherkennung zunehmend an Bedeutung. Die schlaufenförmige Einbettung optischer Fasern nebst geeigneter Überwachungselektronik erlaubt es zum Beispiel, frühzeitig qualifizierte Aussagen über unzulässig hohe Deformationen und somit Laminatschäden zu treffen und diese auch zu lokalisieren [10].
- Ein weiteres Beispiel für strukturintegrierte Funktionen sind elektrisch leitende Elemente für den Blitzschutz, die Überspannungen kontrolliert abführen. Im Flugzeugbau finden dazu Einlagen aus so genanntem Kupfermesh, einem Geflecht aus Kupferfäden oder -drähten, Verwendung.

### Zusammenfassung

Angesichts steigender Anforderungen an Windrotorblätter hinsichtlich Leichtbau, Lebensdauer, strukturintegrierter Funktionen, Qualität, Zuverlässigkeit und Kosten können bewährte und neue Technologien, Werkstoffe und Bauweisen aus der Luft- und Raumfahrt wichtige Beiträge leisten, um Windenergie kostengünstiger und konkurrenzfähiger im Wettbewerb mit herkömmlichen Energieträgern zu machen. Das DLR Institut für Strukturmechanik verfügt über fundierte Kenntnisse und Erfahrungen in der

Faserverbundtechnologie, die für den Transfer in Windkraftanlagen genutzt werden können.

Dr.-Ing. Lars Herbeck,  
Dipl.-Ing. Jörg Nickel ■

### Literatur

- [1] Dörner, H.: Luftfahrttechnik – Windenergienutzung. Historisch gewachsene, vielfältige Verknüpfungspunkte. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2002, DGLR-JT2002-135, Stuttgart.
- [2] Stauning, R.: Composite application in windmill industry – Materials and process developments. 5. Int. AVK-TV Tagung Baden-Baden, 17.-18.9.2002.
- [3] Cleat, G.; Cauchois, J.-P.; Rosati, A.: Wind turbine blades manufactured by RTM Process. 5. Int. AVK-TV Tagung Baden-Baden, 17.-18.9.2002.
- [4] Herrmann, A. S.; Kleineberg, M.; Pabsch, A.: Luftfahrtzugelassene CFK-Verkleidungsteile, hergestellt im Single-Line-Injection-Verfahren. VDI Tagung Innovative Produkte durch neue Werkstoffe, Würzburg 17.-18.10.2001.
- [5] Herrmann, A. S.; Krajenski, V.; Pabsch, A.: Rotorblattherstellung in kombinierter Faserwickel- und Formpreßtechnik. DBU-Förderprojekt 1995-2000.
- [6] Tammelin, B.: New Ictools – Experimental Wind Energy Data from Cold Climate Sites in Europe. DEWI Magazin Windenergie Nr. 21, 8/2002, Wilhelmshaven.
- [7] Seifert, H.: Eiszeit für Windkraftanlagen. Dewil Magazin Windenergie Nr. 6, 2/1995, Wilhelmshaven.
- [8] Arnold, K.: Entwicklung einer Vereisungsklimatologie für Standorte von Windkraftanlagen. LIM-Institut für Meteorologie, Universität Leipzig.
- [9] DE 101 18 121.3: Mikrowellentechnische Einrichtung zur Eisfreihaltung und Enteisung formstabiler Hohlkörperstrukturen an der Oberfläche und Verfahren zum Betreiben der Einrichtung.
- [10] de Bonte, H.: Inspection techniques for glass fibre reinforced plastic wind turbine blades. 5. Int. AVK-TV Tagung Baden-Baden, 17.-18.9.2002.



**Why CERAM-KOTE 54® to protect offshore structures?**

CERAM-KOTE EUROPE GmbH is the leading manufacturer of coatings filled with micro-ceramic particles. We got decades of experience with corrosion protection in oil- gas and offshore industries worldwide. That's why all monopiles for the offshore wind parks **HORNS REV, ARKLOW BANK, NORTH HOYLE** and **SCROBY SANDS** were coated with CERAM-KOTE 54®.

**It's tough stuff! That's why.**

**CERAM-KOTE EUROPE GmbH**  
 Daimlerring 9  
 D-32289 Roedinghausen  
 Germany  
 Phone: +49-5223-96276-11  
 Fax: +49-5223-96276-17  
 Email: [mro@ceram-kote.de](mailto:mro@ceram-kote.de)  
 Web: [www.ceram-kote.de](http://www.ceram-kote.de)