



# Gigantisch beflügelt

Wenn die Windbranche mehr Strom ernten will, muss sie Turbinen mit längeren Rotorblättern einsetzen. Das rechnet sich aber nur, wenn die **Blätter flexibler und leichter konzipiert werden**. Entwickler stehen vor komplexen Aufgaben.

Von Sascha Rentzing – Fotos: Roland Horn



**Fertiges Produkt:** Ralf Jätzelt ist bei Vestas Blades Deutschland in Lauchhammer (Brandenburg) zuständig für die Verladung der Flügel.

**S**amsungs neue Offshore-Turbine wirkt gigantisch. Ihr riesiger Rotor dreht gemächlich seine Runden, obwohl an diesem Februartag kräftige Böen über die Docks der schottischen Küstenstadt Methil fegen. Gerade hat der südkoreanische Konzern den Prototypen seiner neuen Offshore-Maschine S7.0-171 im Methil-Testfeld „Energy Park Five“ in Betrieb genommen. Ab 2015 will Samsung damit kommerzielle Windparks in der Nordsee bestücken.

Mit sieben Megawatt Leistung und 83,5 Meter langen Blättern ist die Turbine der neue Gigant der Meere. Und sie steht für die rasante technische Entwicklung in der Windenergie: 2013 präsentierten Vestas und Mitsubishi für ihre Offshore-Maschinen Blatt-Prototypen mit 80 und 81,6 Metern Länge. Ein Jahr zuvor hatte Siemens mit einem 75-Meter-Blatt für die Offshore-Anwendung der hauseigenen SWT-6.0-174 den alten Längenrekord von Alstom um

1,5 Meter übertroffen (neue energie 07/2012). Entwickelt hat das neue 83,5-Meter-Rekordblatt aber nicht Samsung selbst, sondern der dänische Blattspezialist SSP Technology. Stolz verweist Chefentwickler Karl Eichler auf die Kern-Innovationen: „Wir verwenden für den Gurt, die tragende Struktur, Kohlenstoff- statt Glasfasern. Dadurch senken wir das Gewicht und erhöhen gleichzeitig die Steifigkeit des Blatts.“ Der Effekt: Die Flügel verbiegen sich bei Belastung weniger und können selbst bei starken Böen nicht mit dem Turm kollidieren. Außerdem nutzt SSP einen neuartigen Blattanschluss mit sehr dicht angebrachten Metallhülsen. „Dadurch lassen sich die Blätter mit mehr Bolzen fester an der Turbinennabe montieren. So können sie bei gleichem Blattwurzelndurchmesser wesentlich länger werden“, erklärt Eichler.

Stephan Barth, Geschäftsführer von Forwind – Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Bremen und Hannover, glaubt, dass die Entwicklung auch an Land weiter in diese Richtung geht: „Rotoren mit größeren Durchmessern können mehr Wind abgreifen und damit gleichmäßiger und verlässlicher Energie aus der Luft schöpfen.“ Technische Limits für die Steigerung der Blattlängen sieht Barth nicht. „Bisher haben die Ingenieure vermeintliche Skalierungsgesetze in der Windenergie immer wieder geschlagen.“

Dass sich mit zunehmenden Blattlängen auch die Gefahr von Schäden und Unfällen erhöhen könnte, sieht Barth nicht. „Die Technik, die wir jetzt haben, ist grundsätzlich sicher. Und die Verfahren und Vorschriften zur Einführung neuer Techniken sind sehr hoch entwickelt.“ Im Dezember sorgten in Niedersachsen Flügelbrüche an drei Turbinen für Schlagzeilen. Nach Ansicht des Landesumweltministeriums in Hannover ist die Zahl der publik gewordenen Unfälle allerdings gering, angesichts der Zahl von mehreren tausend Windkraftanlagen allein in Niedersach-



**Entstauben:** Martin Buder (l.) und Kai Hoffmann bereiten einen Flügel zum Lackieren vor.



**Qualitätssicherung:** Ähnlich wie beim Auto wird auch an Rotorblättern die Dicke der Farbschicht kontrolliert, hier von Martin Buder.

sen. Der Sicherheitsstandard bei der Herstellung sei hoch, betont das Ministerium.

Allerdings ist mit den derzeitigen Flügellängen die Windernte noch nicht effizient genug. Nach der aktuellen Studie „Kostensituation der Windenergie an Land“, die das Beratungsunternehmen Deutsche Windguard für den Bundesverband WindEnergie (BWE) und den Maschinenbauverband VDMA erstellt hat, liegen die Stromgestehungskosten an windschwachen Standorten derzeit bei durchschnittlich mehr als zehn Cent pro Kilowattstunde. Nur mit sehr großen Nabenhöhen und langen Rotorblättern könnten an diesen Standorten Projekte realisiert werden, so die Windguard-Analysten. Ohne Großrotoren droht der Windkraftausbau in Deutschland also ins Stocken zu geraten.

### Zu viel Manufaktur

Allerdings stellen längere Rotorblätter die Entwickler vor erhebliche Herausforderungen. Mit zunehmendem Gewicht verstärken sich auch die physikalischen Kräfte, die auf das Fundament wirken. Um ihnen entgegenzuwirken, müsste die Turbine insgesamt stabiler gebaut werden, was jedoch unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen würde. Die Konstrukteure haben also nur eine Wahl: Sie müssen flexible und schlankere Blätter konzipieren, die kritischen Windböen weniger Angriffsfläche bieten und die Gesamtstruktur der Turbine entlasten. Es gibt viele Ansatzpunkte: Die Geometrie oder der Materialaufbau der Flügel könnten verändert werden. Oder es ließen sich bewegliche Elemente in die Blätter einbauen. Sie lenken die ►

Windströmung per Steuerbefehl um – wie die Klappen an Flugzeugen.

Für Frank Weise, Leiter der Vestas-Rotorblattfertigung in Lauchhammer, ist der weitere technische Fortschritt jedoch an Bedingungen geknüpft: „Bevor wir über intelligente Riesenblätter sprechen, müssen zuerst die Fertigungsprozesse wirklich beherrscht und optimiert werden“ (siehe Interview S. 26). Bisher gibt es in der Flügel fertigung noch viele Schritte, die Handarbeit erfordern (siehe Kasten S. 37). Automatisierte Arbeitsverfahren könnten die Kosten senken. Das sei aber eine große Herausforderung, da Maschinen und Roboter höhere Anforderungen an Form, Lage und Klimabedingungen als Menschen hätten, erklärt Weise. „Sie brauchen für

die Automatisierung eine schlüssige Fertigungsstrategie, die das durchgängig berücksichtigt.“

Ebenso wichtig ist es aus Weises Sicht, Materialien klug einzusetzen. Wo zum Beispiel werden Kunstharze besser mit den günstigen, aber schweren Glasfasern oder mit den leichten, aber teureren Kohlenstofffasern verstärkt? „Viele Firmen bekennen sich zum Leichtbau, aber zu welchem Grad sie ihn erreichen, ist oft fraglich“, sagt Weise. Bei Vestas habe man einen guten Weg gefunden, um bei gleichbleibend hoher Qualität der Flügel Material und Kosten zu sparen. „Wir haben die Fertigung im Griff und einen sehr hohen Automatisierungsgrad.“ So werde teures Karbon nur da eingesetzt, wo es wirklich Mehrwert bringe – in der Hauptspannungsebene des



Tragbalkens, erklärt Weise. Außerdem nutzt Vestas vorimprägnierte Fasern, so genannte Prepregs. Sie sparen Produktionsaufwand, weil sie bereits als mit Kunstharzen getränkte Fasermatten geliefert werden und sofort verarbeitet werden können. Im gängigen Produktionsprozess werden zuerst trockene Glasfasergelege in Blattschalen, also in die großen aerodynamischen Außenflächen des Blatts, gelegt. Erst in einem zweiten Schritt wird dann flüssiges Harz mit Unterdruck in die Fasern gebracht.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (Iwes) in Bremerhaven sehen weitere Möglichkeiten, die Produktion zu optimieren. „Die Fertigungskosten der Blätter können um bis zu zehn Prozent sin-

ken“, erklärt Iwes-Experte Roman Braun. Im Projekt „Blademaker“, das das Bundesumweltministerium (BMU) von 2012 bis 2017 mit acht Millionen Euro fördert, erkunden Iwes-Wissenschaftler deshalb gemeinsam mit Industrie- und Forschungspartnern, wie sich Blätter günstiger, schneller und in höherer Qualität produzieren lassen. Ein Augenmerk liegt auf dem Schlüsselprozess der Faserablage: Die Glasfasergelege werden heute in hohen Massen per Hand in Formen gelegt. Ab 2015 wollen die Forscher in einem neuen Demonstrationszentrum in Bremerhaven testen, ob es wirtschaftlicher ist, die Gelegebahnen maschinell von einer Rolle ablegen zu lassen. Ein weiterer Fokus liegt auf dem Transport und der Flügelmontage. „Unsere Idee ist, ▶



**Vertrauen ist gut...** : Nach dem Lackieren werden die Blätter von Experten in Augenschein genommen.



”

## Die Fertigungskosten der Blätter können um bis zu zehn Prozent sinken.“

Roman Braun, Fraunhofer Iwes

den Schäumungsprozess für Blattschalen direkt in die Fertigung zu integrieren, um Transportkosten zu vermeiden“, so Braun. In den Blattschalen werden Sandwichkonstruktionen verwendet. Sandwich bedeutet, dass innen und außen Laminatschichten

sind und dazwischen ein dicker, aber sehr leichter Kernwerkstoff, meist Balsaholz oder

Hartschaum. Bislang werden diese Schäume bei einem Materialhersteller gefertigt und dann an den Blatthersteller geliefert, was ein sehr hohes Transportvolumen erfordert und ein weiterer Veredelungsschritt ist, der zu hohen Materialkosten führt.

### Logistik-Vorreiter Enercon

Turbinenhersteller Enercon zeigt mit seiner neuen E-115-Binnenlandmaschine, in welche Richtung die Entwicklung bei der Logistik gehen könnte. Die 2,5-Megawatt-Anlage verfügt wie die E-126 über ein teilbares Rotorblatt. Ziel sei es, mit dieser Maschine auch schwer erreichbare Standorte zu wirtschaftlichen Kosten zu bedienen, heißt es bei Enercon. Durch das teilbare

Blatt verringere sich die Länge der zu transportierenden Komponenten, was wiederum weniger Aufwand und Kosten beim Ausbau der Zuwege bedeute. Während das äußere Blattsegment auf herkömmliche Art im Vakuuminfusionsverfahren in Sandwich-Bauweise produziert wird, setzt Enercon bei der Herstellung des inneren Segments eine neue Wickeltechnik ein. Dabei werden vorgetränkte Glasfasergelege von einer Maschine um ein Urmodell gewickelt, bis die lasttragende Struktur entsteht. Das Urmodell gibt die Kontur des Bauteils vor, in der es später entstehen soll. Auf der Baustelle werden Außen- und Innenblatt schließlich mit Quer- und Längsbolzen miteinander verschraubt.

Die Montage der für seine Turbinen typischen Hinterkantensegmente, die Schallemissionen reduzieren und den Ertrag der Anlage steigern, verlegt Enercon bei der E-115 hingegen ins Werk vor. Dadurch soll sich der spätere Anlagenaufbau beschleunigen. Damit sich das Blattteil mit dem montierten Hinterkantensegment gut zur Baustelle fahren lässt, haben die Enercon-Ingenieure das Profil der Hinterkante zum Blattflansch hin abgeflacht. Außerdem wurde das Blatt zur Spitze hin stark verjüngt. So schlägt Enercon zwei Fliegen mit einer Klappe. Denn das schlankere Blatt lässt sich nicht nur besser transportieren, sondern reduziert im Betrieb auch die Windspitzenlasten.

Aus Sicht der Forscher und Entwickler sind Blätter mit Karbonholmen, wie sie SPP konzipiert hat und auch Vestas einsetzt, oder Enercons schlankere Profile jedoch nur die ersten Schritte auf dem Weg zum optimalen Rotorblatt-Design. „Es sind weitreichendere Innovationen möglich“, erklärt Georgios Pechlivanoglou, Technikchef des Blattentwicklers Smart Blade und wissenschaftlicher Leiter für Windenergie am Fachgebiet Experimentelle Strömungsmechanik der Technischen Universität Berlin. Zahlreiche Forschungsgruppen und Spezialfirmen befassen sich mit der Frage, wie sich der Wind besser einfangen lässt oder Blätter länger werden können. Smart Blade und die TU Berlin erforschen in einem gemeinsamen Projekt mit dem US-Technologiekonzern 3M, inwieweit so genannte Wirbelstromgeneratoren den Ertrag von Turbinen erhöhen können. Die kleinen, dreieckigen Bauteile werden wie ein Zaun in einer Linie von der Blattwurzel







**Teamarbeit:** Hier – wie auch auf dem Bild links – wird während des Baus des Hauptbalkens eine perforierte Folie angebracht.



**Nicht nur ein Männerjob:** Jutta Roga beim Bau von Flanken für die Flügelhülle.

an in Richtung Blattmitte auf die Flügel geklebt. Dreht sich der Rotor, erzeugen sie in der Grenzschicht direkt über der Flügeloberfläche kleine Tornados, die der vorbeiströmenden Luft mehr Energie geben – so wird ein Strömungsabriss vermieden und der Auftrieb nimmt zu. „Nach ersten Auswertungen kann der Ertrag einer Turbine auf diese Weise um zwei bis fünf Prozent steigen“, sagt Pechlivanoglou.

Im BMU-geförderten Projekt „Smart Blades“ entwickeln Forscher von Forwind, des Iwes und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wiederum Rotorblätter, die ihre Form verändern, wenn der Wind auftritt. „Wir modifizieren die Blätter so, dass sie sich exakt an dem Punkt verwinden, wo die Last entsteht“, erklärt Iwes-Forscher Alper Sevinc. Um diese Biege-Torsions-Kopplung zu erreichen, seien zwei Ansätze denkbar: Zum einen ließen sich Blätter in Sichelform konstruieren. So können sie sich bei Belastung leichter lokal verdrillen. Zum anderen könnten neue Materialkombinationen oder neue Faserverlegetechniken diesen Effekt begünstigen. „Wir wollen im Laufe des Projekts beide Ansätze miteinander vergleichen und in ein Modell eines Demonstrationsblatts mit 20 Metern Länge einfließen lassen“, erklärt Sevinc.

### **Intelligente Flügel**

Die Überlegungen der Wissenschaftler gehen noch weiter: Bei den Großrotoren streicht der Wind nicht gleichmäßig über die Fläche, Richtung und Stärke schwanken kontinuierlich. Bei Sturm kann die Differenz der Windgeschwindigkeit innerhalb der Rotorfläche 20 bis 40 Meter pro Sekunde ausmachen – das pauschale und relativ langsame Verstellen des gesamten Rotorblatts, das so genannte Pitchen, kann diese Unterschiede nicht berücksichtigen. Im Rahmen von Smart Blades erproben die Forscher daher auch bewegliche Vorflügel und Hinterkanten, die die lokale Strömung genauer und schneller beeinflussen können. „Sehr große Rotorblätter, die mit solchen Mechanismen ausgestattet sind, können gezielt Böen ausregeln und Leistungsschwankungen verringern. Dadurch kann die Schadensanfälligkeit reduziert und eine längere Lebensdauer erreicht werden“, erklärt DLR-Forscher Jan Teßmer.

Das größte Potenzial der Strömungsbeeinflussung verspricht sich Thorsten Spehr, Geschäftsführer des Berliner Turbinenentwicklers Tembra, von der flexiblen Hinterkante. „Sie hält am bes- ▶

Weiter auf Seite 40



Fertiges Rohbauteil, noch in der Form: Mike Heintke und Sven Kullrich vor der Blattwurzel.

## China – weltgrößter Produzent von Rotorblättern

China ist ein gigantischer Markt für Windkraftanlagen geworden: Wie der Finanzinformationsdienst Mercom meldet, wurden 2013 Mühlen mit insgesamt 15 Gigawatt (GW) Leistung installiert, ein Zuwachs um 25 Prozent. 2014 sollen bis zu 20 GW neu dazu kommen. Gleichzeitig habe sich China dank staatlicher Subventionen und billiger Arbeitskräfte zum größten Produzenten für Rotorblätter entwickelt: Ein Viertel der weltweit produzierten Rotoren kommt aus dem Reich der Mitte. Die stammen aber nicht nur von chinesischen Firmen. Auch europäische Unternehmen produzieren in China. So fertigt Siemens seit 2010 eigene Rotorblätter der 2,3- und 3,6-Megawatt-Klasse in Shanghai.

Doch auch ohne Hilfe aus dem Ausland haben chinesische Hersteller aufgeholt. Sie lassen immer wieder aufhorchen etwa mit Rekorden im Rennen um das längste Rotorblatt und immer häufiger auch mit Innovationen. So hat die LZFRP Group etwa ein Rotorblatt mit Bambus als lasttragendem Werkstoff entwickelt.

Die Hoffnung der etablierten Hersteller aus Europa, Qualität und Haltbarkeit chinesischer Rotorblätter könnten deutlich schlechter sein, scheinen sich nicht zu erfüllen. Experten sehen nur geringe Unterschiede. Ob sich die Blätter made in China hierzulande in großen Stückzahlen durchsetzen werden, ist aber fraglich, denn der weite Transport frisst Kostenvorteile auf. **(bm)**

## Flügelproduktion – je nach Hersteller variiert die Konstruktionstechnik

Im Rahmen der Rotorblattproduktion werden in der Regel Druck- und Saugseite separat hergestellt. Anschließend werden die beiden Blatthälften mithilfe von Spezialklebstoff verbunden. Da die Blatthälften im Betrieb (Verbiegung) die Tendenz haben, sich gegenseitig zu verschieben, werden innerhalb des Blattes in Längsrichtung so genannte Schubstege zur Stabilisierung verbaut. Die einzelnen Hersteller setzen verschiedene Arten der Gestaltung

und Anzahl dieser Stege ein. Siemens weicht von dieser seit langem angewandten Rotorblatt-Bauweise ab und produziert in einem Stück ohne Verklebungen. Die Kombination aus Stegen und Blattoberfläche (Gurt) bildet ein Kastenprofil, welches die Kräfte aufnimmt und zur Rotornabe leitet. Ein Tragholm nimmt die gleiche Aufgabe wahr, wobei die Blattoberfläche keine statische, sondern nur eine aerodynamische Funktion erfüllt.

Hersteller	Verklebung von Saug- und Druckseite	Tragholm	Schubstege	Matrix	Herstellung
Vestas	X	X (CFK)		Epoxydharz	Prepreg
Siemens			X	Epoxydharz	Vakuuminfusion
Nordex	X		X	Epoxydharz	Vakuuminfusion
Enercon	X		X	Epoxydharz	Vakuuminfusion
LM	X		X	Polyesterharz	Vakuuminfusion

Quelle: BWE

**B E R G M A N N**  
Attorneys at Law

**Die Rechtsanwälte der Industrie**  
Anlagenbau. Energie. Technologie.

**Bergmann Attorneys at Law** 00130 Helsinki office@bergmann.fi  
Eteläranta 4 B 9 Tel. +358 9 6962 070 www.bergmann.fi



**Herzstück:** Christian Schwengberg (l.) und Andre Biele beim Bau des Midroot, einem Teilstück des Trägersegments.

”

**Mit Wirbelstromgeneratoren kann der Ertrag einer Turbine um zwei bis fünf Prozent steigen.“**

Georgios Pechlivanoglou, Smart Blade

ten den Umweltbedingungen und hohen Lastwechseln stand“, so der Ingenieur. Noch ist das Konzept bei Tembra aber im Forschungsstadium. Form, Material, Befestigung und Energieverbrauch gehören zu den Herausforderungen. Zu-

dem muss die flexible Hinterkante robust und zuverlässig sein, um extremen Umweltbedingungen wie Eis, Schnee und Salz in Kombination mit starkem Wind zu trot-

zen. „Bis zum fertigen Produkt ist es noch ein großes Stück Arbeit“, sagt Spehr. Eine Markteinführung sei frühestens in fünf Jahren möglich.

Intelligent, sprich steuerbar, sind die Rotorblätter damit aber noch nicht. Das wird erst durch eine computergestützte Steuerung der Kompo-

nenten aufgrund der gemessenen Windverhältnisse erreicht. Sensoren oder die laseroptische Windmesstechnik Lidar (Light Detecting and Ranging) können die Windverhältnisse ermitteln (neue energie 11/2013). Lidargeräte senden einen infraroten Laserstrahl aus, um die Windgeschwindigkeit vor den Blättern zu messen. Die Daten werden einer Steuerung zugespielt. Sie koordiniert die Blätter so, dass die Rotordrehzahl auch bei schwankendem Wind nahezu konstant bleibt. Die Entwicklung von Lidargeräten und passenden Kommunikationslösungen steht aber erst am Anfang. Forscher des Instituts für Flugzeugbau der Universität Stuttgart haben den ersten Prototypen zu Testzwecken soeben auf einer Areva-Anlage im Offshore-Windpark Alpha Ventus installiert. Das Rotorblatt der nächsten Generation wird die Entwicklungsabteilungen noch eine Weile beschäftigen. ◀