

„Schaltbare“ Härter verbessern Rotorfertigung



Rotorblatt einer Windenergieanlage auf Basis von faserverstärkten Epoxidharzen
(alle Fotos und Quellen: BASF)

Windenergieanlagen.

Rotorblätter für Windenergieanlagen werden immer größer und schwerer.

Trotz dieses Gewichtszuwachses sind die technischen Grenzen noch lange nicht erreicht. Mit neuartigen Faserverbundwerkstoffen auf Basis von Epoxidharz-Systemen können nun die notwendigen Materialeigenschaften eingestellt werden. Ein darauf speziell angepasstes Härtersystem ermöglicht gleichzeitig deutlich kürzere Zykluszeiten und erhöht so die Produktivität.

GREGOR DAUN

Der Boom der Windenergienutzung ist ungebrochen: Ende 2008 waren rund um den Globus Anlagen mit einer Gesamtleistung von 120 Gigawatt (GW) installiert, gegenüber 2007 ein Zuwachs von nahezu 30 %. In ihrer Studie „Offshore-Windparks in Europa“ kommt die Wirtschaftsprüfungsgesellschaft KPMG zu dem Schluss, dass „die Windindustrie derzeit eine der am dynamischsten wachsenden Branchen weltweit“ ist. Schon 80 Länder nutzen den Wind zur Stromerzeugung. Laut Einschätzung der World Wind Energy Association (WWEA, Bonn) stellt Windkraft bereits mehr als 1,5 % der gesamten Elektrizität zur Verfügung. An führender Position rangiert Deutschland, gefolgt von den USA, Spanien, China und Indien. Diese Länder sind für drei Viertel der installierten Leistung verantwortlich. Bis 2040, so die WWEA, soll es möglich sein, den gesamten Strombedarf der Erdbevölkerung mit Wind und anderen regenerativen Energien zu decken. Demzufolge sei der rapide Ausbau der Windenergie die notwendige Antwort auf die

derzeitige Finanzkrise und die anhaltende Energiekrise.

Derzeit beherrschen zwei Trends die Entwicklung der Windenergie: Die Anlagen werden immer größer, um höhere Leistungen an den einzelnen Standorten zu erzielen, und die Windkraft zieht aufs Meer. Mit Repower und Enercon bieten die ersten Hersteller Anlagen mit fünf bzw. schon sechs Megawatt (MW) Leistung an. Entsprechend beeindruckend fallen die Abmessungen der Rotoren aus: Die Repower 5M hat einen Rotordurchmesser von 126 m Länge, die einzelnen Blätter sind 61,5 m lang. Bei der Enercon E-126/6 MW sind die Abmessungen ähnlich: Rotordurchmesser 127 m, Blattlänge 58 m. Doch diese gewaltigen Dimensionen sind offenbar noch nicht das Ende der Möglichkeiten. Enercon unter-

sucht bereits, ob sich auf Basis der E-126 auch 8 MW Leistung realisieren lassen. Andere Konstrukteure denken schon über 10, 12 oder 15 MW nach. Das Ziel für das Jahr 2020 lautet 20 MW. Genau diese Vision verfolgt auch das europäische Projekt „UpWind“, das 2006 gestartet wurde und noch bis 2011 läuft. „UpWind“ ist das wichtigste Projekt der europäischen Forschungszusammenarbeit auf dem Gebiet der Windturbinenentwicklung. Die neuen Riesen sind insbesondere für die Aufstellung auf See gedacht, weil hier der Wind stärker und gleichmäßiger weht.

Die Rotorblätter werden immer größer, weil ein doppelt so langes Blatt eine viermal so große Fläche überstreicht und damit der Windströmung viermal so viel Energie entnehmen kann. Gleichzeitig ist ein doppelt so langes Blatt aber in der Regel auch etwa viermal so schwer: Während ein 30-Meter-Blatt 4 bis 5 t wiegt, bringt ein 60-Meter-Blatt bereits knapp 20 t auf die Waage. Trotz dieses Gewichtszuwachses sind die technischen Grenzen – insbesondere durch die Verwendung neuer Materialien wie Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoffe – noch lange nicht erreicht. Es gibt Konzepte für 70-Meter-Blätter und Prüfstände für Blätter bis 90 m. Bei etwa 60 m Länge sind die Möglichkeiten der

i	Hersteller
<p>BASF SE Unternehmenskommunikation Intermediates Division D-67056 Ludwigshafen Tel. +49 621 60-95138 Fax +49 621 60-95188 www.basf.com</p>	

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
 Dokumenten-Nummer KU110146

Verstärkung durch Glasfasern fast ausgereizt, darüber hinaus kommen öfter Kohlenstofffasern zum Einsatz, die aber etwa fünfmal teurer sind.

Epoxidharze ermöglichen große Rotorblätter

Doch Grenzen nach oben setzen nicht die Werkstoffe. Die wahren Gründe sind eher wirtschaftlicher Natur, da die Profitabilität einer Anlage nur teilweise mit dem Blattdurchmesser wächst. Größere Anlagen sind zwar effizienter, aber auch teurer im Transport und im Aufbau, sodass die Profitabilität von vielen Faktoren beeinflusst wird, die im Rotorenbau von großer Bedeutung sind. Um diese Herausforderung in den Griff zu bekommen, hat die BASF, Ludwigshafen, maßgeschneiderte Epoxidharz-Systeme zur Herstellung von groß dimensionierten Rotorblättern entwickelt, die inzwischen vom Germanischen Lloyd zugelassen worden sind.

In Europa spielen mittlerweile bei vielen Ländern Ausbaupläne auf See eine wichtige Rolle. Die Studie „Delivering Offshore Wind Power in Europe“ der European Wind Energy Association (EWEA, Bonn) prognostiziert, dass bis

höher belastbaren faserverstärkten Materialien auf Basis von Epoxidharzen abgelöst, um die notwendigen Materialeigenschaften für Spannweiten der Rotoren von über 100 m zu erreichen. Der BASF ist es nun gelungen, neuartige Epoxidharz-Systeme zu entwickeln, die einerseits eine lange Verarbeitungsphase zur Fertigung der immer größer werdenden Rotorblätter ermöglichen, andererseits eine kurze Härtingszeit aufweisen, um die Zykluszeiten zu verringern. Der einzelne Zyklus lässt sich so um ca. 30 % verkürzen.

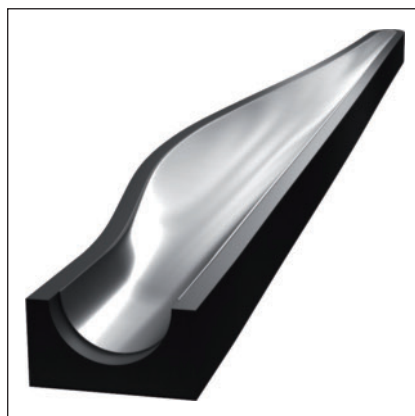


Bild 1. Form zur Herstellung faserverstärkter Rotorblätter

Form zu einem hochfesten Kunststoff reagieren. Das Gesamtsystem aus Systemmatrix und Fasern bildet den Faserverbundwerkstoff, der die notwendige mechanische Stabilität erreicht.

Latente Härterssysteme erhöhen Produktivität

Für das Tränken der Fasern gibt es im Wesentlichen vier verschiedene Prozesse: Beim Laminieren werden trockene Gelege in der Form nacheinander von Hand

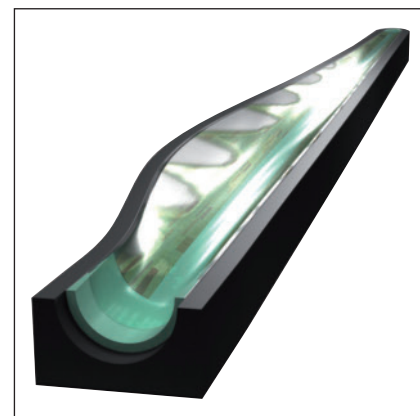


Bild 2. In der Form mit Epoxidharz getränkte Fasergelege

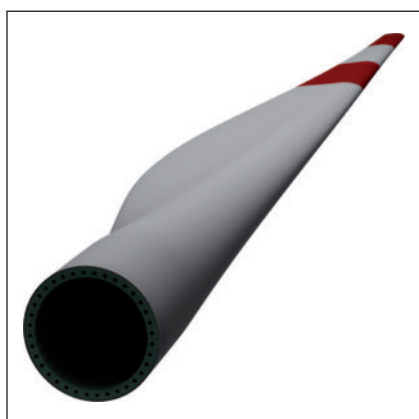


Bild 3. Die äußere Schicht des hohlen Blatts erfüllt die aerodynamische Funktion

2020 zwischen 20 und 40 GW Offshore-Anlagen am Netz sein werden. Bis Ende 2008 waren nach einer Übersicht der Siemens AG Anlagen mit einer Leistung von 373 MW auf dem Meer installiert, in diesem Jahr sollen es schon 1050 MW werden und danach weiter stürmisch wachsen. Für 2014 erwartet Siemens Wind neu installierte Anlagen mit einer Gesamtleistung von 4200 MW.

Vor diesem Hintergrund sind auch die Materiallieferanten insbesondere für die Fertigung der Rotorblätter gefordert. So wurden konventionelle Polyesterharz-basierte Verbundwerkstoffe zunehmend von

Die Kräfte, die schon bei einem 40-Meter-Blatt auftreten, sind enorm: Neben der Gewichtskraft von ca. 70 kN (das entspricht dem Gewicht von fünf VW-Golf) und der nach außen gerichteten, umdrehungsabhängigen Zentrifugalkraft wirkt vor allem die senkrecht dazu wirkende, von der Windstärke abhängige Windlast: Die Windkräfte können an der Blattwurzel zu einem Biegemoment von ca. 6000 kNm führen, was der Hebelwirkung von elf VW-Golf an der Blattspitze entspricht. Um diese Anforderungen zu beherrschen, werden heute üblicherweise Epoxidharz-Systeme verwendet, in die in erster Linie Glasfasergelege zur Verstärkung eingebracht werden. Diese Lagen von Glasfasern sind nicht miteinander verwoben, sondern nebeneinander bzw. in mehreren Lagen aufeinander gestapelt und mit wenigen Fäden fixiert, um ein Biegen der Fasern zu vermeiden. Daneben werden noch in viel geringerem Umfang auch Kohlefasern verwendet, die aber nicht nur deutlich teurer, sondern vor allem nur begrenzt verfügbar sind. Andere Typen wie Aramid- oder Basaltfasern spielen bislang keine Rolle. Bei der Herstellung großer Blätter werden die Fasern oder Fasergelege mit zwei flüssigen Komponenten getränkt, Harz und Härter, die miteinander nach Erwärmen in einer konturgebenden

mit in Epoxidharz-Systeme getauchten Rollen durchtränkt. Bei der Infusionstechnik werden die Epoxidharz-Systeme über ein Vakuum in die mit trockenen Gelegen belegte Form gesaugt (Bilder 1 und 2). Die dritte Möglichkeit besteht darin, die Gelege außerhalb der Form zu tränken, anhärtend zu lassen und halbfest in die Form zum finalen Aushärten zu legen (sogenannte Prepreg-Technologie). Besonders für runde, längliche Bauteile werden die Fasern getränkt, auf eine Form gewickelt und anschließend unter Wärmezufuhr ausgehärtet (Wickeltechnologie).

Mit diesen vier verschiedenen Technologien lassen sich in der Regel alle Hauptbestandteile eines Rotors fertigen. Dazu zählen insbesondere die dicke vielschichtige Wurzel des Blatts, die die Kräfte auf die Nabe überträgt, sowie die innere, tragende Struktur aus Stegen, Gurten oder Hohlteilen, die die wesentlichen Kräfte über die Länge des Blatts aufnimmt (Titelbild). Als dritte Komponente kommt die äußere Schicht (Bild 3) des an sich hohlen Blatts hinzu, die die aerodynamische Funktion erfüllt und mit der die Wurzel und Innenstruktur verklebt oder vergossen wird.

Die modernen, in der Windbranche eingesetzten Infusionssysteme bestehen aus zwei Teilen, dem Harz und einer Här-

terkomponente. Üblicherweise werden für die Härtung Amingemische eingesetzt, weil so die Anforderungen hinsichtlich mechanischer Stabilität und Verarbeitbarkeit gut erreicht werden können. Auch die neuen BASF-Systeme nutzen diese Verbindungsklasse. Unmittelbar vor der Infusion werden die beiden Komponenten miteinander in einem bestimmten Verhältnis gemischt und ab dann tickt die Uhr der sogenannten „Topf-“ oder

onstemperatur durch zugesetzte Additive wie Beschleuniger beeinflusst werden.

Die Anlagenbauer, die sich heute auf Offshore-Anlagen konzentrieren, streben überwiegend die Verwendung großer Blätter von mehr als 50 m Länge an, um die konstanteren Windströmungen auf dem Meer möglichst effektiv zu nutzen. Bei großen Strukturen wie der Hülle solcher großen Blätter stehen die Anwender bei Infusionsverfahren vor einem Dilem-

Weitere wirtschaftliche Vorteile

Die ersten Rotoren auf Basis der latenten Härter befinden sich bereits im Einsatz. Diese neu entwickelten Härterssysteme lassen sich sehr gut einstellen und verbessern dadurch das gesamte Handling. Unter dem Strich bedeutet das eine bessere Qualität, eine höhere Prozessstabilität und eine geringere Ausschussrate. Bisher wurden in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen wie der Temperatur verschiedene Härter zusammengemischt. Auch hier bietet das neue Baxxodur-System große Vorteile, weil es über einen deutlich größeren Temperaturbereich eingesetzt werden kann. So muss nicht jeden Tag die Härtermischung geändert und angepasst werden. Nicht zuletzt vereinfacht sich auch die Lagerverwaltung deutlich, weil nur noch ein Härter bevorratet werden muss.

Weitere Aufgaben im Segment der epoxidbasierten Faserverbundwerkstoffe bestehen in einer zusätzlichen Verbesserung der mechanischen Kennwerte und der Faser-Matrix-Anbindung. Damit soll das bestehende Eigenschaftsprofil noch ergänzt werden, das die latenten Systeme bereits bei der Rotorfertigung ermöglichen: große mechanische Belastbarkeit, deutlich verkürzte Zykluszeiten und hohe Produktivität. ■

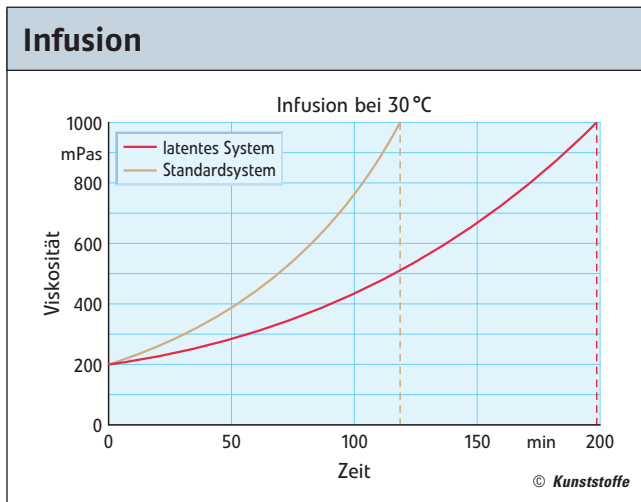


Bild 4. Das latente Härterssystem ermöglicht eine schnellere Infusion des Epoxidharzes in die Form bei längerer Verarbeitungszeit (Topfzeit) als Standardsysteme

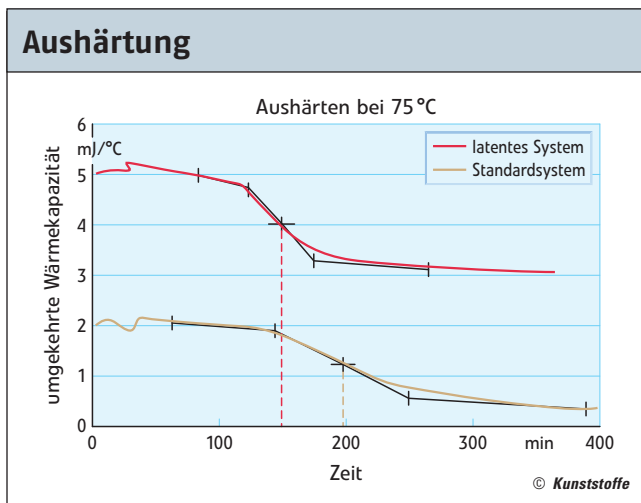


Bild 5. Das latente Epoxidharz-System härtet schneller aus als ein vergleichbares Standardsystem

Verarbeitungszeit, denn die Reaktion zwischen den beiden Komponenten beginnt langsam und steigert sich bei erhöhter Temperatur. Damit die Infusion vernünftig funktioniert, muss die Viskosität des Systems stimmen. Für diesen Zweck sind sogenannte Reaktivverdünner enthalten, die die Viskosität herabsetzen, aber gleichzeitig in der Vernetzungsreaktion mitreagieren. Die eigentliche Vernetzung oder Härtung des Harzes wird dadurch erreicht, dass die Amine mit den Epoxidgruppen zu dreidimensionalen Netzwerken reagieren; diese Reaktion kann in Abhängigkeit von der Reakti-

ma: Einerseits soll das Epoxidharz-System langsam reagieren, um die Form vollständig zu füllen, bevor es zu gelieren beginnt (Bild 4). Andererseits soll das Epoxidharz-System, wenn es einmal erwärmt wurde, rasch reagieren, um die Form schnell wieder für das nächste Blatt frei zu machen (Bild 5). Diese Quadratur des Kreises ließ sich auf chemischem Weg – erst langsam, dann schnell – über sogenannte latente Systeme erreichen. Dabei werden manche der Härter erst beim Überschreiten einer Grenztemperatur thermisch aktiviert, nachdem sie vorher „geschlafen“ haben.

DER AUTOR

GREGOR DAUN, geb. 1965, ist bei der BASF SE, Ludwigshafen, in der Intermediates Division als Business Manager Epoxy Systems tätig; gregor.daun@basf.com

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Hardeners „with a Switch“ Improve Rotor Production

WIND TURBINES. Rotor blades for wind turbines are becoming ever larger and heavier. In spite of these weight increases the technological limits have nowhere near reached. The necessary material properties can now be achieved using innovative fiber composite materials based on epoxy resin systems. A specially optimized hardener system also allows for significantly shorter cycle times and so increases productivity.

NOTE: You can read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and on our website by entering the document number **PE110146** at **www.kunststoffe-international.com**