Der Schwebe-Generator

Windmühlen bringen immer mehr Leistung. Wird auf das Getriebe verzichtet, geht das nur mit größeren Generatoren. Damit deren Gewicht nicht ins Unermessliche steigt, entwickeln Forscher in Kassel eine neuartige Konstruktion.

Text: Jörg-Rainer Zimmermann

Sie ebnen den Weg für die Turbinen-Giganten der Zukunft: Forscher der Universität Kassel und des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (Iwes) entwickeln Generatoren der nächsten Generation. Zehn Megawatt und mehr sollen Windturbinen in absehbarer Zeit an Leistung liefern (neue energie 4/2011). Weil solche Anlagen vor allem auf dem Meer zum Einsatz kommen sollen, müssen sie zugleich wartungsärmer sein. Viele Anlagenentwickler verabschieden sich deshalb vom Getriebe (neue energie 9/2010 und 5/2011). Dann aber müssen aus physikalischen Gründen die Generatoren immer größer werden. Nach Ansicht vieler Forscher kommt man deshalb mit den bisherigen Konzepten nicht weiter: „Generatoren getriebeloser Anlagen werden immer größer und schwerer. Es ist absehbar, dass die Gondeln bald 1000 Tonnen wiegen könnten. Das ist bautechnisch im Grunde nicht mehr zu realisieren“, umschreibt Iwes-Direktor Jürgen Schmid das Problem. Die Lösung, an der seine Forscher mit Kollegen von der Universität Kassel arbeiten, ist konsequent: Der Generator der Zukunft speckt radikal ab.

Aufwändige Forschung: An der Universität Kassel testen Assistentin Katharina Messoll und Windkraft-Pionier Siegfried Heier Segmente neuartiger Ringgeneratoren.

Dabei muss ein grundsätzliches Problem getriebeloser Anlagen gelöst werden: Die Umdrehungszahl der Blätter, die sich eins zu eins auf den Generator überträgt, setzt der zu erzielenden Energieausbeute enge Grenzen. Schmid erläutert die Zusammenhänge: „Im Generator wird die Bewegung der Blätter zu Strom umgewandelt. Drehen die Blätter schneller, wird mehr Strom erzeugt. Man kann die Leistung bei begrenzter Umdrehungszahl aber auch steigern, indem man die Generatoren mit immer größerem Durchmesser baut.“

> „Wir können das Magnetgewicht drastisch reduzieren.“
> Siegfried Heier, Universität Kassel

Bislang nimmt allerdings parallel zur Dimension auch die Masse zu. Beim Hersteller Enercon lässt sich das gut beobachten: Schon lange bauen die Auricher getriebelose Mühlen mit Ringgenerator, die zwecks Leistungssteigerung immer größer werden. Denn die Umdrehungsgeschwindigkeit der Blätter lässt sich nicht beliebig steigern – je schneller sie drehen, desto lauter wird es. Ein Effekt, den es aus Schallschutzgründen dringend zu vermeiden gilt.

Die Fraunhofer-Forscher sind überzeugt, dass kein Weg an größeren Generatoren vorbei führt – allerdings müsse man das Gewichtsproblem in den Griff bekommen, sagt Schmid. Das Problem illustriert er mit der Enercon E-126, die eine Nennleistung von 7,5 Megawatt (MW) hat. „Der Ringgenerator dieser Anlage wiegt rund 250 Tonnen, wobei die Gondel auf etwa 700 Tonnen kommt“, führt Schmid aus. Genau an diesem Punkt setzt das vom Bundesumweltministerium mit insgesamt 550 000 Euro geförderte und vom Forschungszentrum Jülich getragene Projekt „Magnetring“ an: Der entwickelte Generator hat einen noch viel größeren Durchmesser, aber bei deutlich niedrigerem Gewicht, erklärt Jürgen Schmid. 20 bis 24 Meter soll der Durchmesser für die geplante Zehn-MW-Anlage betragen. Zum Vergleich: Der Generator der E-126 hat einen Außendurchmesser von elf Metern.

Diese Abmessungen werden gewählt, um die Umdrehungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Denn bekanntlich ist die Geschwindigkeit am Rand einer sich drehenden Kreisfläche höher – bei der Windkraft

entspricht dies der von den Rotorblättern überstrichenen Fläche. Zum Mittelpunkt hin nimmt das Tempo, also der in einer bestimmten Zeit absolvierte Weg, ab. Ein kompakter, direkt an der Rotorachse gelagerter Generator, der ohne Getriebeübersetzung arbeitet, bietet bei sonst gleichen Voraussetzungen also zwangsläufig aufgrund des kleineren Radius eine geringere Stromausbeute als ein Ringgenerator mit großem Radius.

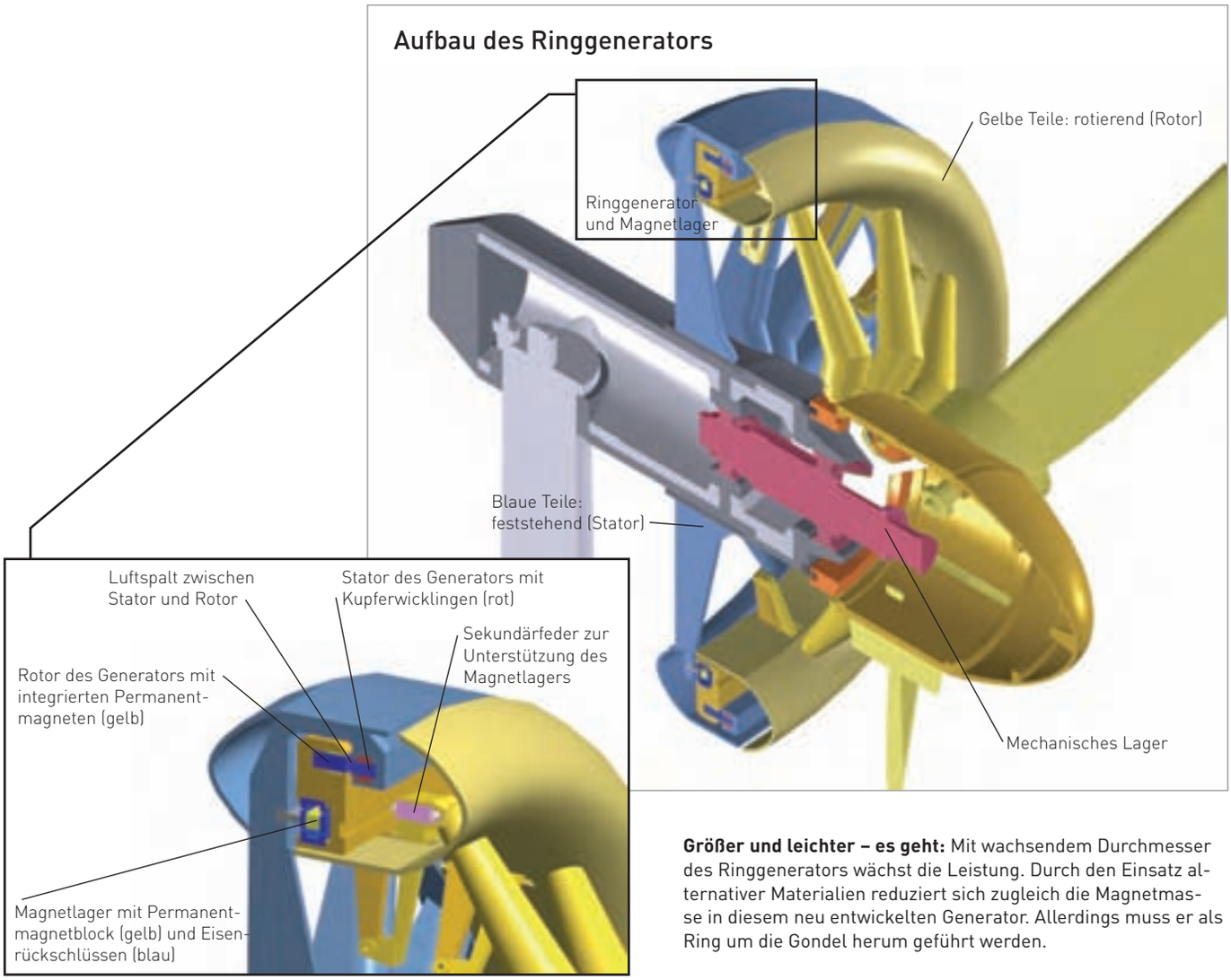
Wählt man einen solchen großen Radius, verändert sich das gesamte Erscheinungsbild der Anlage: Der Zehn-MW-Generator der Kassler Forscher wird als verhältnismäßig schlanker Ring um die Gondel herum geführt und von Streben gehalten (siehe Grafik). Dennoch soll die elektromagnetisch aktive Masse mit maximal 20 bis 25 Tonnen nur einen Bruchteil des sonst üblichen Gewichts haben, erklärt Siegfried Heier. Der Windenergieexperte an der Universität Kassel hat schon in den späten 1970er Jahren an der Entwicklung der berühmten Growian-Anlage mitgearbeitet.

„Die alten Generator-Konzepte haben einen Endpunkt erreicht."
Jürgen Schmid, Fraunhofer Iwes

Die Gewichtsreduktion ist durch den Einsatz hocheffizienter Materialien möglich, sagt Heier. Üblicherweise kommen für die Magnetspulen Eisen und Kupfer zum Einsatz. Mittels Stromzufuhr wird dann ein Magnetfeld erzeugt – man spricht von „fremderregt". Die Kasseler Konstruktion setzt stattdessen Permanentmagnete ein, also Materialien, die ohne Zufuhr elektrischer Energie ständig magnetisch wirken. Üblicherweise beträgt die elektromagnetisch aktive Masse bei klassischen Konzepten weit über fünf Kilo je Kilowatt (kW) – dazu kommt das Gewicht der konstruktiven Bauteile. Wird Kupfer und Eisen allerdings durch das Material Neodym ersetzt, rechnet man mit 0,3 bis 1,2 Kilo Magnetmaterial je kW. Das zeigen Erfahrungswerte aus bereits realisierten Windturbinen mit Permanentmagneten. ▶

Fotos: Universität Kassel, Paul-Langrock.de

Schwere Sache: Größere Anlagen benötigen auch immer größere Ringgeneratoren. Hier ein Blick in die Magdeburger Enercon-Produktionsstätten.



Größer und leichter – es geht: Mit wachsendem Durchmesser des Ringgenerators wächst die Leistung. Durch den Einsatz alternativer Materialien reduziert sich zugleich die Magnetmasse in diesem neu entwickelten Generator. Allerdings muss er als Ring um die Gondel herum geführt werden.

Dass Neodym jüngst für Negativschlagzeilen sorgte, ist den Generatoren-Forschern durchaus bewusst. Die Bedingungen, unter denen das zu den Seltenen Erden gehörende Material vor allem in China abgebaut wird, sorgten für Kritik, weil Umwelt und Arbeiter massiv geschädigt wurden (neue **energie** 12/2010). „Aufgrund weiterer konstruktiver Verbesserungen senken wir den Neodym-Bedarf in der aktiven Masse jedoch auf 0,08 bis maximal 0,15 Kilo je Kilowatt“, betont Katharina Messoll, wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Uni Kassel. Zudem setze man darauf, dass sich im Laufe der nächsten Jahre die Situation bei der Neodym-Gewinnung deutlich verbessere, auch wegen des hohen öffentlichen Drucks auf die verantwortlichen Firmen.

Neben dem größeren Durchmesser und der Verringerung der benötigten Materialien bietet das Kasseler Konzept eine weitere Optimierung: Der obligatorische, wenige Millimeter große Luftspalt zwischen den beiden Hauptelementen jedes Generators, dem unbeweglichen Stator, auf dem die Magnetspulen sitzen und dem beweglichen Rotor, wird noch kleiner als bisher. Damit steigt die Stromausbeute zusätzlich. Der magnetische Fluss hat schlicht einen kürzeren Weg zwischen den Bauteilen zu überwinden.

„Es ist leicht vorstellbar, dass schon jetzt die Fertigungspräzision vor große Herausforderungen gestellt ist“, macht Heier deutlich. Generatoren wie in der E-126 haben die Ausmaße von Mehrfamilienhäusern. Dennoch lägen üblicherweise zwischen Stator und Rotor maximal 20 Millimeter Abstand, so Heier. Und dieser Abstand könne sich je nach Witterungsverhältnissen und entsprechender Ausdehnung des Materials schnell verändern. Da ist auf allen Stufen höchste Sorgfalt gefragt.

Die Kasseler Forscher reduzieren diesen Abstand durch eine magnetische Lagerung zusätzlich auf höchstens zehn Millimeter – und vergrößern damit die Energieausbeute um mindestens das Doppelte. Um zugleich die Herausforderungen in Fertigung und Montage zu lösen, setzen sie auf die Technologie des Transrapid. „Wir konnten die Krämer Energietechnik GmbH aus Zierenberg als Partner gewinnen, die aus der Transrapid-Gesellschaft ausgegliedert wurde und über das für uns relevante Know-how verfügt“, erklärt Heier. Um was geht es dabei? Beim Transrapid sorgen Magnetkräfte dafür, dass die Bahn das Schweben lernt. In dem Kasseler Generator sollen nun Stator und Rotor auf ähnliche Weise

Grafik: Universität Kassel

auf Distanz gehalten werden, was zusätzlich Gewicht spart – bislang war dies nur mittels einer massiven Stahlkonstruktion möglich.

Ein weiterer Vorteil gegenüber klassischen Generatorkonzepten: Die Bauteile sind einzeln tauschbar. „Beim Stator betrifft dies etwa die Magnetspulen, die wie beim Transrapid sehr kompakt ausgeführt sein müssen. Wir verfügen zur Herstellung bereits über die technischen Vorrichtungen, die die Uni Kassel benötigt“, bestätigt der Chef von Krämer Energietechnik, Joachim Krämer. Zudem bringe man die Erfahrung mit, Generatoren vor extremen Umwelteinflüssen zu schützen.

Bis die Super-Generatoren zum Einsatz kommen, wird es allerdings noch etwas dauern. 2015 ist angepeilt. In einem ersten Schritt haben die Forscher an einzelnen Generator-Segmenten aus Krämers Fertigung ihre Berechnungen überprüft. „Im nächsten Schritt wollen wir 2012 einen kleineren Generator mit ein bis zwei Metern Durchmesser bauen“, erklärt Heier. Bewährt sich dieser Prototyp, wolle man Hersteller ansprechen. Aufgrund der Leistungsstärke der Generatoren und der hohen Entwicklungskosten ist zunächst an Offshore-Anwendungen gedacht. „Wenn man mit der Technik genug Erfahrung gesammelt hat, kann man aber auch wieder den Weg zurückgehen und sie in kleineren Onshore-Anlagen einsetzen“, ist Heier überzeugt.

„Neodym kommt bei uns aus Kostengründen nicht zum Einsatz.“
Lars Mach, Goliath Wind Ltd.

An Lösungen für dieses Segment arbeiten auch andere. Die 2009 gegründete Goliath Wind aus Estland versucht, ein Konzept zu realisieren, das ursprünglich an der Universität Durham in England entwickelt wurde. Ähnlich wie bei dem Fraunhofer-Projekt sollen bei dem Goliath-Generator die einzelnen Komponenten leicht auszutauschen sein und im Vergleich zu herkömmlichen Konzepten weniger wiegen. Die Ersparnis betrage rund 30 Prozent, sagt Geschäftsführer Lars Mach. Zudem wolle man aus Kostengründen auf Neodym verzichten. Immerhin koste ein Kilo des Materials je nach Qualität zwischen 100 und 150 Euro. Weitere Details verrät der Firmenchef nicht, er bereitet gerade die Patentierung für die neue Konstruktion vor.

Neben dem Antriebsstrang, den er in Estland produzieren möchte, wird Mach die meisten anderen Komponenten bei Zuliefer-Firmen kaufen. Schon im kommenden Jahr, so der Geschäftsführer, sollen Prototypen einer Drei-MW-Anlage für den Onshore-Einsatz errichtet und vom Germanischen Lloyd Hamburg zertifiziert werden. Von diesem Zeitpunkt an seien die Bestellungen möglich, wirbt er. Geht alles gut, soll Goliath seinem Namen alle Ehre machen. „Es ist leicht vorstellbar, dass wir irgendwann den Weg auch in Richtung Offshore beschreiten. Mit Zehn-MW-Anlagen oder mehr“, erklärt der Unternehmer. ◀