



Unschlagbar günstig: Neuseelands West Wind Farm produziert Elektrizität zum Preis von Kohlestrom – was vor allem dem starken Wind zu danken ist. Doch Ingenieure wie Per Egedal (rechts) tüfteln schon an Innovationen, mit denen dies auch weltweit gelingen soll.

Bausteine für mehr Effizienz | Windenergie

Die Geheimnisse der Windmacher

Schon heute sind weltweit fast 200 Gigawatt Windleistung installiert – bei vollem Wind entspricht das 200 Großkraftwerken. In Deutschland kommt jede zehnte Kilowattstunde von den weißen Riesen. Doch oft ist Windstrom noch teurer als Kohlestrom. Ingenieure von Siemens Wind Power suchen daher nach neuen Wegen, die Windmaschinen zu optimieren.

Es muss etwas Besonderes sein an den 62 Windrädern, die sich unermüdlich auf der West Wind Farm, 15 Kilometer westlich von Neuseelands Hauptstadt Wellington drehen. Schließlich haben sie eine Weltreise hinter sich: von Brande in Dänemark bis nach Neuseeland, etwa 20.000 Kilometer. 62 Turbinen, jede mit einer Leistung von 2,3 Megawatt (MW). Mit den 140 MW ließe sich eine Stadt mit 70.000 Häusern versorgen. Und das zum Preis von Kohlestrom, zumindest hier auf der West Wind Farm.

Der günstige Strom ist zum einen dem besonders guten Wind geschuldet, der in der Region um Wellington gleichmäßig und kräftig bläst. Und zum anderen der Tatsache, dass es

sich bei den Windrädern um Hightech-Turbinen von Siemens handelt, in denen eine Menge Expertenwissen und Ingenieursarbeit steckt. Das beginnt bereits bei den Rotorblättern: Die Fiberglas-Flügel wurden in einem Stück hergestellt, ganz ohne Naht. Das macht sie besonders widerstandsfähig, denn so haben sie keine Schwachpunkte, an denen die Flügel brechen könnten. Auch beobachten Sensoren an der Nabe und in der Gondel permanent die Betriebsparameter der Anlage und schlagen bei verdächtigen Abweichungen Alarm. Denn wie alle Siemens-Anlagen sind auch die der West Wind Farm auf zwanzig Jahre Lebensdauer ausgelegt, sie müssen also mehrere hundert Millionen Drehungen aushalten.

Windenergie zählt zu den aussichtsreichsten erneuerbaren Stromquellen. In Deutschland liefert sie bereits zehn Prozent des Stroms, in Dänemark, dem „Geburtsland“ der Windkraft, sogar fast ein Viertel, und China ist inzwischen zum größten Windmarkt der Welt aufgestiegen. Weltweit sind knapp 200 Gigawatt (GW) installiert – derzeit verdoppelt sich alle drei Jahre die Leistung. Die EU-Kommission schätzt, dass bis 2030 allein im Meer vor Europas Küsten 135 GW installiert sein können. Das ist fast so viel wie die gesamte installierte Kraftwerksleistung in Deutschland, die derzeit bei 170 GW liegt. Bis 2050 könnte sich laut EU-Kommission der Windstromanteil in Europa sogar von derzeit fünf auf 50 Prozent verzehnfacht

haben. Dabei wird viel investiert: Allein bis 2020, so schätzt der Europäische Dachverband der Windenergiebranche EWEA, werden sich die jährlichen Investitionen in der EU auf 26 Milliarden Euro verdoppeln. Das bedeutet jedoch nicht, dass überall neue Windparks entstehen. Ein großer Teil des Zuwachses wird durch „Repowering“ generiert, also durch den Austausch alter durch neue, leistungsfähigere Anlagen.

Hightech-Schmiede im Hinterland. Eine Hochburg der Windenergie liegt in Dänemark. Brande ist ein kleines Städtchen und auf den ersten Blick eine beschauliche Backsteinidylle mitten in einer Hügellandschaft zwischen Nord- und Ostsee. Doch am Ortsrand beschäftigt Siemens mehrere tausend Mitarbeiter. Rund 500 Ingenieure arbeiten hier an neuen Lösungen, mit denen Windkraftanlagen noch effizienter und somit kostengünstiger werden sollen. Einer dieser Tüftler ist Per Egedal, der von Siemens zum Erfinder des Jahres 2011 gekürt wurde. Der 36 Jahre alte Ingenieur hat viel dazu beigetragen, dass die Windturbinen von Siemens Wind Power zu den effizientesten der Welt gehören. Und Effizienz ist der Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit. Denn steigt die Energieausbeute um ein Prozent, so sinkt der Preis für die Kilowattstunde ebenfalls um ein

Prozent, lautet die einfache Formel. Noch ist viel zu tun: Derzeit kostet eine Kilowattstunde Windstrom an Land fünf bis sieben Cent, auf See sind es wegen der höheren Installations- und Wartungskosten 15 Cent. „Wir müssen auf vier bis fünf Cent pro Kilowattstunde kommen, um weltweit mit Kohle zu konkurrieren“, sagt Henrik Stiesdal, Chefingenieur bei Siemens Wind Power. Und er lässt keinen Zweifel daran, dass dies möglich ist – auch dank der Erfindungen seines Mitarbeiters Per Egedal.

Egedal hat beispielsweise eine Software entwickelt, die die Windlast auf die Anlage so reguliert, dass diese ihre Lebenszeit von 20 Jahren auch garantiert unbeschadet erreicht. Denn anders als vielleicht vom Laien vermutet, sollte sich ein Rotor nicht immer mit voller Kraft drehen – ansonsten verschleiben die Bauteile schneller als vorgesehen. Heute messen in Siemens-Anlagen daher Sensoren an der Nabe des Windrades dessen Belastung, und Egedals Software überprüft, ob sie mit dem idealen Lastprofil übereinstimmt. Falls nicht, wird gegebenenfalls die Stromproduktion gedrosselt. „Für den Betreiber ist es wichtiger, dass eine Anlage möglichst lange Strom liefert, auch wenn die Windbedingungen schwierig sind“, erklärt der Windingenieur. Bei optimaler Einstellung der Rotorblätter ist auch die Belastung für den Turm geringer: Seine Stahlwände können entsprechend dünner sein – „da spart man schnell ein paar Prozent Material und somit Kosten ein“, weiß Egedal. Bei den inzwischen hundert Meter hohen Kolossen ist das nicht unerheblich.

Per Egedal hat zudem ein Überwachungsprogramm entwickelt, mit dem Schäden an den Rotorblättern frühzeitig entdeckt werden können. Hierzu messen Sensoren die Vibrationen im Inneren der Gondel. Aus dem Frequenzmuster lassen sich Rückschlüsse auf den Zustand der

„Es sind viele kleine Schritte, die dazu führen, dass Windstrom konkurrenzfähig wird“, sagt Cheftechnologe Stiesdal, „wir haben mit unseren Innovationen die gesamte Kette im Auge – von der Herstellung bis zur Wartung der Anlagen.“ Zum Beispiel wird man in Zukunft beim Formen der Rotorblätter nicht mehr wie bisher Fiberglas-Matten nehmen, sondern einzelne Fäden. Denn das Weben der Matten, die von verschiedenen Herstellern in Europa, den USA und China kommen, ist aufwändig.

Getriebelose Windturbinen bestechen durch weniger Teile, geringeres Gewicht und höhere Zuverlässigkeit.

Einen 45 Meter langen Prototypen hat Siemens bereits auf diese Weise hergestellt, Ende 2012 soll die Technologie Schritt für Schritt eingeführt werden, 2014 will man in Serie gehen. „Diese und weitere Verbesserungen führen dann dazu, dass die Herstellung eines Rotorblattes nur noch die Hälfte kostet“, sagt Stiesdal.

Weniger ist mehr. Eine weitere Innovation aus Brande ist die getriebelose Windturbine. Gewöhnliche Windkraftanlagen haben ein Getriebe und einen Generator, der sich schnell dreht. Beides lässt sich durch einen langsam rotierenden Synchrongenerator mit hohem Drehmoment ersetzen. Diese getriebelosen Turbinen haben 50 Prozent weniger Teile als gewöhnlich, was die Instandhaltung vereinfacht und das Gewicht der Anlage immens reduziert. Dadurch sparen Siemens und seine Kunden Geld, weil die Zuverlässigkeit der Maschine steigt. So wiegt die getriebelose 6-MW-Turbine, die 2010 vorgestellt wurde, über zehn Tonnen weniger als eine konventionelle 2,3-MW-Anlage. Vor allem für Offshore-Anlagen, deren Installation aufwändig ist und die für Reparaturen nur schwer zugänglich sind, ist das sehr wichtig.

Draußen, auf dem riesigen Gelände zwischen Produktionshallen und Ingenieurbüros liegt ein Rotorblatt des Typs B52: Blütenweiß, 52 Meter lang, seine elegante Form erinnert an einen schlanken Wal. „Unsere Rotorblätter sind die weltweit größten Fiberglas-Objekte, die in einem Stück hergestellt werden“, sagt Egedal stolz. Die Herstellung ist ähnlich wie Kuchenbacken im Sandkasten: Das Fiberglas wird in zwei Formen gelegt. Beide werden zusammengeklappt, evakuiert, mit Harz gefüllt, erhitzt und binnen 24 Stunden zu einem Rotorblatt zusammengebacken (*Pictures of the Future*, Herbst 2007, S.60). An die Seite der Flügel kleben die Experten dann kleine Plastikzähne, die an Drachenzacken erinnern. Sie sorgen dafür, dass die Luft



noch intensiver an die Rotorblätter gedrückt wird – eine weitere kleine Verbesserung, die zwei bis drei Prozent Effizienzsteigerung bringt.

Auch die Produktion der besonders nachgefragten 2,3-Megawatt-Anlagen wird optimiert. In der großen Halle, wo die Gondeln dafür hergestellt werden, hängt eine LED-Anzeigentafel: 1:44 steht dort, die Uhr tickt rückwärts. Noch eine Stunde und 44 Minuten, dann muss der aktuelle Arbeitsschritt beendet sein: Ähnlich wie in einer Autofabrik ist hier alles getaktet. Jeder Arbeitsschritt dauert zwei Stunden, dann rollt das Teil weiter. An acht Stationen erhält die zunächst nackte Gondel nach und nach

Das „Arabische Schwert“ ist das Rotorblatt der Zukunft: Es verdreht sich unter der Last des Windes.

ihre Innereien: Getriebe, Generator, Hydraulik, Computer, Messinstrumente, Türen.

Am Ende steht eine fertige Gondel da, aus der nur noch die Nabe für die Rotorblätter ragt. Die Bestückung einer Anlage, die noch 2010 insgesamt 36 Stunden gedauert hat, ist jetzt in 19 Stunden fertig. Auch das spart Geld. Der Erfolg gibt Siemens Recht: Vor knapp zehn Jahren arbeiteten auf dem Gelände 800 Menschen, heute sind es 3.200; damals wurden pro Jahr Turbinen mit einer Gesamtleistung von 450 MW hergestellt, heute liegt der Output bei etwa 4000 MW. Gegenüber der Produktionshalle für die 2,3-MW-Gondeln ragen Pfeiler in die Luft – eine halbfertige Halle. „Irgendein neues Produktionsgebäude ist bei uns immer im Bau“, freut sich Egedal.

Auf dem Gelände strapazieren die Wind-Power-Mitarbeiter die einzelnen Bestandteile einer Windturbine – etwa in Form von Langzeittests. Zum Beispiel werden die Rotorblätter an einem speziellen Kran drei Monate lang ohne Pause in eine Wipp-Bewegung versetzt, insgesamt für rund zwei Millionen Schwingungen. Auf diese Weise simulieren die Siemens-Experten den Rotorblatt-Betrieb von rund 20 Jahren, um die Materialbeständigkeit zu testen.

Hier ist auch eine weitere Neuheit auf die Probe gestellt worden, die das Team von Henrik Stiesdal entwickelt hat. Das „Arabische Schwert“, wie es die Windexperten nennen, soll das Rotorblatt der Zukunft sein: leicht gekrümmt, verdreht es sich unter der Windlast, was die Belastung auf den Rotor reduziert. Gerade auf hoher See ist diese so genannte Aeroelastic Tailored Blade Technology, kurz ATB, von großem Vorteil. Hier peitschen Winde mit Luftmassen

von bis zu hundert Tonnen pro Sekunde auf die Rotorblätter – und das oft aus unterschiedlichen Richtungen. Reagieren die Blätter elastisch, können sie sich besser und flexibler dem Wind anpassen. Die Belastung sinkt, das Material verschleißt langsamer, die Lebensdauer steigt. Außerdem können die Rotorblätter dank der neuen Form und größeren Stabilität länger werden und so noch mehr Energie produzieren, ohne dass die aerodynamische Belastung steigt. Die gebogenen Flügel sind mit 53 Metern vier Meter länger als das Vorgängermodell. „Das bedeutet fünf Prozent mehr Energieausbeute“, sagt Henrik Stiesdal, „und trotzdem sind die Flügel 500 Kilogramm leichter“.

Darüber hinaus hat Siemens weitere Innovations-Eisen im Feuer. So hat Per Egedal, der

Software-Tüftler, ein Programm entwickelt, das die Last der einzelnen Rotoren in einem Windpark regelt, um die Gesamtleistung zu optimieren. Wenn die Masten in geringem Abstand stehen, kommt es zu erheblichen Verlusten durch Wirbelströme hinter den Rotoren. „Da kann es günstiger sein, die Leistung der ersten und zweiten Turbine in einer Reihe etwas zu drosseln“, sagt Egedal (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2011, S.97).

Zukunft mit Power. Immer größer, leichter, leistungsfähiger – die Optimierung der Windräder ist noch längst nicht zu Ende. Der Prototyp der 6-MW-Anlage, die Stiesdal und sein Team entwickelt haben, wird derzeit im dänischen Høvsøre getestet. Die Serienproduktion beginnt im Jahr 2014. Gegen diese Super-Räder wirkt die Ein-MW-Anlage, die sich neben den Ingenieurbüros in Brande dreht, wie ein Baby. Und auch sechs Megawatt sind nicht das Ende der Entwicklung. Stiesdal und seine Mannschaft arbeiten längst an den vielen kleinen Verbesserungen, die eine 10-MW-Anlage mit einer Länge der Rotorblätter von 100 Metern ermöglichen werden. Denn je höher die Leistung, desto effizienter sind die Turbinen und desto billiger ist die Kilowattstunde. Allerdings sind dem Streben nach immer mehr Megawatt auch Grenzen gesetzt.

„Vermutlich werden Offshore-Turbinen bei zehn Megawatt ein Maximum erreicht haben“, sagt Stiesdal, „während Räder in Windparks an Land kaum leistungsfähiger als vier Megawatt sein werden.“ Doch schon diese optimierten Super-Räder werden dann der Kohle möglichst kostengünstig, effizient, wartungsfrei und langlebig ordentlich Wind machen – nicht nur wie heute in Neuseeland. ■ *Jeanne Rubner*



Großes Leichtgewicht: Siemens entwickelte die getriebelose 6-MW-Turbine speziell für die rauen Bedingungen auf See (links der Aufbau für den Testbetrieb).