

# Wachstum der Rotoren

Windräder sollen bald noch größer, leistungsstärker und effizienter werden – ob das akzeptiert wird?

VON RALPH DIERMANN

Wer mitten im Meer Windstrom erzeugen will, hat einige echte Herausforderungen zu meistern. Die riesigen Rotoren müssen mit viel Aufwand auf hohe See transportiert und dann in mehreren Dutzend Metern Tiefe sicher am Meeresgrund verankert werden. Da die salzige Luft der teuren Technik kräftig zusetzt, geht es nicht ohne eine sorgfältige Wartung. Für all diese Mühen haben die Betreiber lange eine üppige Förderung bekommen. Aber das soll sich gründlich ändern. Die Betreiber mehrerer geplanter Windparks in der Nordsee wollen in Zukunft ganz ohne Subventionen auskommen. Ihnen reichen die Erlöse durch den Verkauf des Stroms an der Börse, heute sind das wenige Cent pro Kilowattstunde. Der Preisverfall in der Windkraft ist spektakulär, und dahinter steht vor allem eine technische Neuerung: Die Anlagen werden immer größer.

Die Branche ist zur Bescheidenheit gezwungen, weil Windkraftprojekte seit diesem Jahr ausgeschrieben werden. Der Bieter, der die geringste Förderung verlangt, setzt sich durch. In der ersten Runde waren das die Energieversorger EnBW sowie Dong/Ørsted aus Dänemark; bei drei ihrer vier Offshore-Kraftwerke verzichten sie ganz auf Subventionen. Als die Bundesnetzagentur dieses Ausschreibungsergebnis im vergangenen Frühjahr bekannt gab, war das Erstaunen darüber groß.

Zwar dürften auch strategische Erwägungen ein Grund für die Zurückhaltung der Anbieter sein: „Wenn man im Offshore-Geschäft erfolgreich sein will, braucht man kontinuierlich Projekte, etwa um die Lieferketten aufrechtzuerhalten“, sagt Andreas Reuter, Leiter des Fraunhofer Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Zudem gehen die Unternehmen davon aus, dass der Preis an der Strombörse steigen und die Logistik für die Errichtung der Anlagen effizienter wird. Vor allem aber setzen die Bieter auf die Weiterentwicklung der Anlagentechnik. Sie haben einen Spielraum von mehreren Jahren, um die Windparks auf See zu bauen – genug Zeit für die Hersteller der Anlagen, die Kosten so weit zu senken,

das die Windpark-Betreiber auch mit deutlich geringerer oder gar ganz ohne Förderung Geld verdienen können.

Dabei konzentrieren sich die Hersteller in erster Linie darauf, Größe und Leistung der Windräder zu steigern. „Während neue Offshore-Anlagen heute einen Rotordurchmesser von maximal 150 Metern und eine Leistung von etwa sechs Megawatt haben, werden wir in einigen Jahren Durchmesser von bis zu 200 Metern und eine Leistung von zehn Megawatt sehen“, sagt Reuter. In der Folge sinken die Kosten pro Kilowattstunde, weil größere Anlagen deutlich mehr Strom bei nur moderat steigendem Aufwand für Logistik, Installation und Betrieb liefern.

**Die Länge der Rotorblätter entspricht etwa der Spannweite eines Airbus „A380“**

Eine Strategie, die genauso die Entwicklung der Windenergie an Land prägt. „Auch die Hersteller von Onshore-Anlagen arbeiten an immer größeren Rotoren“, sagt Reuter. Bereits heute bieten Unternehmen für windschwache Standorte Anlagen mit einem Durchmesser von 150 Metern und mehr an. Die Länge der einzelnen Flügel, Rotorblätter genannt, entspricht etwa der Spannweite eines Airbus A380.

Bei den Anwohnern dürfte das stete Wachstum der Windräder nicht gerade auf Begeisterung stoßen. Der Bau neuer Anlagen ist ohnehin schon vielerorts sehr umstritten. „Je größer eine Anlage ist, desto stärker prägt sie natürlich das Landschaftsbild“, sagt Po-Wen Cheng, Inhaber des Lehrstuhls für Windenergie der Universität Stuttgart. Die Anlagen haben nur dann eine Chance, realisiert zu werden, wenn sie von den Menschen in der Region angenommen werden.

Cheng sieht daher die Windbranche in der Pflicht, diesem Thema mehr Aufmerksamkeit zu widmen. „Wir haben die Aufgabe, uns intensiver mit Fragen der Akzeptanz in der Bevölkerung zu befassen, etwa durch das Hinzuziehen von Sozialwissenschaftlern, Landschaftsarchitekten, Psychologen und anderen Experten“, sagt der Wissenschaftler.



Weil die Windräder immer größer und dadurch effizienter werden, kommen manche Betreiber der Anlagen künftig ganz ohne Subventionen aus. Allerdings dominieren die gigantischen Propeller dann erst recht das Bild einer Landschaft. FOTO: DPA

Doch auch in technischer Hinsicht gibt es einiges zu tun, wenn die Windräder noch weiter in die Höhe schießen sollen. Eine der Baustellen ist die Regelung der Rotorblätter. Bei starken Winden sind sie enormen Belastungen ausgesetzt. Stürmt es zu sehr, werden die Flügel aus dem Wind gedreht, sodass sie nicht beschädigt werden. Tückischer sind einzelne Böen, die die Windräder umso häufiger treffen, je länger die Rotorblätter sind. Dabei belasten die Windstöße mitunter gar nur einen Teil des Flügels. Experten des Deutschen

Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer IWES und das Forschungszentrum ForWind entwickeln daher derzeit neuartige Rotorblätter, die selbstständig auf solche Böen reagieren können: Sie sind in der Lage, sich an einzelnen Stellen zu verformen, sodass sie dem Windstoß weniger Angriffsfläche bieten. „Das geschieht über einen speziellen Blattaufbau, der dafür sorgt, dass sie sich nach hinten biegen und zugleich verdrillen, also um die eigene Achse drehen“, sagt Jan Teßmer, Koordinator der Windenergieforschung des DLR.

Darüber hinaus befassen sich die Wissenschaftler damit, ein Konzept aus dem Flugzeugbau zu kopieren: So wie dort Klappen in den Tragflächen die Luftströme beeinflussen, sollen kleine, regelbare Bauteile in den Rotorblättern lokal die Belastung mindern. „Mit solchen Stellgliedern kann

man sehr schnell und gezielt auch auf kurzfristige Böen reagieren“, sagt Teßmer. Von der Flugzeugindustrie könnten die Windrad-Hersteller auch bei der Fertigung der Anlagen lernen. Bislang werden die Rotorblätter in weiten Teilen per Hand produziert. Das ist teuer und zudem fehleranfällig. „Mit einer Automatisierung der Prozesse lässt sich bei der Fertigung viel Geld einsparen“, sagt Teßmer. Es gebe eine Reihe von Verfahren aus der Flugzeugindustrie, welche die Windradhersteller in angepasster Form übernehmen könnten.

Neben den Rotorblättern sieht die Windbranche auch in den Generatoren – die ähnlich wie ein Fahrraddynamo die Drehbewegung der Rotoren in Strom umwandeln – einen Hebel, um die Kosten zu senken. Die größten Hoffnungen liegen dabei auf sogenannten supraleitenden Generatoren, die

deutlich leichter und kompakter gebaut werden können als konventionelle Stromerzeuger. Außerdem weisen sie einen höheren Wirkungsgrad auf, sodass weniger Energie bei der Umwandlung verloren geht. „Die Krux dabei ist allerdings, dass sie auf minus 200 Grad und tiefer gekühlt werden müssen. Das kostet Energie“, sagt Po-Wen Cheng von der Uni Stuttgart. Dazu komme ein großes Temperaturgefälle zwischen dem Äußeren und Inneren des Bauteils, das beherrscht werden müsse. Er ist jedoch optimistisch, dass diese Herausforderungen in absehbarer Zeit in den Griff zu bekommen sind. „Forscher arbeiten derzeit intensiv an der Technologie, weil das wirtschaftliche Potenzial groß ist“, sagt Cheng. Allerdings eignet sie sich nur für die Großanlagen auf hoher See: Für Windräder an Land ist sie zu teuer.

## Fluch des Ramsches

Pro Jahr fallen 45 Millionen Tonnen Elektroschrott an

Die Menge an alten Fernsehern, Notebooks, Kameras, Handys und anderem elektrischem Müll hat gigantische Ausmaße erreicht. Etwa 44,7 Millionen Tonnen Elektroschrott produziert die Menschheit derzeit im Jahr, das entspricht dem Gewicht von neun großen Pyramiden von Gizeh oder 4500 Eiffeltürmen. Die Zahlen haben Forscher der Universität der Vereinten Nationen berechnet. Der Berg an Elektromüll wachse derzeit so gut wie ungebremst weiter, warnen die Müll-Forscher in ihrer Studie.

Allein zwischen 2014 und 2016 sei die jährliche Menge Elektromüll um acht Prozent gewachsen, so schnell wie keine andere Müllsorte. Überraschenderweise machen Smartphones, Computer und Tablets mit vier Millionen Tonnen nur einen kleinen Teil des Elektromülls aus. Weit schwerer wiegen Klein- und Großgeräte wie Staubsauger, Mikrowellen oder Kühlschränke. Rechnerisch entsorgt jeder Erdenbürger 6,1 Kilogramm Elektronik pro Jahr, jedoch ist die Menge regional sehr verschieden. Während in Norwegen mit 28,5 Kilogramm der meiste Elektromüll pro Einwohner anfällt, entsorgt ein Afrikaner im Schnitt weniger als zwei Kilo. In Europa produziert Deutschland mit jährlich 1,9 Millionen Tonnen den meisten Elektro-

müll, das sind 22,8 Kilogramm pro Einwohner. Jedoch werde in Europa mehr als ein Drittel des Elektronikmülls gesammelt, das sei weltweit Spitze, bemerken die Autoren der Studie. Das mangelnde Recycling halten die Forscher für eine der drängendsten Herausforderungen. Nur etwa 20 Prozent des Elektroschrotts werden weltweit gesammelt und ordentlich entsorgt, das meiste lande auf Müllkippen oder werde verbrannt. Schuld sei ein Mangel an Gesetzen, selbst die USA hätten heute keine landesweiten Regeln für die Entsorgung.

**Im globalen Elektromüllberg stecken Rohstoffe im Wert von mindestens 55 Milliarden Dollar**

Warum der Elektroschrott so gleichgültig behandelt wird, können die Forscher nicht nachvollziehen. Der globale Elektromüllberg enthalte wiederverwendbare Rohstoffe im Wert von mindestens 55 Milliarden Dollar, darunter seien etwa große Mengen Gold. Eine Trendwende ist dennoch vorerst nicht in Sicht. Die Experten halten ein weiteres Anwachsen des Elektromüllbergs um 17 Prozent bis 2021 für wahrscheinlich, auf dann mehr als 50 Millionen Tonnen im Jahr. CHRISTOPH BEHRENS

DIE ZAHL

# 320

Kilometer

tief ist der berühmte Rote Fleck auf der Oberfläche des Jupiter. Das auffällige Merkmal des riesigen Planeten ist somit viel tiefer als irdische Ozeane. Diese Erkenntnis stammt von der Raumsonde Juno, die seit dem Sommer dieses Jahres Jupiters Oberfläche mit verschiedenen Messgeräten abtastet. Der Rote Fleck ist seit dem 19. Jahrhundert bekannt. Astronomen vermuten heute, dass er vor etwa 350 Jahren entstanden sein muss. Dessen Fläche scheint zudem abzunehmen. Als die Voyager-Raumsonden am Ende der 1970er-Jahre an dem Planeten vorbeiflogen, war der Rote Fleck etwa zweimal so breit wie die Erde. Heute liegt die Breite bei etwa 16 000 Kilometern, was 1,3 Erddurchmessern entspricht. Im Juli flog Juno erstmals dicht über den Roten Fleck hinweg und schoss eine Serie spektakulärer Aufnahmen. Mit einem Mikrowellen-Detektor an Bord gelang es, tief unter die Wolkendecke blicken und die Wurzeln des Sturms zu untersuchen. Dabei zeigte sich, dass die Unterseite der farbigen Wirbels deutlich wärmer ist als Jupiters Oberfläche. Das liefert vermutlich die Energie für die bis zu 680 km/h starken Winde auf der Oberfläche. PAI

## Süße Gefahr

Zu viel Zucker im Meer kann Korallenriffe krank machen

Paradiesische Zustände in tropischen Meeren sind längst passé, vor allem für Korallen. Die Tiere leiden nicht nur unter steigenden Temperaturen und zunehmend saurem Wasser, sondern immer häufiger auch unter Krankheiten. Schuld könnte zu viel Zucker sein, wie Forscher des Bremer Leibniz-Zentrums für Marintropenforschung (ZMT) im Fachblatt *The ISME Journal* berichten. Die süßen Stoffe strömen mit Abwässern ins Meer und werden auch von Algen abgesondert.

Die Zucker, darunter Galaktose, Mannose, Xylose und der Haushaltsklassiker Glukose, bewirken offenbar, dass Keime sich besonders stark vermehren können. Und sie machen aus sonst harmlosen Bakterien regelrechte Schadstoffschleudern. „Die Zucker schalten in den Mikroorganismen bestimmte Gene an, die einen Cocktail an Giftstoffen produzieren“, sagt die ZMT-Forscherin Astrid Gärdes. Normalerweise hielten Korallen diesen stand, aber ihr Im-

munsystem sei heute oft schon durch andere Faktoren geschwächt. Ein gestresstes Riff könne sich schlicht nicht mehr ausreichend wehren.

**Schmutzwasser aus Hotelanlagen enthält oft viel Zucker, der das Wachstum von Algen beschleunigt**

Für ihre Untersuchungen nahmen die Bremer Forscher gemeinsam mit Fachkollegen der King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) in Saudi-Arabien Meerwasserproben an einem Korallenriff im Roten Meer, füllten sie im Labor in Vierliterflaschen und gaben verschiedene Zuckermischungen hinzu. Nach zwei Tagen untersuchten sie mit genanalytischen Methoden, wie stark sich welche Bakterienarten vermehrt hatten, welche Stoffe sie produziert hatten und welche Gene dafür verantwortlich waren.

Eine schädliche Zuckerkrankheit ist Gärdes zufolge vor allem dort zu finden, wo Abwässer von küstennahen Städten, Hotels, Feldern und Fischfarmen ins Meer strömen. Das Schmutzwasser bringt nicht nur direkt Zucker mit, sondern kurbelt durch die ebenfalls enthaltenen Stickstoffverbindungen und Phosphate auch das Wachstum von Algen an, die dann noch mehr Zucker heikel. „Deshalb ist zum Beispiel die Karibik ein Hotspot für Korallenkrankheiten“, sagt die Wissenschaftlerin.

Die neuen Erkenntnisse bringen Licht in die Forschung zur Zunahme von Korallenkrankheiten. „Bisher war weitgehend unbekannt, welche Mechanismen dahinterstecken“, sagt Gärdes. Als Nächstes will ihr Team herausfinden, ob sich die Erkenntnisse aus dem Labor auch in der Natur bestätigen. ANDREA HOFERICHTER

DAS GANZE SEHEN – MIT CAPITAL.



Capital

WIRTSCHAFT IST GESELLSCHAFT