Windrad-Montage in der Magdeburger Börde: Im Vergleich zu solchen Teilen ginge ein Traktor noch als Feinmechanik durch

Die Zukunft der Windkraft

Die Deutschen sind „Weltmeister der Windkraft“. Nach der stürmischen Entwicklung der Windmühlen-Power zu Lande werden die High-Tech-Rotoren nun für den Einsatz auf See fit gemacht, wo der Wind beständiger bläst. Mehr als 40 Offshore-Windparks sind allein in der deutschen Nord- und Ostsee geplant. **BERNWARD JANZING**

Ein Wohncontainer möge doch bitte zusätzlich für den Windpark eingeplant werden, mit Notbetten und ausreichend Platz für Trinkwasser und Nahrungsmittel. Denn man müsse sich darauf gefasst machen, dass irgendwann eines der Wartungsteams von einem höllischen Unwetter überrascht und tagelang von jeglicher Zivilisation abgeschnitten werde.

Das war zu damaliger Zeit ein ungewöhnlicher Auftrag für einen Hersteller von Windturbinen. Doch wunschgemäß stand im Sommer 2000 besagter Container auf dem Freigelände der Firma Enron Wind (heute GE Energy) im niedersächsischen Salzbergen – bereit für seinen Abtransport nach Skandinavien. Kein absurdes Katastrophenszenario hatte diesen Notcontainer-Plan begründet, sondern Umsicht der Bauherren. Denn die Branche begann in jener Zeit von ihren angestammten Ufern wegzustreben – hinaus in die Flachwasserzonen der Meere, etliche Kilometer vor der Küste. Dorthin, wo die Natur ihre Kräfte noch ungestümer entlädt als an Land. Die Arbeitsbedingungen sind dort entsprechend rau, zugleich aber auch die Perspektiven der Stromgewinnung ausgesprochen attraktiv. Denn auf See bläst der Wind nicht nur stärker, sondern vor allem gleichmäßiger als an Land. Die Weite des Meeres garantiert zudem ausreichend Platz für große, leistungsstarke Windfarmen. Kein Anwohner, auch das ein wichtiges Argument, kann gegen surrende Rotoren oder Schattenwurf aufbegehren.

Dänemark war, wie so oft in der Geschichte der Windkraft, beim Vorstoß auf die Meere führend. Bereits 1991 wurde ein erster

ANLAGEN_**WINDKRAFT**

Windkraftanlagen wandeln Windenergie in elektrische Energie um, die sie in das öffentliche Stromnetz einspeisen. Vertikalachsen-Rotoren haben sich nicht durchsetzen können, weil sie aus physikalischen Gründen nur einen geringeren Wirkungsgrad erreichen als Anlagen mit horizontaler Achse.

1

VERTIKALACHSEN-ROTOREN

Vorteil: Müssen nicht in den Wind gedreht werden.
Nachteil: geringerer Wirkungsgrad

1_DARRIEUS-ROTOR 2_H-DARRIEUS 3_SAVONIUS

WINDTURBINEN MIT SENKRECHTER ROTATIONSACHSE

Beim DARRIEUS-ROTOR (1), scherzhaft „Schneebesen" genannt, sind die Rotorblätter am oberen und unteren Ende der Achse angebracht. Der H-DARRIEUS-ROTOR (2) hat senkrechte statt gebogener Rotorblätter. Beim SAVONIUS-ROTOR (3) nehmen halbkreisförmig gebogene Scheiben die Windenergie auf.

2

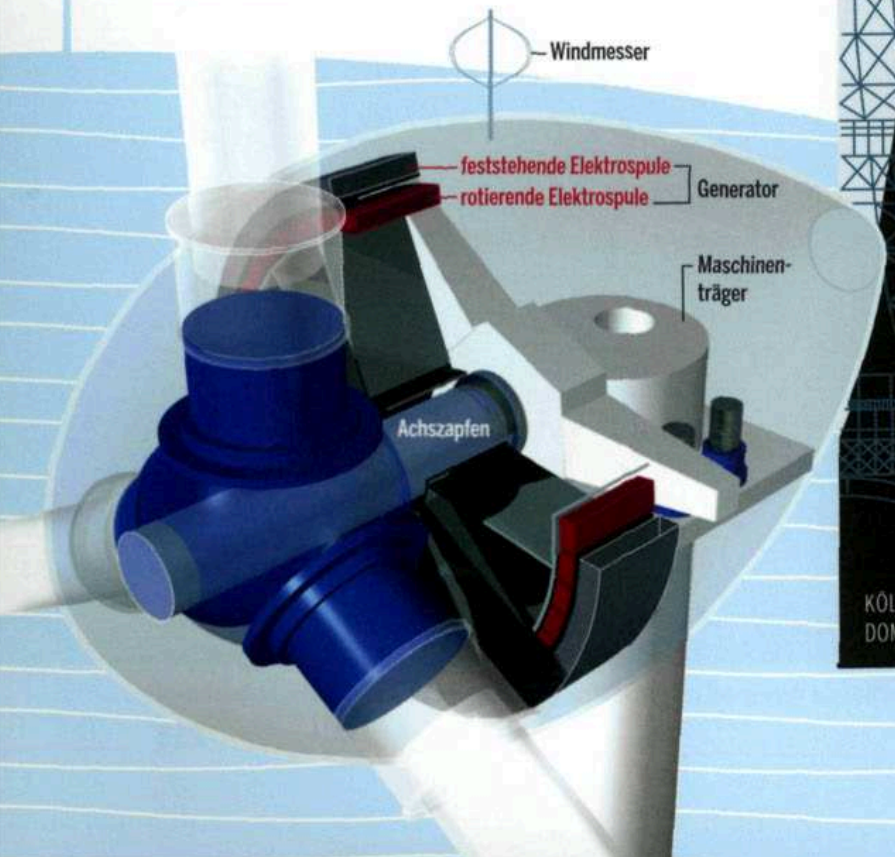
Zu den leistungsstärksten Windenergieanlagen zählen die Enercon E-126 (Leistung: 6 Megawatt), die Repower 5 M (5 Megawatt) und die Multibrid M 5000 (5 Megawatt). Enercon hat bereits drei dieser Anlagen errichtet, Repower zehn und Multibrid zwei.

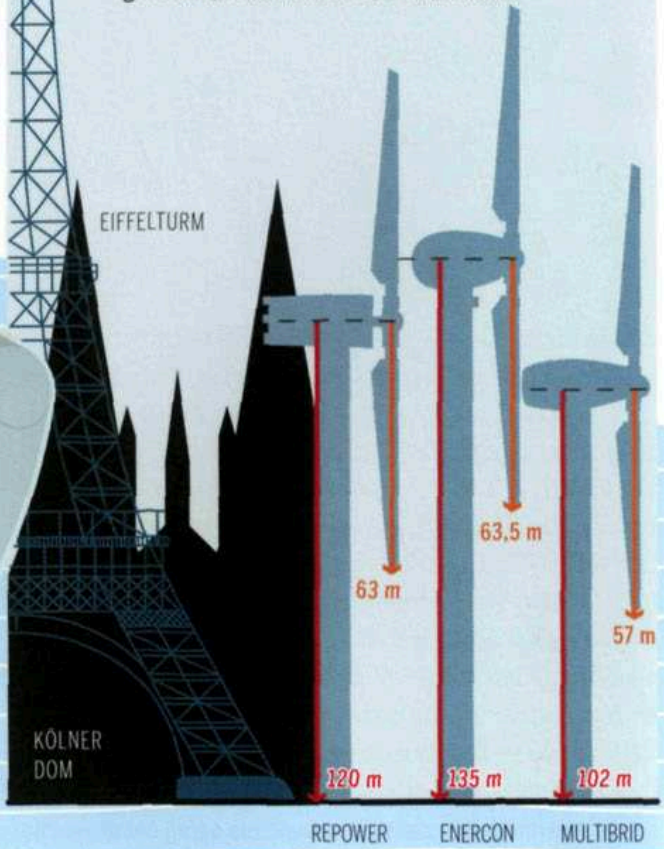
ENERCON E-126
Getriebelose Anlage. Die Rotorblätter sind über die Nabe direkt mit dem Läufer des Synchron-Ringgenerators verbunden. Rotordrehzahl: 5 – 12 U/min

REPOWER 5 M
Planetenstirnradgetriebe, Übersetzung 1:97, Asynchrongenerator, Gondel aus glasfaserverstärktem Kunststoff, Rotordrehzahl: 6,9 – 12,1 U/min.

MULTIBRID M 5000
Stufenplanetengetriebe, Übersetzung 1:10, Wassergekühlter, permanenterregter Synchrongenerator, Rotordrehzahl: 5,9 – 14,8 U/min.

ENERCON E-112





kleiner Offshore-Windpark in der Ostsee errichtet, ein zweiter folgte 1995 im Kattegat, und im Herbst 2000 in den Gewässern vor Kopenhagen ein weiterer mit 40 Megawatt Leistung, genug, um mehr als 20 000 Haushalte zu versorgen. Die Entfernung von Land beträgt bis zu sechs Kilometer, die Wassertiefe liegt in diesen Regionen bei maximal zehn Metern. Bei solchen Verhältnissen haben die Ingenieure die Statik im Griff.

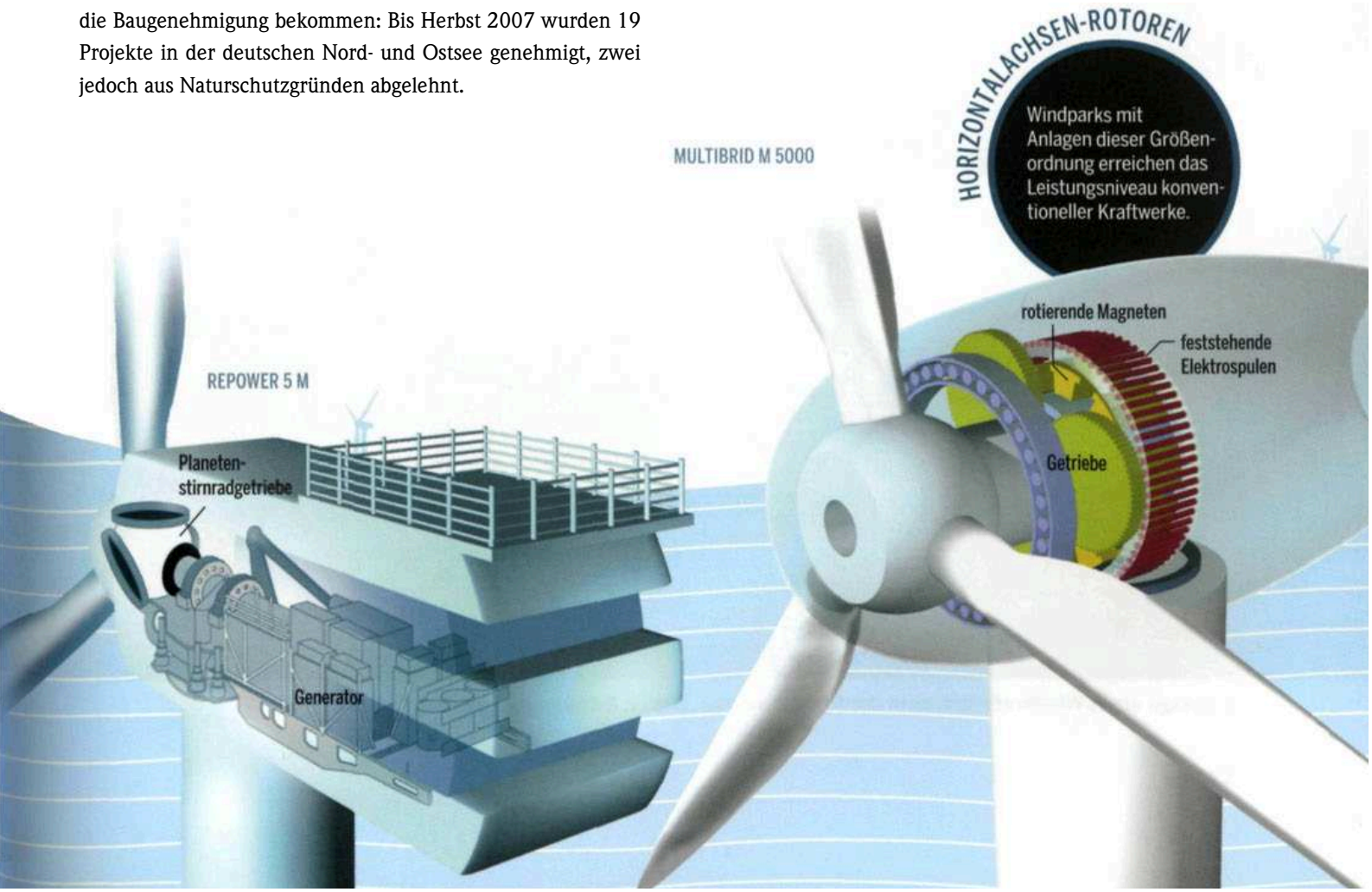
Alles wird im Meer teurer als an Land – ob Fundamentbau, Aufstellung oder Wartung, ob Korrosionsschutz oder Netzanbindung. Dennoch ist der Übergang ins Wasser attraktiv, weil auch die Erträge deutlich höher sind als an Land. Zugleich belasten die geringeren Turbulenzen des Windes die Mechanik weniger, was die Lebensdauer der Anlage erhöht, wie die Freunde der Windkraft hoffen.

Mit einem Jahrzehnt Verspätung gegenüber Dänemark wurde das Thema Offshore-Windkraft auch in Deutschland aktuell. Für 41 Projekte an Nord- und Ostsee wurden beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg bereits Bauanträge eingereicht. Ob nördlich von Helgoland oder westlich von Sylt, nördlich von Borkum oder nahe der Oderbank in der Ostsee: Einige Parks sollen mit mehreren hundert Windrädern mehr als 1000 Megawatt leisten – etwa so viel wie ein durchschnittliches Großkraftwerk. Würden alle beantragten Parks in vollem Umfang realisiert, kämen sie zusammen auf mehr als 60 000 Megawatt Leistung. Doch nicht alle Projekte werden die Baugenehmigung bekommen: Bis Herbst 2007 wurden 19 Projekte in der deutschen Nord- und Ostsee genehmigt, zwei jedoch aus Naturschutzgründen abgelehnt.

Lange hatten die gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland die Windkraft zur See gebremst: Weil der Gesetzgeber bei der Gestaltung des Stromeinspeisungsgesetzes zu Beginn der neunziger Jahre die Meeresstandorte schlicht vergessen hatte, herrschte über Jahre hinweg Rechtsunsicherheit in den Küstengewässern. Investoren waren erst zu gewinnen, als mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz im April 2000 auch für Offshore-Windkraft günstige Rahmenbedingungen definiert waren.

Die Branche war sich gleichwohl sicher, dass der Baubeginn für Anlagen im Meer nur eine Frage der Zeit sein würde. Und so hatten sich die großen Windkraft-Hersteller in Deutschland schon frühzeitig auf den neuen attraktiven Markt eingestellt. In den Werkshallen der Firma Enercon in Aurich werden heute Windräder mit bis zu 6 Megawatt Leistung gefertigt, deren Gondeln 440 Tonnen wiegen. In 135 Meter Höhe wird bei diesen Anlagen die Nabe montiert sein, als Herzstück eines Rotors von bis zu 114 Meter Durchmesser. Jedes seiner drei Blätter wiegt rund 20 Tonnen.

Das sind neue Dimensionen. Noch vor wenigen Jahren hätte niemand gedacht, dass man so schnell in diese Leistungsklasse werde vorstoßen können. Denn schon an Land ist solche Technik eine Herausforderung für jeden Kranunternehmer. Viel



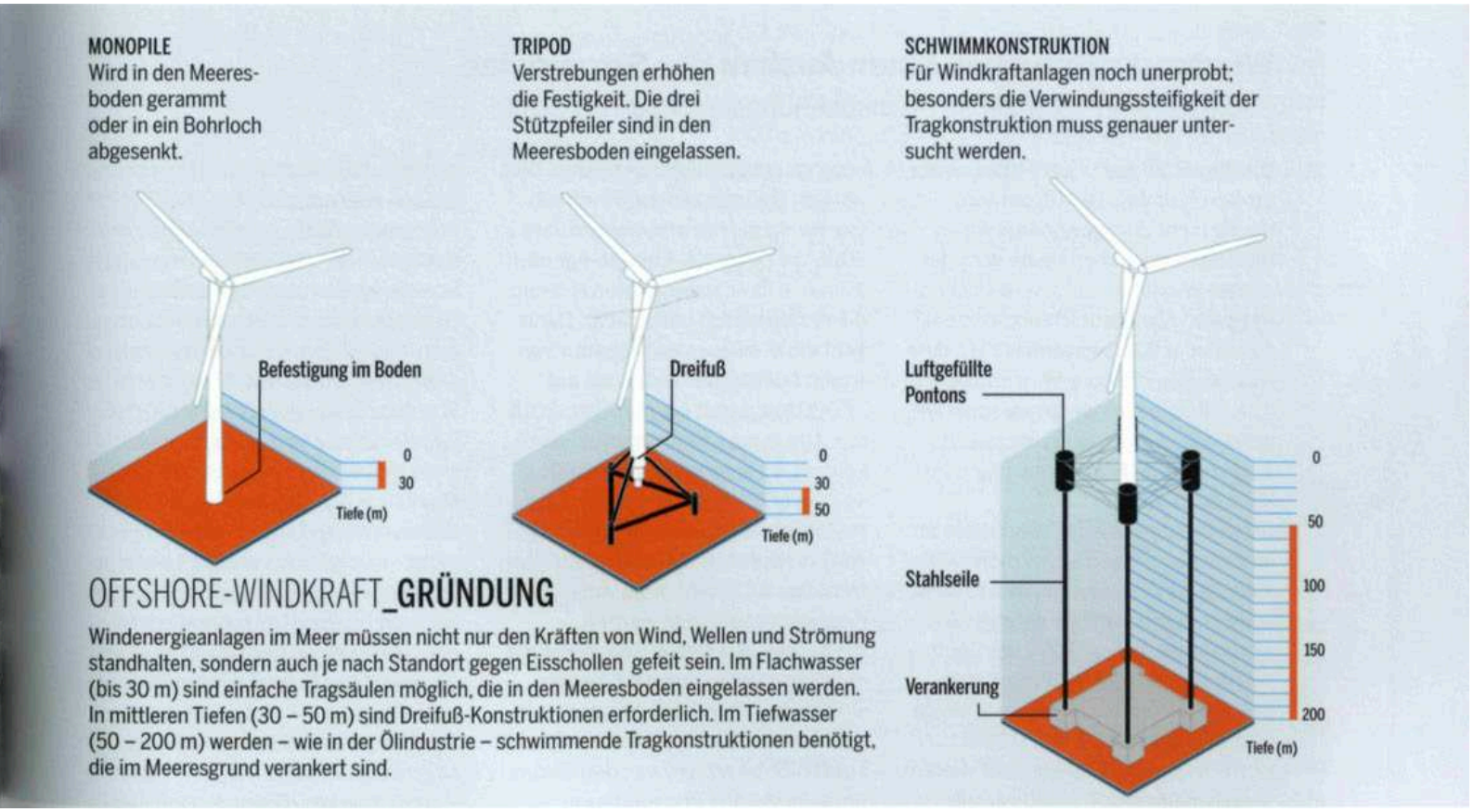
höher dürfte man aber kaum noch kommen, denn die heutigen Maschinen liegen schon „nahe beim Ende der Fahnenstange“, wie Jens Peter Molly, Leiter des Deutschen Windenergieinstituts in Wilhelmshaven (DEWI), vermutet. Nicht aus physikalischen Gründen, aber aus Gründen des Transports: Mit heutiger Technik sind noch größere Anlagen kaum mehr zu errichten. „Das ist Extremmaschinenbau“, heißt es beim DEWI. In den Fabriken von Enercon, Vestas, Nordex und GE Energy – um nur die größten zu nennen – wird das offensichtlich. Da liegen stählerne Rotorwellen und Zahnräder mit mehr als einem halben Meter Durchmesser aufgebockt in den Hallen, wie bestimmt für ein überdimensionales Uhrwerk. Im Vergleich zu diesen Maschinenteilen ginge ein Traktor noch als Feinmechanik durch. Und weil die Offshore-Windkraft als technisches Neuland so viele Risiken birgt, gehen die Unternehmen bei der Entwicklung behutsam vor. So testet zum Beispiel der deutsche Windkraft-Marktführer Enercon die Windräder erst einmal „nearshore“: Im Herbst 2004 errichtete die Firma nahe Emden im Wasser der Emsmündung eine Windkraftanlage mit 4,5 Megawatt Leistung. Für die vorsichtige Annäherung an die maritime Umgebung gibt es gute Gründe: Die Installation und der Betrieb von Windkraftanlagen auf See stellen hohe Herausforderungen an Technik und Logistik. Allzu schnell setzt ein Hersteller bei Pilotprojekten einen Millionenbetrag in den Seesand und verspielt sein Renommee.

ANDERERSEITS REIZEN die wirtschaftlichen Perspektiven. Längst ist unstrittig, dass die Windkraft auf dem Meer für die Branche der erneuerbaren Energien in den nächsten Jahren das beherrschende Thema sein wird. Nach Plänen des Bundesumweltministeriums sollten bis 2007 die ersten 500 Megawatt in deutschen Gewässern installiert werden. Doch der Ausbau hat sich verzögert – zum Jahresende stand noch keine einzige Maschine in der deutschen See. Der Bundesverband Windenergie (BWE) schätzte unterdessen, dass im Jahr 2015 etwa 5000 Megawatt Offshore-Windkraft in deutschen Gewässern installiert sein werden. Bis 2020 seien sogar 10 000 Megawatt realistisch. Für das Jahr 2030 hält das Bundesumweltministerium bis zu 25 000 Megawatt für möglich. Damit könnten in den deutschen Seegebieten künftig 85 Milliarden Kilowattstunden Strom pro Jahr erzeugt werden – das ist etwa die Hälfte dessen, was derzeit die gesamte Atomkraft im Lan-

Montage eines Windkraft-Rotors in der Emsmündung: „Das ist Extremmaschinenbau“

de bringt. Auf weitere 55 Milliarden Kilowattstunden wird das nationale Arbeitspotenzial des Windes an Land beziffert. Fazit: Etwa um 2030 könnte Windenergie zu Wasser und zu Lande rund 25 Prozent des bundesweiten Strombedarfs decken.
Bislang allerdings blicken die Freunde der Windkraft in Deutschland noch ein wenig neidisch nach Dänemark, Schweden und Großbritannien: Während in deutschen Meeren noch keine einzige Offshore-Anlage läuft, sind die Nachbarländer schon weiter fortgeschritten.

WAS JEDOCH DIE PLANUNGEN betrifft, steht Deutschland international an der Spitze: 35 Parks wurden bislang in der Nordsee beantragt, sechs in der Ostsee. So könnte die Offshore-Windkraft in wenigen Jahren die gleiche Entwicklung nehmen wie einst die Windkraft an Land: Dänemark stand über Jahre hinweg weltweit an der Spitze, ehe Mitte der 90er Jahre Deutschland seinen nördlichen Nachbarn in Riesenschritten überholte und sich fortan „Windweltmeister“ nennen konnte.
Bis der Aufbau von Offshore-Anlagen allerdings zur Routine geworden sein wird, sind noch etliche technische Fragen zu klären. Beim Umgang mit größeren Wassertiefen hat man in den letzten Jahren immerhin große Fortschritte gemacht. Tiefen bis 20 Meter gelten heute als unproblematisch, weil man dort einfache Stahlrohre, Monopile genannt, in den Erdboden treiben kann. Für Tiefen von weniger als 10 Metern sind sogar reine Schwerkraftfundamente möglich. Für größere Wassertiefen ab 20 Meter braucht man jedoch mehrbeinige Konstruktionen – sogenannte Tripod-, Quadripod- oder Gitterturmkonstruktionen. Außerdem wurde im Mai 2007 für einen Offshore-Park in der Ostsee erstmalig in Deutschland der Bau eines schwimmfähigen Fundamentes genehmigt, das ohne lärmende Rammarbeiten errichtet werden kann.
Ein Problem wird jedoch weiterhin die Erreichbarkeit der Anlagen für Servicemannschaften bleiben. „Bei rauer See ist das eine echte Herausforderung“, sagt Andreas Wagner, Sprecher der General-Electric-Tochter GE Energy in Salzbergen. Natürlich sammelt auch dieses Unternehmen bereits Erfahrungen vor Ort: GE Energy realisierte im Jahr 2003 in der Irischen See das Projekt Arklow Bank mit sieben Windrädern à 3,6 Megawatt, es war der weltweit erste Offshore-Windpark mit Anlagen von jeweils mehr als drei Megawatt Nennleistung.
So wird derzeit allenthalben mit kleinen Parks die große Zu-



DENA-STUDIE

Offshore-Windpark in Dänemark: Der Stromtransport in die weit entfernten Ballungszentren erfordert zusätzliche Leitungen

Windparks brauchen einen Ausbau der Stromnetze

850 Kilometer zusätzliche Hochspannungsleitungen bis 2015

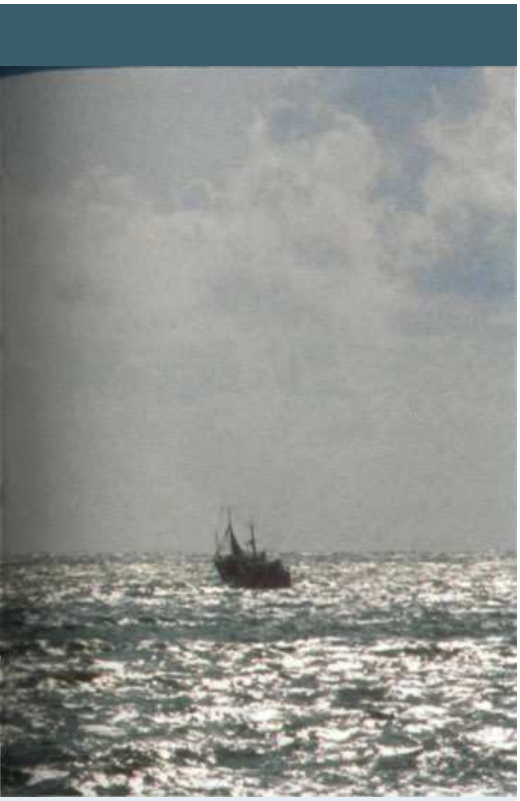
Die Windkraft hat in der Praxis einen großen Nachteil: Der Strom wird häufig nicht dort gewonnen, wo er benötigt wird. Schon heute wird der meiste Windstrom in den ländlichen Regionen Norddeutschlands erzeugt, abseits der Ballungszentren. Mit dem Ausbau der Offshore-Windkraft wird sich die Situation weiter verschärfen, weil dann viele tausend Megawatt zusätzlich von Norddeutschland ins Netz drücken.

Schon heute kann der Windstrom an stürmischen Tagen kaum mehr vollständig genutzt werden, weil er nicht in die Industriezentren gelangt. So wurde Mitte Januar 2007 am Spotmarkt der deutschen Strombörse EEX die Kilowattstunde Strom einige Stunden lang für exakt 0.0 Cent „verkauft". Hätte die Energie über weitere Strecken und ins Ausland verteilt werden können, hätte sie durchaus noch zahlende Käufer gefunden. Den nötigen Leitungsausbau innerhalb Deutschlands hat erstmals im Jahr 2005 die Deutsche Energie-Agentur (dena) in ihrer sogenannten Netzstudie systematisch untersucht. Darin geht die bundeseigene Agentur von einem Ausbau der Windkraft auf 37 000 Megawatt bis zum Jahr 2015 aus. Um diese Leistung abführen zu können, so ergab die Studie, müsse man 850 Kilometer zusätzliche Hochspannungsleitungen (380 Kilovolt) verlegen. Bestehende Leitungen müssten auf einer Länge von 400 Kilometern verstärkt werden.

Die Kosten des Netzausbaus, die auf den Strompreis umgelegt werden, sind gering. Privathaushalte müssten 0,39 bis 0,49 Cent je Kilowattstunde zusätzlich bezahlen, was den Strom um zwei bis drei Prozent teurer machen würde. Für die Industrie sei mit Mehrkosten von etwa 0,15 Cent je Kilowattstunde zu rechnen. Das Problem sind also nicht so sehr die Kosten.

Schwierigkeiten beim Ausbau des Hochspannungsnetzes bereiten im dichtbesiedelten Deutschland vielmehr die Proteste von Anwohnern. Eon zum Beispiel plant eine 190-Kilometer-Trasse vom Umspannwerk in Wähle bei Braunschweig bis nach Mecklar in Nordhessen – und erntet heftigen Widerstand in den Anwohnergemeinden. Eine andere Leistung soll vom Umspannwerk Diele bei Papenburg bis zum Umspannwerk Niederrhein in Wesel laufen, ein Projekt, das jeweils zu Teilen Eon und RWE betreiben.

Die Anwohner fordern stattdessen sogenannte HGÜ-Erdkabel – was für Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung steht. International gilt diese



Technik zunehmend als attraktive Möglichkeit, hohe elektrische Leistungen über lange Strecken zu transportieren. Die HGÜ-Technik arbeitet deutlich verlustärmer als normale Wechselstromtechnik und erlaubt zudem Kabellängen von mehr als 1000 Kilometern, was mit Wechselstrom aus physikalischen Gründen problematisch ist.
In China entsteht gerade eine 5000-Megawatt-HGÜ-Leitung über 1400 Kilometer, um Wasserkraft quer durchs Land zu transportieren. Zwar wurden die ersten kurzen HGÜ-Verbindungen schon vor 50 Jahren zur Überbrückung von Gewässern (zum Beispiel vor der schwedischen Insel Gotland) genutzt, doch erst moderne Halbleitertechnik (Thyristoren) ermöglicht heute den Einsatz dieser Technik in großem Stil.

kunft geprobt. Denn künftig sollen Windkraftparks gebaut werden, die mehr leisten als die größten der konventionellen Kraftwerksblöcke. In England soll ein Park mit 1200 Megawatt in der Greater Wash Area im Osten des Landes realisiert werden. Ein Windpark westlich von Sylt könnte in Stufen gar bis auf 5000 Megawatt gesteigert werden.

MIT EINER INSGESAMT geplanten Offshore-Leistung von etwa 9000 Megawatt will Großbritannien den Windkraftanteil am nationalen Strombedarf von derzeit knapp einem Prozent bis 2010 auf etwa sieben Prozent steigern. Ein Grund für das erhebliche Engagement der Briten ist die nüchterne Erkenntnis, dass mit absehbarem Ende der Ölvorräte in der Nordsee Alternativen her müssen. Die European Wind Energy Association (EWEA) schätzt, dass in Europa noch in diesem Jahrzehnt 10000 Megawatt Offshore-Leistung installiert werden, bis 2020 sollen es 70000 Megawatt sein. Derzeit laufen in den Seegebieten vor Dänemark, Schweden, Großbritannien und Irland bereits 413 Rotoren mit zusammen 826 Megawatt. Auch große deutsche Stromkonzerne haben bereits ihr Engagement in die Offshore-Windkraft angekündigt und zum Teil bereits mit dem Ausbau begonnen. Eon hat erklärt, bis 2011 in 500 Megawatt Offshore-Windenergie investieren zu wollen, Vattenfall sprach von 1,2 Milliarden Euro, die in diese Technik fließen sollen. RWE betreibt in Wales bereits mit „North Hoyle“ ein Projekt in der Irischen See und will noch im Jahr 2008 den Park „Rhyl Fiats“ mit 90 Megawatt vor der walisischen Küste bauen. Außerdem plant RWE einen 90-Megawatt-Park bei Mounes in Südfrankreich – den größten des Landes. Windkraftprojekte mit weiteren 80 Megawatt seien an der französischen Atlantikküste genehmigt, heißt es bei dem Essener Konzern, 200 Megawatt in Spanien seien bereits in Betrieb. Unterdessen hat auch China den Bau eines Offshore-Parks für das kommende Jahr angekündigt: Zunächst wollen die Ingenieure dort mit 50 Megawatt starten und das Projekt dann bis zum Jahr 2020 auf 1000 Megawatt aufstocken.

DEZIMALSYSTEM

Vorsilben im Dezimalsystem:

Kilo	Tausend	10^3
Mega	Million	10^6
Giga	Milliarde	10^9
Tera	Billion	10^{12}
Peta	Billiarde	10^{15}

1 Terawattstunde = 1 Milliarde kWh

Doch in allen Ländern wissen die Beteiligten nur zu gut, dass der Schritt vom Land aufs Meer noch manches unternehmerische Risiko birgt. Das musste auch der dänische Hersteller Vestas erleben, der Anfang 2003 mit seinem Projekt Horns Rev vor der dänischen Hafenstadt Esbjerg mit 160 Megawatt einen der größten Parks weltweit in Betrieb genommen hatte. Binnen nur eines guten Jahres setzte die aggressive Salzluft Genera-

„Deutschland hat das Zeug dazu, mit Windkraft den Weltmarkt zu erobern. Ab 2013 werden wir die Billigheimer im Energiemix sein." **ENERGIE-EXPERTE FRITZVAHRENHOLT**

Windgenerator „N80" in Grevenbroich am Niederrhein*: Wie werden die Vögel darauf reagieren?

toren und Transformatoren derart zu, dass alle 80 Maschinen zur Revision zurück an Land geholt werden mussten. Vestas-Chef Svend Sigaard blieb nur die Flucht in den Zweckoptimismus: Die Erfahrungen, erklärte er, seien zwar kostspielig, aber auch wertvoll gewesen.

In der Geschichte der Windkraft wird man diese Probleme als Kinderkrankheiten verbuchen. Denn die Perspektiven der Anlagenbauer sind blendend. Theoretisch könnte zum Beispiel Großbritannien eines Tages seinen Strombedarf sogar komplett aus der Windkraft decken – allerdings müsste dazu die Küste in Abständen von 10 Kilometern mit Windparks zugepflastert werden. Auch Deutschland hat nach Berechnungen der Technischen Universität Berlin ein technisches Stromerzeugungspotenzial an den Küsten von 237 Terawattstunden jährlich. Das wären mehr als 40 Prozent des bundesweiten Stromverbrauchs. Lauter geworden ist in den letzten Jahren jedoch der Chor der Kritiker, vor allem gegen die Windkraftparks an Land. Sie beklagen die „Verspargelung" der Landschaft, erst recht wenn die Windräder an Orten gebaut werden, an denen die Winde gar nicht stark und häufig genug blasen. Auch für die geplanten großen Windparks auf dem Meer fragen Naturschützer besorgt: Wie werden die Vögel darauf reagieren? Das Nationale Umweltforschungsinstitut in Kaie in Dänemark fand an der Offshore-Windfarm Tuno Knob heraus, dass die Tiere nicht gestört werden. Der untersuchte Park besteht allerdings nur aus zehn kleinen 500-Kilowatt-Anlagen. Die großen Parks in der Nordsee hingegen sollen bis zu 1000 Windräder umfassen, jedes bis zu fünf Megawatt stark – bei dieser Größe kann sich das Bild verändern. Die ersten Projekte in deutschen Gewässern sollen daher von einem intensiven biologischen Monitoring begleitet werden.

So hat die Windkraftbranche dank der rosigen Offshore-Perspektiven heute ein Ziel erreicht, das vor zwei Jahrzehnten mit einer

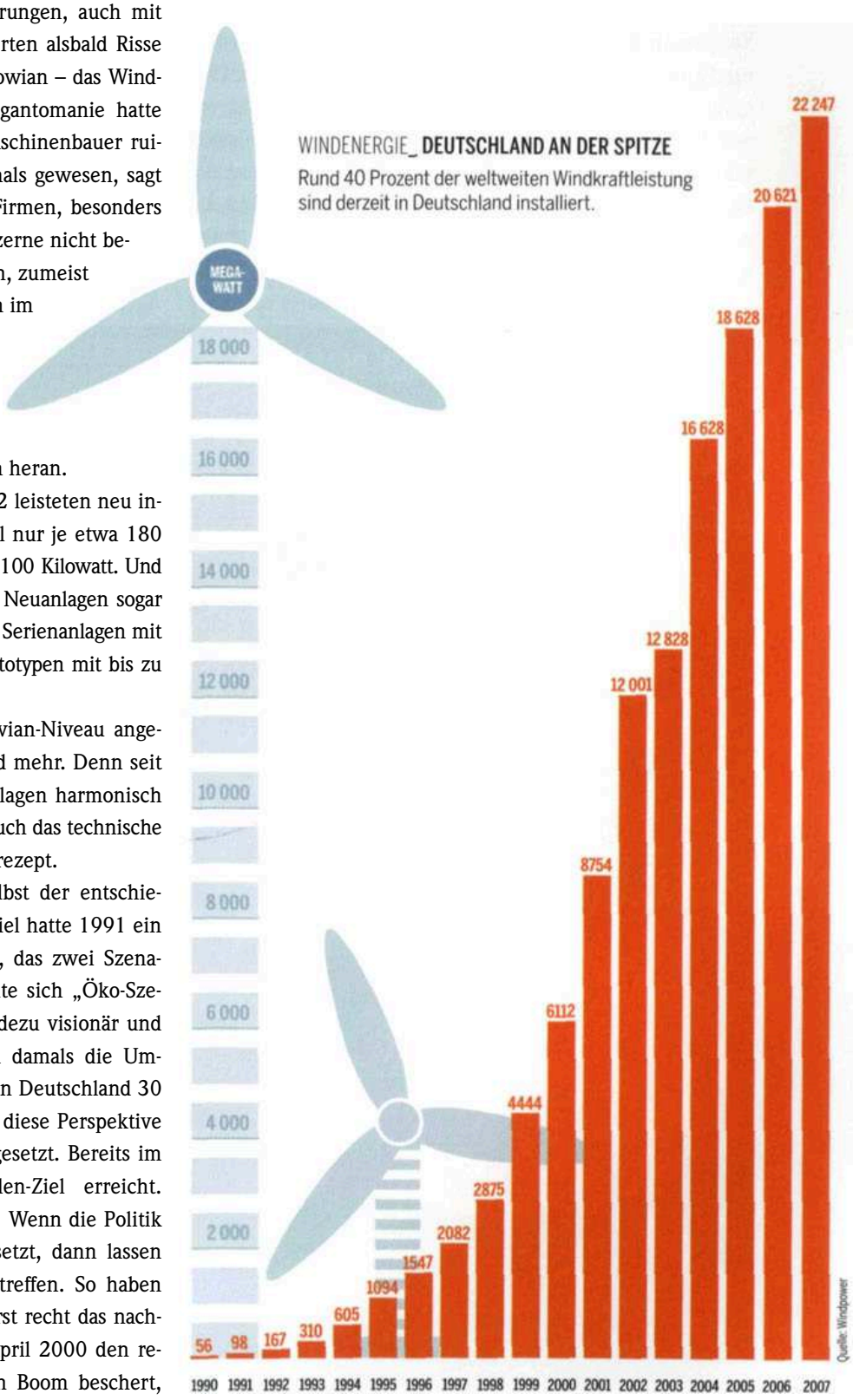
* Im Hintergrund das Braunkohlekraftwerk Neurath.

Niederlage begann. Damals hatten Maschinenbaukonzerne wie MAN bei Marne an der Elbmündung die Großwindanlage „Growian“ errichtet, ein prestigeträchtiges Forschungsprojekt mit drei Megawatt Leistung. Doch die Zeit war noch nicht reif für eine solche Großanlage. Die Erfahrungen, auch mit kleineren Windrädern, fehlten; so verhinderten alsbald Risse in der Rotornabe einen Dauerbetrieb des Growian – das Windkraftwerk wurde wieder abgebaut. Die Gigantomanie hatte sich als fatal erwiesen und den Ruf der Maschinenbauer ruiniert. „Ganz schön blauäugig“ sei man damals gewesen, sagt Windforscher Molly heute. Doch kleinere Firmen, besonders in Dänemark, ließen sich vom Flop der Konzerne nicht beirren. Sie bauten moderate Windkraftanlagen, zumeist mit Leistungen bis 100 Kilowatt, und fanden im Markt ihr Auskommen. Der aber wollte immer mehr Leistung sehen, und so tasteten sich die Firmen in einem gesunden und effizienten Wettbewerb in den folgenden Jahren an immer größere Maschinen heran.

Die Steigerung spricht für sich: Im Jahr 1992 leisteten neu installierte Turbinen in Deutschland im Mittel nur je etwa 180 Kilowatt, im Jahr 2000 waren es bereits gut 1100 Kilowatt. Und 2006 lag die durchschnittliche Leistung von Neuanlagen sogar schon bei 1,9 Megawatt. Inzwischen werden Serienanlagen mit jeweils mehreren Megawatt ausgeliefert, Prototypen mit bis zu 6 Megawatt sind bereits im Bau.

Obwohl man damit längst wieder auf Growian-Niveau angelangt ist, spricht von Gigantomanie niemand mehr. Denn seit dem Fiasko der achtziger Jahre sind die Anlagen harmonisch gewachsen, immer nur so schnell, wie sich auch das technische Know-how entwickelte. Das war das Erfolgsrezept.

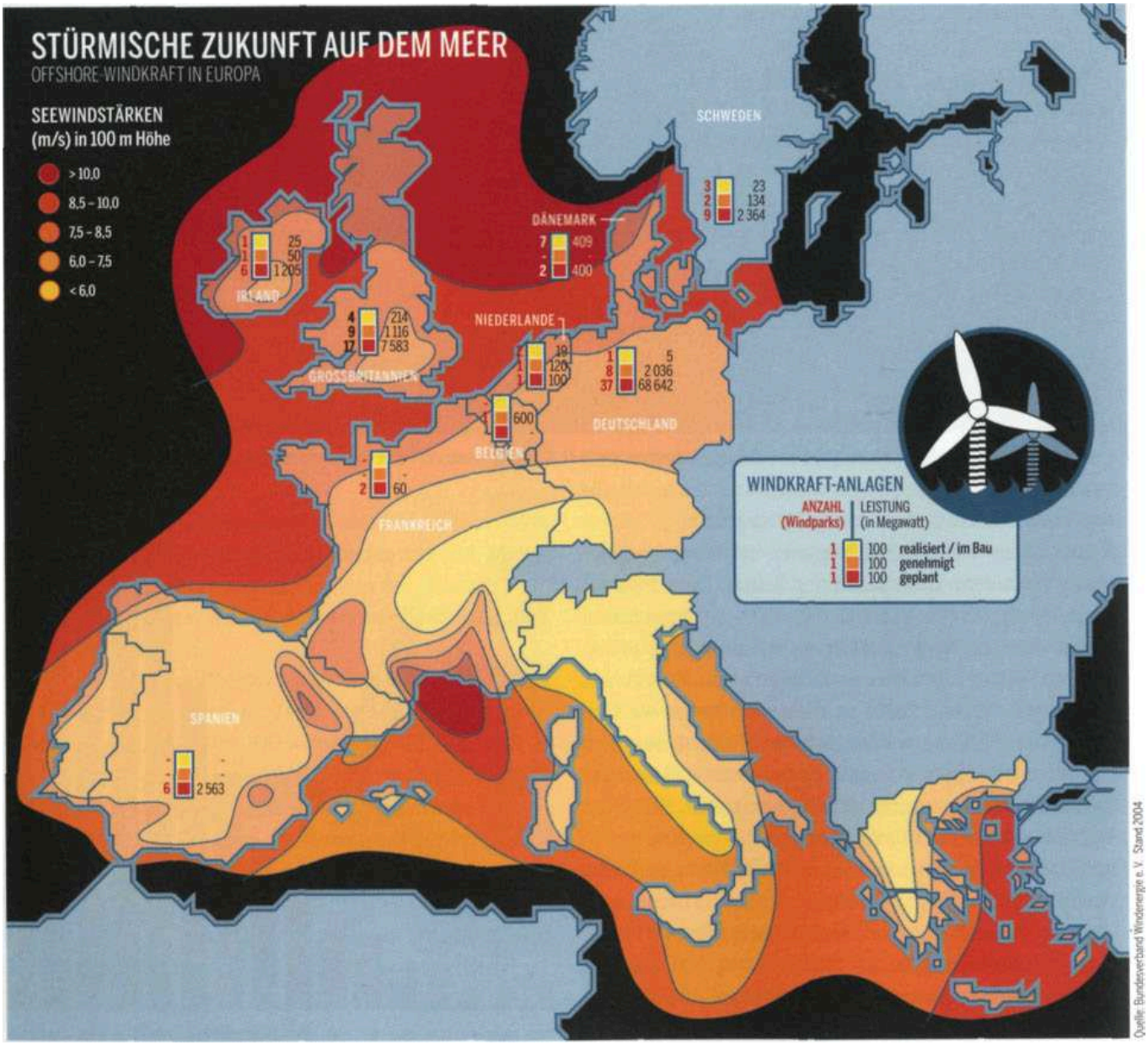
So übertraf die Branche die Prognosen selbst der entschiedensten Optimisten. Greenpeace zum Beispiel hatte 1991 ein Energiekonzept für Deutschland vorgestellt, das zwei Szenarien entwickelte. Das ambitioniertere nannte sich „Öko-Szenario“ und schien aus damaliger Sicht geradezu visionär und unerreichbar: Im Jahr 2010, so rechneten damals die Umweltschützer vor, könnten Windkraftwerke in Deutschland 30 Terawattstunden Strom erzeugen. Heute ist diese Perspektive Makulatur – sie war schlicht zu niedrig angesetzt. Bereits im Jahr 2006 wurde das 30-Terawattstunden-Ziel erreicht. Eine Schlussfolgerung daraus könnte lauten: Wenn die Politik die entsprechenden Rahmenbedingungen setzt, dann lassen sich selbst optimistische Voraussagen übertreffen. So haben das Stromeinspeisungsgesetz ab 1991 und erst recht das nachfolgende Erneuerbare-Energien-Gesetz ab April 2000 den regenerativen Energien in Deutschland einen Boom beschert,



der ebenso unerwartet kam, wie er weltweit einmalig ist. In Zahlen: Ende 2007 waren in Deutschland 22 247 Megawatt installiert. Damit überschreitet der Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung in Deutschland in einem mittleren Windjahr inzwischen die Sechs-Prozent-Marke. Schleswig-Holstein, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern decken bereits rund ein Drittel ihres Strombedarfs durch die Windkraft. Und spätestens wenn in wenigen Jahren die Offshore-Windkraft vor den deutschen Küsten startet, wird zumindest Schleswig-Holstein zum Windstrom-Exporteur.

Um an Land die Leistung weiter auszubauen, setzt die Branche zunehmend auf das sogenannte Repowering, also auf den Abriss alter und den Bau neuer Windräder am selben Standort. Denn viele Anlagen aus den Anfängen der Windkraft – meist in den frühen neunziger Jahren installiert – holen längst nicht den Ertrag aus dem Wind, den moderne Anlagen bringen. Wenn dann drei 250-Kilowatt-Maschinen durch eine moderne Zwei-Megawatt-Anlage ersetzt werden, verdreifacht sich der Ertrag bei gleichzeitig deutlicher Reduktion der Rotoren. Vor allem dort, wo die Windkraft aus Gründen des Landschaftsbildes kritisch gesehen wird, kann Repowering somit sinnvoll sein.

Das Potenzial immerhin ist beachtlich: In Deutschland wurden bis einschließlich 1995 mehr als 3600 Windkraftanlagen errichtet. Diese Anlagen mit zwölf und mehr Betriebsjahren gelten als die bevorzugten Anwärter für das Repowering. Die Leistung der bis 1995 errichteten Anlagen lag durchschnittlich bei rund 300



Kilowatt – heute werden im Schnitt Anlagen mit zwei Megawatt errichtet.

Die Branche nennt zwar ein jährliches Zubaupotenzial von 2000 Megawatt durch Repowering, doch ob dieses erschlossen werden kann, ist fraglich. Die jüngsten Zahlen jedenfalls machen noch nicht allzu viel Hoffnung: Bundesweit wurden im Jahr 2006 gerade 79 Anlagen mit zusammen 26 Megawatt abgebaut und durch 55 neue Maschinen mit 136 Megawatt ersetzt. Der Grund ist offensichtlich: Der Austausch alter Rotoren durch neue Anlagen bedarf der Zustimmung der Gemeinden, da Baugenehmigungen stets nur typenspezifisch erteilt wurden – und dabei stellen sich viele Kommunen bislang noch quer.

Auch mit Repowering will Deutschland sich seinen internationalen Spitzenplatz sichern, den es seit Jahren einnimmt. 28 Prozent der weltweit installierten Windkraft stehen heute in Deutschland, es folgen Spanien und die USA mit jeweils knapp 16 Prozent. Zudem ist Deutschland mit 37 Prozent Weltmarktanteil die „größte Manufaktur für Windkraftanlagen“, wie die Deutsche Bank Research kürzlich in einer Marktanalyse formulierte. Rund sechs Milliarden Euro Umsatz erzielt die deutsche Windkraftbranche jährlich, bei einer Exportquote von 74 Prozent im Jahr 2006. Und da der Weltmarkt rapide wächst – 2006 um 26 Prozent auf 15,4 Milliarden Euro –, dürften die Exporte weiter zunehmen, obwohl auch die anderen starken Länder wie Spanien und die USA ihre Fertigung ausbauen.

Es locken attraktive Geschäftsfelder: Das weltweite Windpotenzial liegt nach unterschiedlichen Schätzungen etwa 100- bis 200-mal so hoch wie der gesamte Stromverbrauch Deutschlands; nur etwa 0,1 Prozent des global verfügbaren Windangebotes sind bisher genutzt.

GEGNER DER WINDKRAFT in Deutschland sprechen von den Kosten: Zu teuer sei der Strom aus den Windmühlen, viel zu hoch die garantierte Vergütung für den Windmüller. Als Beweis muss wiederum der Erfolg der Windkraft in Deutschland herhalten, etwa mit der These: Die Windkraft boomt nur, weil der Gesetzgeber die Erträge vergoldet. Doch die Realität ist eine andere. Deutschland liegt mit seinen Einspeisevergütungen im europäischen Vergleich nur auf einem mittleren Niveau. Einige Länder, in denen deutlich höhere Sätze gezahlt werden, brachten ihre Windkraft trotzdem kaum voran. Damit liegt der Grund für die Erfolge in Deutschland offensichtlich nicht zuvorderst in der Höhe der Vergütungssätze, sondern vielmehr in der langfristigen Verlässlichkeit der Rahmenbedingungen und der unbürokratischen Umsetzung.

In Deutschland bekommt ein Windmüller, der im Jahr 2007 an Land eine Anlage ans Netz brachte, eine Vergütung von 8,19 Cent je Kilowattstunde für mindestens fünf Jahre garantiert. Frühestens nach fünf Jahren – an windärmeren Standorten erst später – sinkt die Vergütung auf 5,18 Cent je Kilowattstunde. Für Offshore-Anlagen gelten etwas höhere Sätze. Nach 20 Betriebsjahren läuft die garantierte Einspeisevergütung aus.

Weil der Gesetzgeber die Hersteller dazu motivieren will, die Windkraftanlagen preiswerter zu machen, sinken die Vergütungssätze für Neuanlagen jedes Jahr um zwei Prozent. Entscheidend für die Vergütungshöhe ist also jeweils das Jahr der Inbetriebnahme. Bislang hat die Industrie diesen Rückgang der Einspeisevergütungen immer mit ihren Anlagenpreisen nachvollziehen können – so wurde Windstrom stetig billiger. Er kostete vor 15 Jahren noch etwa zweieinhalbmal so viel wie heute. Vor allem das deutsche Vergütungssystem mit auskömmlichen und nach und nach sinkenden Vergütungen hat dazu beigetragen, die Kosten pro Kilowattstunde Windstrom zu senken.

So ist der Windstrom heute gar nicht mehr weit von den Strom-Marktpreisen entfernt. Nach einer fünfjährigen Startphase erhält eine 2008 neu installierte Windkraftanlage in Deutschland nach derzeitiger Gesetzeslage pro Kilowattstunde noch 5,08 Cent Vergütung. Am Terminmarkt der Leipziger Strombörse wurden im Herbst 2007 Kontingente für 2008 hingegen für rund 6 Cent gehandelt. Die Vergütung für Windstrom liegt demnach bei den günstigsten Anlagen bereits unterhalb des Marktpreises.

Bei weiter sinkenden Produktionskosten der Windkraft und zugleich steigenden Kosten der konventionellen Energien ist der Zeitpunkt absehbar, zu dem der Windstrom die Marktpreise generell unterbieten wird. Branchenkenner wagen die Vorhersage: Zwischen 2010 und 2015 wird sich die Schere schließen.

Windkraft, meinte schon vor einigen Jahren der damalige Chef der Windkraftfirma Repower, Fritz Vahrenholt, jetzt zuständig für erneuerbare Energien bei RWE, habe das Zeug dazu, „den Weltmarkt zu erobern“. Vahrenholts Prognose: „Ab 2013 werden wir die Billigheimer im Energiemix sein.“ ◄

BERNWARD JANZING, arbeitet als freier Energie-Fachjournalist in Freiburg.