



Meeresstrom

Auf der Suche nach Energiequellen ist eine unerschöpfliche Reserve bisher kaum angezapft worden – das Meer. Dabei sind Wind, Wellen und Gezeiten stärker als alle Kraftwerke der Welt zusammen

Text: Olaf Kantèr Illustrationen: Günter Radtke

34 Rotoren an einem Mast, das ganze wie eine riesige Boje im Meer verankert – so stellt sich William Heronemus, Professor an der Universität von Massachusetts, die Zukunft der Windenergie vor

DIE MENSCHHEIT BRAUCHT Strom, zurzeit ungefähr 15 Billionen Kilowattstunden im Jahr. Da sie noch wächst, wird das bald nicht mehr reichen. Wissenschaftler haben für das Jahr 2050 hochgerechnet, dass eine Bevölkerung von zehn Milliarden Menschen etwa 30 Billionen Kilowattstunden verbrauchen wird. So weit also die Nachfrage Seite.

Kein Problem eigentlich, das Energieangebot auf unserem Planeten ist üppig. Da wären zum Beispiel die Reserven der Ozeane. Nach einer Schätzung des „Marine Foresight Panel“, einem Expertengremium, das die britische Regierung berät, würde es genügen, 0,1 Prozent der im Meer gespeicherten Energie in Elektrizität zu verwandeln, um den derzeitigen Weltbedarf gleich fünf Mal zu decken.

Über die mutigen Annahmen in dieser Rechnung werden sich die Gelehrten noch lange streiten. In einem Punkt aber sind sie sich einig: Die sieben Weltmeere sind gigantische Batterien, die immer wieder neu geladen werden. Die Sonne heizt die See, der Wind schiebt Wellen an, Ebbe und Flut setzen gigantische Wassermassen in Bewegung. Doch lassen sich diese Kräfte messen? Die Zahl der Briten ist wahrscheinlich pure Provokation. Was sie meinen: Es gibt genug Energie, warum holen wir sie uns nicht?

Weil wir es erst wieder lernen müssen. Vor tausend Jahren haben sich in Persien die ersten Windmühlen gedreht, und in Portugal und Spanien liefen 500 Jahre später Wassermühlen, deren Räder von Ebbe und Flut angetrieben wurden. Doch mit der Erfindung der Dampfmaschine gerieten die natürlichen Energieströme in Vergessenheit, es begann das Zeitalter der fossilen Brennstoffe. In kürzester Zeit wurde verheizt, was in Jahrtausenden entstanden ist. 64 Prozent des Strombedarfs werden heute aus Kohle, Öl und Gas gewonnen. Wie lange die Vorkommen noch reichen? Düstere Prognosen gehen davon aus, dass die Ölquellen in 40 Jahren versiegen, Gas noch für 70 Jahre langt und Kohle für 240.

Ein zweites Problem wiegt schwerer:

Mit der Verfeuerung von fossilen Brennstoffen werden jedes Jahr weltweit 23 Milliarden Tonnen Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre geblasen, wo sie den Treibhauseffekt weiter verstärken. Nach den jüngsten Berechnungen der Klimaforscher werden die Temperaturen in diesem Jahrhundert um weitere 1,4 bis 5,8 Grad ansteigen. Die möglichen Folgen für das Treibhaus Erde: eine Zunahme extremer Witterungsverhältnisse und ein Anstieg der Meeresspiegel um bis zu 88 Zentimeter. Für Küstenländer wie Bangladesch und Inselstaaten wie Kiribati bedeutet das: Land unter.

Die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas muss also zurückgefahren werden. Aber wie? Die Atomkraft ist auch keine Alternative. Sie produziert außer Strom – 17 Prozent des Weltbedarfs – giftigen Müll und Betriebsstörungen nebst unkalkulierbaren Restrisiken. Sie ist technisch wie politisch ein Auslaufmodell und taucht in manchen Zukunftsszenarien ab 2040 gar

Schon 0,1 Prozent der Energie im Meer würden den Strombedarf der Welt decken

nicht mehr auf.

Bleiben die erneuerbaren Energien. Das Wuppertal Institut für Klima, Energie und Umwelt zum Beispiel geht davon aus, dass bis zum Jahr 2050 mehr als zwei Drittel der Elektrizität mit Hilfe von Wind, Wasser, Sonne, Erdwärme und Biomasse erzeugt werden.

Eine schwierige Vorgabe: Die alternativen Energien haben zwar einen Anteil von knapp 19 Prozent an der globalen Stromversorgung. Doch den größten Beitrag liefern dabei konventionelle Talsperren- und Laufwasserkraftwerke. Die Technik ist bewährt, aber mit erheblichen Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden und deshalb kaum ausbaufähig.

Also müssen Wind, Sonne & Co. die Lücke auf der Angebotsseite schließen – Stromlieferanten, die heute gerade einmal

0,7 Prozent der weltweiten Versorgung bestreiten. Allerdings ist in den Berechnungen der Energieforscher eine Reserve noch gar nicht angezapft – das Meer. Können uns die großen Ressourcen der Ozeane vor der Energiekrise bewahren?

Der Tidenhub war die erste Meereskraft, an die sich die Ingenieure erinnerten – noch bevor die Risiken und Nebenwirkungen von CO₂ bekannt waren. An der Mündung des französischen Flusses Rance bei Saint-Malo, wo zwischen Hoch- und Niedrigwasser 13,5 Meter liegen, bauten sie 1966 das erste und größte Gezeitenkraftwerk der Welt.

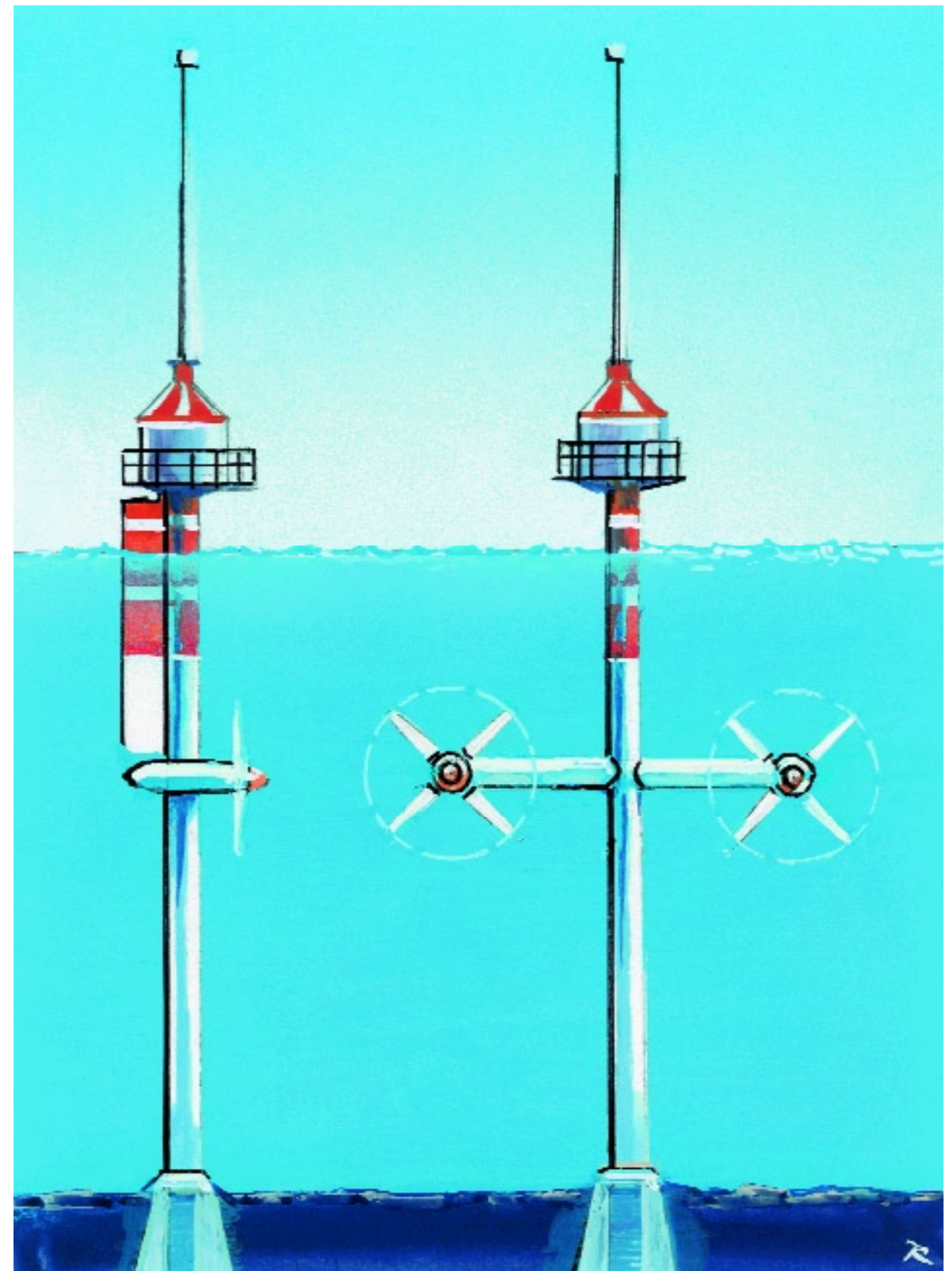
Ein 740 Meter langer Damm trennt Meer und Bucht. Wenn der Wasserstand draußen hoch genug ist, öffnen sich die Tore des Sperrwerks, und die Flut strömt durch 24 Turbinen à 10 Megawatt in das leere Speicherbecken hinter dem Damm. Bei Ebbe läuft das aufgestaute Wasser durch die Turbinen zurück in den Golf von Saint-Malo.

Auch wenn die Betreiber von Rance zufrieden mit ihrem Kraftwerk sind: Weltweit sind sonst nur ein paar kleinere Versuchsanlagen gebaut worden. Die Mündung des Severn in England und die Bay of Fundy in Kanada galten als aussichtsreiche Standorte für weitere Großkraftwerke, aber inzwischen sind die Planer davon abgerückt.

Aus gutem Grund: Welche Dimension Eingriffe in die Tidenverhältnisse haben, rechnen Wasserbauer gern an dem verworfenen kanadischen 1400-Megawatt-Projekt vor. Hätte man die Flut in der Bay of Fundy gestaut, die Veränderungen der Gezeiten wären selbst im Hafen von New York, 800 Kilometer weiter im Süden, noch messbar gewesen.

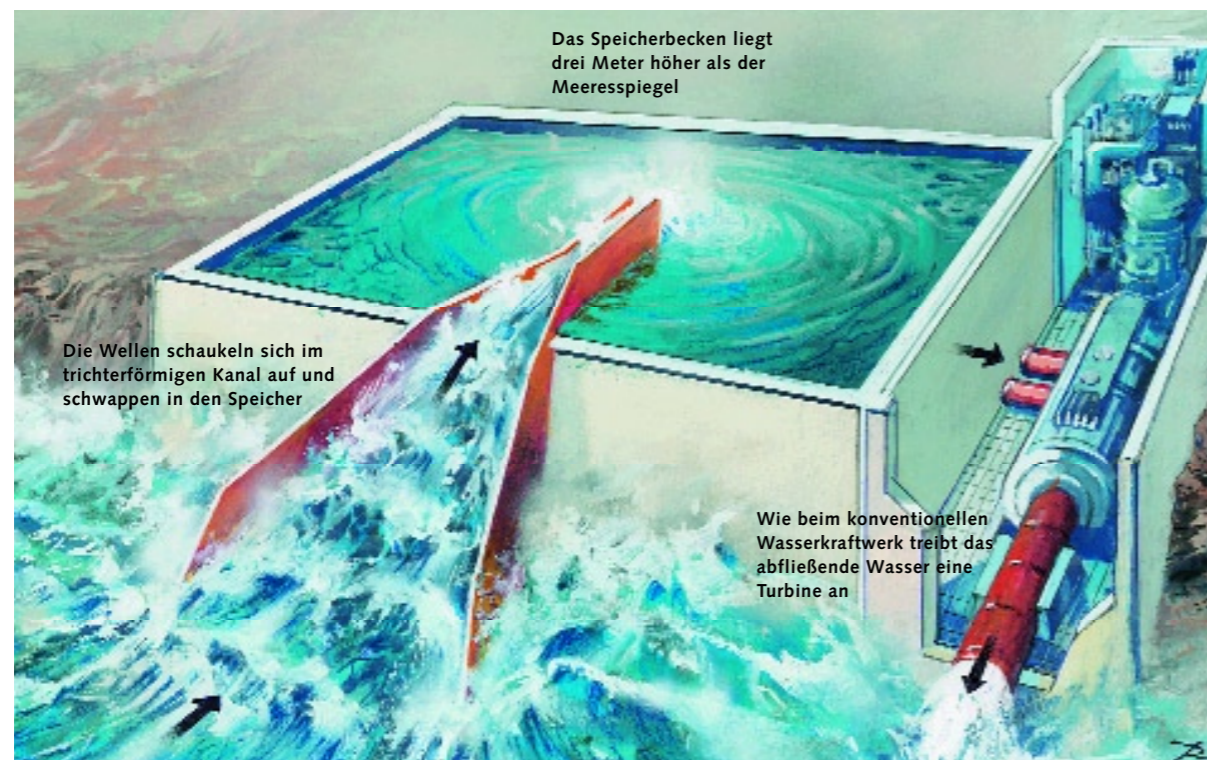
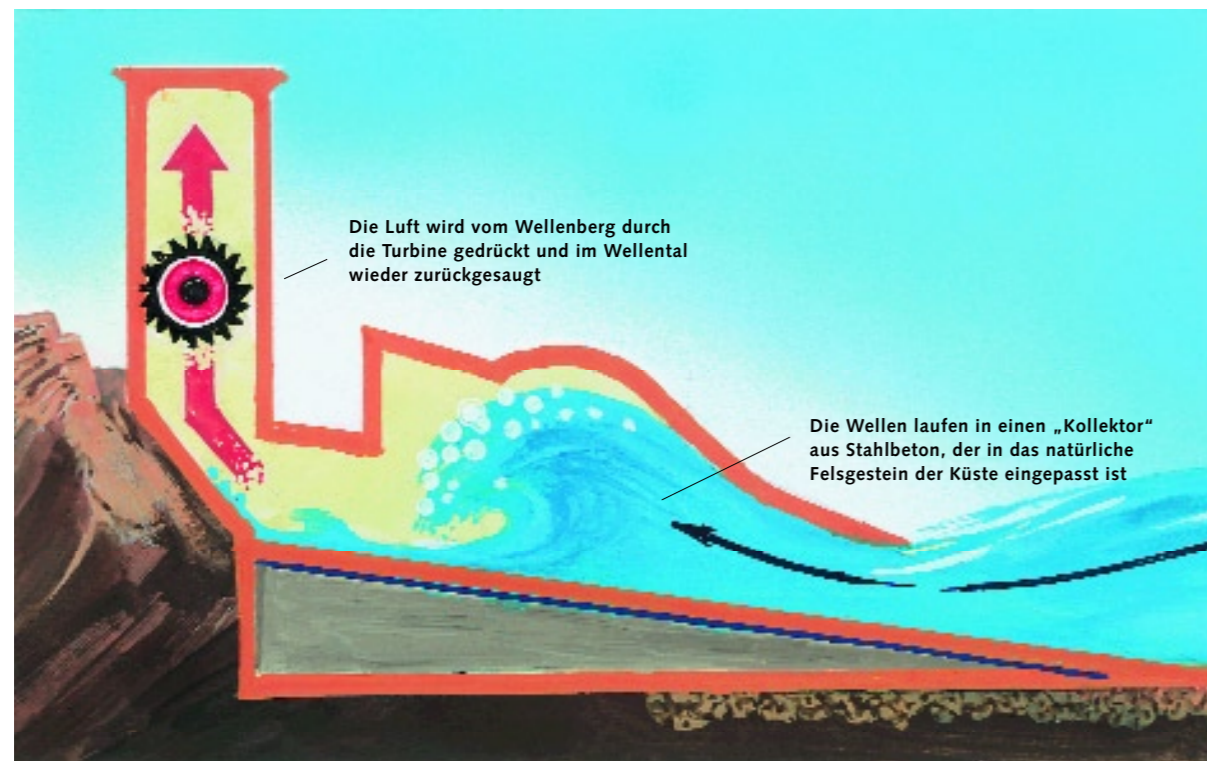
Ebbe und Flut haben als Energielieferanten dennoch eine Zukunft. Wissenschaftler der Universität Kassel entwickeln zurzeit gemeinsam mit britischen Ingenieuren ein Unterwasserkraftwerk, mit dem sie Meeresströmungen wie die Gezeiten oder auch den Golfstrom als Stromproduzent nutzen wollen. Ihr Kraftwerk funktioniert im Prinzip genauso wie eine Wind-

STROM AUS STRÖMUNG • Windräder gehen auf Tauchstation



Das „Seaflo“-Kraftwerk, das im kommenden Jahr vor der Küste Cornwalls verankert wird, nutzt bewährte Technik aus der Windkraft: Das anströmende Wasser setzt den Rotor in Bewegung

WELLENKRAFTWERKE • Kilowatt aus dem Auf und Ab



oben: Das Prinzip „Schwingende Wassersäule“ versorgt auf der schottischen Insel Islay 400 Haushalte
unten: Das Prinzip „Spitz zulaufender Kanal“ leistete im norwegischen Toftestallen 350 Kilowatt

kraftanlage an Land: Das anströmende Wasser setzt einen Rotor in Bewegung. Da die Dichte von Wasser deutlich größer ist als die von Luft, genügt auch das eher gemächliche Tempo von Ebbe und Flut, um Strom zu gewinnen.

Die Pilotanlage „Seaflo“ wird im kommenden Jahr auf dem Meeresgrund im Kanal von Bristol vor der Küste Cornwalls verankert, wo der Gezeitenstrom mit einer Geschwindigkeit von etwa acht Kilometern pro Stunde fließt. Mit seinem 15 Meter breiten Rotor ist das Unterwasserkraftwerk für eine Leistung von 350 Kilowatt ausgelegt.

Wirtschaftlich interessant sind die kurze Entwicklungszeit und die niedrigen Kosten einer solchen Anlage. Die Technik stammt aus der Windkraft; sie muss lediglich wasserfest gemacht werden. „Auf Rotor und Turm lastet in der Strömung ein Druck von 500 Tonnen“, erklärt Jochen Bard, Professor für Energieversorgungstechnik in Kassel und Projektleiter des deutschen Teams.

Ein weiterer Vorteil der Unterwasserpropeller ist, dass Belastungen besser vorherzusagen sind als bei Windrädern an Land. Selbst wenn oben Stürme toben, verändert sich die Lage unter Wasser kaum. Auch einen Leistungsabfall wegen Flaute wird es auf dem Meeresgrund nie geben. Ebbe und Flut haben keine Aussetzer, niemals.

Bau und Betrieb werden nach Ansicht der Forscher nur minimale Eingriffe in die Natur erfordern: „Strömungsgebiete sind keine kuscheligen Laichplätze. Da halten sich kaum Tiere auf, die durch unsere Rotoren beeinträchtigt werden könnten“, meint Jochen Bard. Auch der Mensch hat keinen Grund zur Beschwerde. Anders als bei herkömmlichen Kraftwerken oder Rotoren an Land ist von „Seaflo“ nichts zu hören und nur wenig zu sehen. Lediglich die Spitze des Turms ragt ein paar Meter aus dem Wasser – wie ein großes Seezeichen.

Eine Analyse von 106 möglichen Stand-

orten in Europa hat ergeben, dass Kraftwerke in „Stromschnellen“ wie dem schottische Pentland Firth oder der Straße von Messina zwischen Sizilien und Italien insgesamt 12 000 Megawatt zur Energiegewinnung beisteuern könnten, immerhin ein Potenzial, das zwölf Atomkraftwerke überflüssig machen würde. In Großbritannien hofft man, mit Hilfe der neuen Technologie künftig ein Fünftel des nationalen Strombedarfs bestreiten zu können.

Auch in Deutschland sind Anwendungen denkbar, obwohl der Tidenhub hier vergleichsweise schwach ausfällt. Kai-Uwe Graw, Professor für Wasserbau an der Universität Leipzig, hält es für möglich, mit Hilfe der Unterwasser-Rotoren Küstenschutz und Stromproduktion zu vereinen. „Sie nehmen der Strömung Energie und wirken so als Bremse“, lautet sein Ansatz. „Wenn wir diese Anlagen zum Beispiel an der Südspitze von Sylt geschickt verteilen,

20 Milliarden Mark wollen deutsche Firmen in den Offshore-Wind investieren

können wir die Gewalten zügeln, die der Insel regelmäßig Land rauben.“

Am schnellsten wird die Windkraft Lücken im Energieangebot schließen können. Nicht an Land, da sind ihrer Expansion aus Platzmangel Grenzen gesetzt. Die Zukunft des Windes liegt auf See – trotz höherer Baukosten für aufwändige Fundamente und teure Seekabel. Denn „offshore“ weht der Wind stärker und regelmäßiger – und garantiert einen 40 Prozent höheren Ertrag als an Land.

Deutschland könnte theoretisch mehr als die Hälfte seines Energiebedarfs mit Offshore-Windkraft decken. Die Umweltschutzorganisation Greenpeace und das Deutsche Windinstitut in Wilhelmshaven haben die technisch mögliche Ausbeute auf 237 Terawattstunden im Jahr berechnet. Der griechische Buchstabe Tera steht in der Sprache der Fachleute, die mit gigan-

tischen Werten hantieren, für eine Billion.

Acht Unternehmen haben inzwischen beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) Anträge auf den Bau von Offshore-Windparks gestellt. „Prokon Nord“ zum Beispiel will 45 Kilometer vor Borkum 208 Rotoren aufstellen, die zusammen 1000 Megawatt produzieren. „Winkra“ möchte 17 Kilometer vor Helgoland 100 Windräder in den Nordseeegrund pflanzen. Mehr als 20 Milliarden Mark würden deutsche Firmen in den Offshore-Wind investieren – wenn sie nur schon dürften.

Doch es gibt noch Regulierungsbedarf, denn die Windparks benötigen viel Platz. Die Faustregel lautet, dass sich auf einem Quadratkilometer Rotoren mit einer Leistung von sechs Megawatt unterbringen lassen. Der 1000-Megawatt-Windpark vor Borkum müsste sich also über eine Fläche von 13 mal 13 Kilometern ausbreiten. Da sind Interessenkonflikte programmiert. Der Schifffahrt dürfen die Rotoren nicht in den Weg kommen, der Marine, den Fischern und dem Naturschutz auch nicht.

Überhaupt: Wie sieht es mit der Umweltverträglichkeit aus? Die geplanten Anlagen haben einen Rotordurchmesser von 100 Metern. Kein Wunder, dass manchen Naturschützern vor den „Vogelschreddern“ graut. Tatsächlich kann niemand vorher sagen, wie die Tierwelt auf solche Propellerbarrieren reagieren wird.

Greenpeace und das Deutsche Windinstitut empfehlen in ihrer Studie „Zukunft Windkraft: Die Energie auf dem Meer“ deshalb dringend weitere Forschung und die Ausweisung von Vorranggebieten, die wegen ihrer „niedrigsten ökologischen Auswirkungen“ am besten für Offshore-Anlagen geeignet sind. „Die Windenergie ist für die Reduzierung der CO₂-Emissionen und den künftigen Energiemix unheimlich wichtig“, sorgt sich Sven Teske, Energie-Experte bei Greenpeace. „Da dürfen bei den Genehmigungs-

Einfach keine Fehler gemacht werden.“

ine andere Meereskraft liegt noch weitgehend brach. Auf ein Terawatt – ungefähr so viel wie die Leistung von 1000 Atomkraftwerken – schätzt das World Energy Council das weltweite Potenzial der Wellenenergie. Ihr größtes Manko ist die Unberechenbarkeit: Mal schwappen die Wellen harmlos an die Küste, mal bäumen sie sich zu Brechern mit brutaler Zerstörungskraft auf. Zuletzt haben sie im August 1995 das englische Wellenkraftwerk „Osprey“ versenkt, bevor es auch nur eine einzige Kilowattstunde Strom produziert hat.

Auf den Patentämtern dieser Welt lagern Hunderte von Vorschlägen, wie Wellen in Watt verwandelt werden könnten. Die wenigsten sind über die Papierform herausgekommen, nur zwei Entwürfe haben es zum ausgewachsenen Kraftwerk gebracht.

Im norwegischen Toftestallen wurde 1986 eine „Tapchan“-Pilotanlage mit einer Leistung von 350 Kilowatt installiert. Tapchan steht für „tapered channel“, einen spitz zulaufenden Kanal, in dem sich die Wellen zu einer größeren Höhe aufschaukeln. Sie gelangen über diesen Trichter in ein Speicherbecken, das drei Meter über dem Meeresspiegel liegt. Von dort fließt

das Wasser durch eine Turbine zurück ins Meer. Ein simples System, das allerdings recht viel Platz beansprucht. Weil Geld für die Wartung fehlte, hat es inzwischen den Betrieb eingestellt.

Auf der schottischen Insel Islay ist im November 2000 eine robustere Version des „Osprey“-Kraftwerks ans Netz gegangen, von dem sich die Fürsprecher der erneuerbaren Energien besonders viel versprechen. Der 500-Kilowatt-Wellenwandler „Limpet“ sitzt wie die Napfmuschel,

In den Wellen steckt so viel Energie wie in 1000 Atomkraftwerken

von der er seinen Namen hat, am Fels der Steilküste und nutzt das Prinzip der „schwingenden Wassersäule“.

Das Kraftwerk besteht aus einem Hohlkörper, der unterhalb der Wasserlinie geöffnet ist. Das ansteigende Wasser eines Wellenberges presst die Luft aus der Kammer durch eine Turbine, das fallende Wasser eines Wellentals saugt sie wieder zurück. Die Turbine ist so konstruiert, dass sie sich bei beiden Arbeitsgängen in dieselbe Richtung weiterdreht.

„Limpet“ und „Seaflo“ sind Hoffnungsträger einer neuen Zeit. Wenn sie Erfolg haben, dann kommen die erneu-

erbaren Meeres-Energien endlich über ein Hindernis, das Wasserbauer Kai-Uwe Graw ein „emotionales Problem“ nennt. Es stammt noch aus der Zeit der ersten Ölkrise vor knapp 30 Jahren: „Wir sind damals bei der Suche nach alternativen Energien eigentlich schnell zu passablen Ergebnissen gekommen“, meint Graw. Aber mit dem Fall der Ölpreise wurden die Alternativen schnell wieder verworfen. Zu teuer! Zu aufwändig! „Das Etikett klebt noch immer“, schimpft Graw: „Rechnet sich nicht! Das war die Standardantwort für jeden, der die erneuerbaren Energien wieder in die Diskussion brachte.“

Aber jetzt neigt sich das Zeitalter der fossilen Brennstoffe seinem Ende zu. „Limpet“ und „Seaflo“ haben wie die Windenergie das Zeug dazu, außer Strom auch das Interesse der großen Energiekonzerne zu gewinnen. Erst wenn diese ihre Investitionen in Richtung Meer lenken, sind die Quantensprünge bei Technik und Kosten möglich, die Wellen- und Strömungsenergie noch machen müssen, wenn sie den Hunger der Welt auf Strom stillen wollen.....

*Olaf Kanter, Jahrgang 1962, ist mare-Redakteur für Politik und Wirtschaft. Zuletzt schrieb er in Heft 24 über Irrtümer der Admirale im Seekrieg.
Günter Radtke, geboren 1920, ist Presse-Illustrator*

GEZEITENKRAFTWERK • Der Schwung zwischen Ebbe und Flut

Das 240-MW-Kraftwerk im französischen Rance nutzt den Tidenhub: Bei Flut strömt das Wasser vom Meer durch die Turbinen in die leere Bucht, bei Ebbe umgekehrt

