

Auf dem Fensterbrett im Büro von Jürgen Schmid unweit von Kassels großzügiger Wilhelmshöher Allee steht das Modell eines Windrads, das mithilfe einer Solarzelle angetrieben wird. Es ist zu klein, um als Ventilator an heißen Sommertagen zu dienen, aber doch groß genug, um die Leidenschaft des Vorstandsvorsitzenden des Instituts für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) anzudeuten: Schmid hat sein wissenschaftliches Leben der Erforschung und Entwicklung regenerativer Energien gewidmet und das von ihm geleitete Institut zu einer international führenden Forschungseinrichtung für umweltfreundliche Energien gemacht. So war das ISET die wissenschaftliche Beratungsinstitution des von der Bundesregierung über fast sechzehn Jahre geförderten „250-Megawatt-Wind-Programms“. Im Rahmen dieses weltweit größten Windenergie-Projekts wertete das ISET die Erfahrungen an 1500 Windrädern aus. Schmid bemerkte nicht ohne Stolz, dass dieser junge, vor Jahren noch belächelte Industriezweig binnen zwanzig Jahren allein in Deutschland mehr als 60 000, stark exportorientierte Arbeitsplätze geschaffen habe. Die größte deutsche Firma auf diesem Gebiet, Enercon in Aurich hat in dreißig Jahren über 11 000 Windenergieanlagen gebaut, beschäftigt weltweit über 8000 Mitarbeiter und erwirtschaftete 2004 einen Umsatz von 1,2 Milliarden Euro. Fünfzig Prozent der Geschäfte tätigt das Unternehmen im Ausland. Das entsprach einem Weltmarktanteil von fast vierzehn Prozent. Enercons Anteil an

internationalen Windtechnologie-Paten-ten lag gar bei vierzig Prozent. Durch Weiterentwicklungen in den Bereichen Forschung, Entwicklung, Produktion und Vertrieb wollen die Ostfriesen ihre Marktposition ausbauen.

Die Windkraft und die Photovoltaik sind aber nur noch zwei Standbeine des ISET. Längst forschen die Kasseler Wissenschaftler auch über Biomasse-Nutzung und Meeresenergiiekraftwerke – ein Bereich, dem auch vonseiten der Industrie ein hohes Potenzial zugeschrieben wird. Die ISET-Experten schätzen, dass das Gesamtpotenzial der unterschiedlichen Zweige der Meeresenergie in technisch ausgereifter Form – ohne Offshore-Windanlagen – insgesamt 5000 Terrawattstunden pro Jahr liefern könnte, was einem Drittel des Weltstromverbrauchs entspräche.

Dass sein Institut eigentlich den Namen ändern müsste, kümmert den unaufgeregten argumentierenden grauhaarigen Dekan des Fachbereichs Elektrotechnik/ Informatik an der Universität Kassel wenig: „Wenn man Solarenergie als erneuerbare Energie versteht, passt es schon, denn indirekt hängt alle Energie mit der Sonne zusammen.“ Das gelte auch für die Energiepotenziale der Ozeane, deren Wasser verdunste und woanders zu Regen werde, um dann wieder in Flüsse zu fließen, die schließlich im Meer endeten.

Doch nicht nur der Zyklus von Sonne, Wind und Wasser verbindet Solar- und Meeresenergie. Auch technologisch sind beide Formen der Stromerzeugung ver-

wandt, erklärt Jochen Bard, Diplom-Physiker und ISET-Experte im Bereich Meeresenergien. Sein Spezialgebiet sind Meeresströmungsturbinen. Auf diesem Gebiet kooperiert das ISET mit dem britischen Unternehmen IT Powers in einem von der EU und dem Bundesumweltministerium geförderten Projekt zur Entwicklung einer kommerziell nutzbaren 300-Kilowatt-Turbine. Seit 2003 steht der weltweit erste Prototyp „Seaflow“ in der Nähe von Bristol vor der britischen Westküste. Meeresströmungsturbinen funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie Windkraftanlagen, so Bard. Sie nutzen mithilfe eines Rotors die kinetische Energie der Wasserströmung des Meeres zum Antrieb eines elektrischen Generators. Dank der Ähnlichkeit der Konzepte konnten technische Lösungen übertragen, Erfahrungen aus dem Betrieb von Offshore-Ölplattformen und dem Schiffsbau konnten integriert werden. Bard schätzt, dass die Meeresströmungstechnik bis zu 800 Terrawattstunden pro Jahr (TWh/a) liefern könnte.

Prinzip Verwandlung

Auch andere Formen der Meeresenergieforschung machen sich das in der Windenergie erprobte Prinzip der Energieverwandlung zu eigen. So nutzen Gezeitenkraftwerke mithilfe eines langen Damms den Tidenhub, um Wasserturbinen anzureiben. An der französischen Atlantikküste bei St. Malo steht seit 1966 das größte Gezeitenkraftwerk der Welt mit einer Gesamtleistung von 240 Megawatt. In Kanada, Portugal, Brasilien sind Gezeitenkraftwerke in Betrieb beziehungsweise in Planung. Ökologisch wie ökonomisch findet Bard die notwendigen langen Staumauern problematisch, denn der Bau sei teuer und greife in die Natur ein. Er lasse sich nur dort sinnvoll realisieren, wo bereits Dämme für den Küstenschutz geplant seien. Außerdem könne ein Gezeitenkraftwerk nur bei Flut Strom erzeugen,

in der Restzeit müssten entweder konventionelle Kraftwerke einspringen oder ein zweites Gezeitenkraftwerk, bei dem die Tide genau dann auftrete, wenn sie beim ersten abebbt. In Schottland gebe es Standorte, wo sich zwei Gezeitenkraftwerke gut realisieren ließen und Planungssicherheit böten – ein wichtiger Faktor für die Energiebranche. Insgesamt schätzt er, dass dieser Bereich ein nachhaltiges Potenzial von 400 TWh/a besitze.

Das theoretisch größte Potenzial ordnen die Forscher den thermischen Energien des Meeres zu. 10 000 TWh/a könnten Meereswärme-Kraftwerke liefern. Sie nutzen die Temperaturunterschiede zwischen der wärmeren Wasseroberfläche und dem kälteren Tiefenwasser. Dabei wird ein Arbeitsmedium – meist Ammoniak – in einem geschlossenen System durch das wärmere Wasser verdampft. Es treibt durch seine Ausdehnung einen Generator zur Stromerzeugung an. Das kalte Wasser sorgt in einem zweiten Schritt für die Abkühlung und Verflüssigung des Mediums, um dann den Zyklus wieder von vorne beginnen zu lassen. Dieses Modell arbeitet wie ein konventionelles Dampfkraftwerk, wobei im Meer nur Arbeitsmedien mit niedrigen Siedetemperaturen verwandt werden können. Da Wärmekraftanlagen aber nur dann viel Strom erzeugen, wenn die Temperaturunterschiede groß sind, besitzen Meeresanlagen nur geringe Wirkungsgrade.

Ein technisch sehr hohes Potenzial von 2000 TWh/a attestiert Bard den sogenannten Osmosekraftwerken, die, in Küstennähe gebaut, die Konzentrationsunterschiede zwischen dem Süßwasser der Flüsse und dem Salzwasser der Meeren nutzen könnten. Osmose tritt dann auf, wenn zwei unterschiedlich konzentrierte Flüssigkeiten über eine Membran miteinander in Kontakt treten. Bei den Osmosekraftwerken ist die Membran halbdurchlässig, erlaubt nur, dass das leichtere Süßwasser in den Bereich des schweren Salz-

wassers läuft und damit einen osmotischen Druck in Höhe von 25 bar erzeugt, der eine Turbine antreiben und so Strom erzeugen könne. „25 bar entsprechen der Höhe eines Wasserfalls von 250 Metern“, illustriert Bard die technischen Dimensionen. Allerdings stecke die Membrantechnik noch in den Kinderschuhen. Auch der Anlagenbau sei noch nicht ausgereift.

Da Wellen eine unerschöpfliche Form der Meeresenergie darstellen, hat die Forschung auch auf diesem Gebiet Prototypen entwickelt. Schätzungen zufolge könnte eine Wellenbewegung von fünfzehn bis dreißig Kilowatt pro Meter Küstenlinie auf einem Küstenabschnitt von bis zu sechzig Kilometern ein Kohle- oder Kernkraftwerk ersetzen. Zu den erforschten Modellen der Wellenenergieerzeugung gehören etwa der „Wave Dragon“, bei dem die Wellen über eine hohe Rampe laufen, dann in einen Behälter geleitet werden und dort eine Turbine antreiben – oder die auf dem Meeresboden verankerten Bojen, die, durch Wellen bewegt, Strom erzeugen. Die meisten Anlagen gingen allerdings in der Erprobungsphase unter oder wurden durch Wellen zerstört. Da diese Form der Stromproduktion von Wetterschwankungen abhängig ist, ist es für Schmid noch unsicher, ob sie ein vergleichbares technisches Potenzial wie Meeresturbinen haben.

Neuland betreten

Optimistischer scheint dagegen die Energiewirtschaft zu sein. So will die Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) das erste deutsche Wellenenergie-Kraftwerk an der deutschen Nordseeküste entwickeln. Zudem soll gemeinsam mit dem Land Niedersachsen ein Druckluftspeicher-Kraftwerk zur Aufbewahrung regenerativer Energien gebaut werden. EnBW-Vorstandschef Utz Claassen und der niedersächsische Wirtschaftsminister Walter Hirche unterzeichneten am 29. April 2006 eine Vereinbarung über den

Bau der beiden Kraftwerke. Das Druckluftspeicherwerk, das in Küstennähe in einer unterirdischen Salzformation entstehen soll, bietet nach Angaben von Claasens Aussage die Möglichkeit, die in künftigen Offshore-Windparks erzeugte Energie zu konservieren. Dabei soll mit Hilfe aktuell nicht benötigten Windstroms Druckluft in Kavernen gepresst werden, die sich später bei Bedarf wieder zur Stromerzeugung nutzen lässt. Das Speicherwerk soll eine Kapazität zwischen 150 und 600 Megawatt haben und 75 bis 300 Millionen Euro kosten. Das geplante Wellenkraftwerk will EnBW gemeinsam mit der wasserkrafterfahrenen Heidenheimer Firma Voith Siemens Hydro errichten, die dank einer schottischen Tochterfirma eine Expertise in der Erzeugung von Strom aus Meereswellen mitbringt. Das Demonstrationsprojekt soll Küstenschutz oder Hafenbau mit Energieerzeugung verbinden und maximal einen zweistelligen Millionenbetrag kosten. EnBW will an der Nordsee die *Oscillating Water Column*-Technik verwenden, die Jahrhundertstürme überleben könnte. Dabei wird ein Arbeitsmedium durch Wellen in einem Röhrensystem bewegt, das eine Turbine antreibt. So könnte eine installierte Leistung von 250 Kilowatt erreicht und pro Jahr rund 120 Haushalte versorgt werden. Ein erstes Modell steht vor der schottischen Küste. Dass sich EnBW auf dieses für sie neue Feld wagt, hat Insider der Branche überrascht. „Das geplante Kraftwerk dient primär als Versuchsanlage und als Referenzkraftwerk zur Weiterentwicklung einer zwar hoffnungsvollen, aber noch relativ jungen Technologie“, erklärt Konzernpressesprecher Dirk Ommeln. Erneuerbare Energien stünden durchaus im „strategischen Fokus der EnBW“ und müssten entsprechend erforscht werden. Der in Karlsruhe ansässige Konzern will mit diesem Projekt seine Position im Bereich der erneuerbaren Energien ausbauen und

Wegbereiter für eine deutsche Führungsrolle auf dem Gebiet der Meeresenergie sein.

Noch steckt die Meeresenergie-Forschung in der Pionierphase. Fragen der Korrosion müssten gelöst, Belastungen für Flora und Fauna des Meeres erforscht werden, berichtet Schmid, die Schallemission geprüft werden. Deshalb werde demnächst eine von der Bundesregierung geförderte Forschungsplattform errichtet, die die Umweltbelastung von Offshore-Anlagen für das Meer ergründen soll.

Ausbau der Windenergie

Vor dem Hintergrund der Verpflichtung zur CO₂-Reduktion im Rahmen des Kyoto-Protokolls kommt gerade dem Ausbau der Windenergie wachsende Bedeutung zu. Die EU-Kommission will gemäß ihrer Richtlinie „Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt“ eine Erhöhung des Anteils von Strom aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch der EU von durchschnittlich vierzehn Prozent im Jahre 1997 auf rund 22 Prozent in 2010 durchsetzen. Dabei sollen neben den Onshore-Anlagen vor allem auch Offshore-Windpark-Farmen ausgebaut werden, die im Vergleich mit dem Festland den Vorteil eines höheren und gleichmäßigeren Windangebots besitzen. Nach einer Studie des Bundesumweltministeriums könnte die Meereswindenergie bis zu fünfzehn Prozent des Stromverbrauchs erzeugen, wenn eine installierte Leistung von 20 000 bis 25 000 Megawatt erreicht würde. Mitte 2006 erteilten die Behörden dem ersten deutschen Offshore-Windpark in der Nordsee „Nördlicher Grund“ eine vollständige Genehmigung inklusive Kabelverbindung bis zur Küste. Zwei Dutzend Windparks sind europaweit an Nord- und Ostsee geplant.

Die hohen Investitionskosten – für einen Windpark mit achtzig Anlagen veranschlagen Experten 400 bis 800 Millio-

nen Euro – sind für die Industrie allerdings noch abschreckend. Die Offshore-Windmühlen sind weit teurer als ihre Gegenstücke an Land. Der hohe Stahlpreis treibt die Kosten, der Netzanschluss ist teuer, die Genehmigungsphase lang. Ohne eine gemeinsame öffentlich-private Finanzierung dürfte es die Offshore-Energie in Deutschland schwer haben. Der im Erneuerbare-Energien-Gesetz festgelegte Preis für Offshore-Energie in Höhe von 9,1 Cent pro Kilowattstunde dürfte im Verhältnis zu den hohen Anfangsinvestitionen zu niedrig sein. Doch an Land sind die besten Plätze mittlerweile vergeben, an Nord- und Ostsee drehen sich bereits 7500 Windräder.

Das größte Problem für die kommerzielle Nutzung sowohl der Ocean-Energy-Kraftwerke als auch der Offshore-Windenergie sei die Netzanbindung, meint Bard. Allerdings verweist Schmid darauf, dass die besten „Super-Netze“ beim Transport nur noch fünf Prozent Verlust erzeugen. Während Bard die Kosten für die Verlegung der Unterwasserkabel für erheblich hält, schätzt sie Schmid auf ein bis zwei Cent pro Kilowattstunde für eine Strecke von Nordafrika bis nach Kassel. Deshalb könnten alle Offshore-Projekte in der Startphase nur mit staatlicher Unterstützung realisiert werden. Nach fünf bis zehn Jahren seien die Meeresanlagen im Vergleich zu Kohlekraftwerken konkurrenzfähig. Windkraft onshore könne schon heute Strom für 3,5 bis 10 Cent pro Kilowattstunde liefern – Strom aus Kernenergie, Stein- oder Braunkohle kostet in der Herstellung 2 bis 5 Cent, meinen die Kasseler Experten.

Nicht nur diese ökonomischen Probleme müssen gelöst werden. Die Windanlagenindustrie muss sich zunehmend auch mit Kritik mancher Umweltverbände auseinandersetzen. So warnt der ostfriesische „Watrat“ vor den tödlichen Folgen für die Tierwelt, der hohen Geräuschemission und prangert bei Off-

shore-Farmen die Belastungen für das Wattenmeer an. Ganz einig sind sich die Naturschützer nicht. Um die Klimakatastrophe abzuwenden, fordert etwa Greenpeace Deutschland den Ausbau der Offshore-Anlagen im großen Stil – allerdings naturverträglich und flankiert mit ökologischen Untersuchungen.

In Deutschland sprechen die Gegebenheiten an Nord- und Ostsee wenig für eine Nutzung der Ocean Energy. Irland, Norwegen und Großbritannien, auch Frankreich besitzen dagegen ein hohes Potenzial. Gleichwohl gebe es deutsche Interessen im Bereich der Meeresenergie, betont Schmid: Die deutsche Energiewirtschaft sei stark am Weltmarkt vertreten, die deutsche Kraftwerks-, Turbinen- und Windkraftanlagen-Industrie ebenso. Umweltpolitisch wären dank der Einführung der Emissionszertifikate auch emissionsarme Projekte außerhalb Deutschlands anrechenbar. Je höher die Energiekosten weltweit – angetrieben durch den Ölpreis – steigen, desto konkurrenzfähiger werde Strom aus alternativen Energien, so Schmid. Politisch sei der Ausbau der Meeresenergie gewollt, betont Schmid. Das von der rot-grünen Bundesregierung im Jahre 2000 verabschiedete Erneuerbare-Energien-Gesetz erwähne ausdrücklich alle Formen der Meeresenergie. Auch die EU fördere die technologische Weiterentwicklung. Außerdem gehöre Deutschland zu den führenden Nationen im Bereich der Forschung zu regenerativen Energien: Im Bereich der Meeresenergie zusammen mit den Briten, bei der Windenergie unangefochten. Bei der Fotovoltaik lieferten sich deutsche Forscher einen „harten Kampf“ mit den Japanern, und auf dem Gebiet der Biomassenutzung sei Deutschland zwar „Weltklasse, aber nicht Spitze“, meint der Kasseler Wissenschaftler, der auch Mitglied im neunköpfigen Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU) ist.

Der WBGU hat Ende Mai 2006 einen Sonderbericht zur Zukunft der Weltmeere und des Küstenschutzes mit dem einprägsamen Titel *Zu warm, zu hoch, zu sauer* vorgelegt. Darin fordert das international besetzte Gremium, dass dreißig Prozent der Weltmeere unter Naturschutz gestellt werden müssten, damit sich die Fauna in den übersäuerten, überfischten und zu warmen Ozeanen regenerieren könnte. Meeresenergie habe zwar keinen Einfluss auf Wind und Wellen, könnte aber den Verbrauch fossiler Brennstoffe zurückdrängen und damit die Umweltbelastung für die Meere reduzieren helfen, so Schmid. Bedeutung könnte der Strom aus dem Meer für Entwicklungs- und Schwellenländer gewinnen. Südamerika, China und Indien hätten aufgrund der langen Küsten und vieler Ballungsgebiete am Meer ein großes Potenzial. „Wenn wir China und Indien nicht ins Boot der alternativen Energieerzeugung bekommen“, warnt Schmid, „brauchen wir uns im Westen kaum anzustrengen, denn dann emittieren die in kurzer Zeit mehr als die ganze Welt.“

Schmid schätzt, dass Meeresströmungskraftwerke bereits in fünf bis zehn Jahren in Form großer Farmen kommerziell nutzbar seien. Prinzipiell sei es denkbar, sie mit Offshore-Windparks zu verbinden, aber selten fänden sich am gleichen Ort optimale Bedingungen für Wind- und Wellenenergie. Schmid ist fest von der Zukunftsfähigkeit der Meeresenergie überzeugt: „Auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien sind wir noch lange nicht am Ende. Wir können die Atomenergie ersetzen – und wir können sogar mehr als nur Ersatz leisten, wenn wir nur wollen.“ Er werde nicht müde, dies immer wieder zu betonen. Und mit der gleichen Stetigkeit, mit der Schmid für die regenerativen Energien kämpft, dreht an diesem sonnigen Frühsommertag das kleine Windrad auf der Fensterbank seine Runden.