# Ein Meer an Energie

Bisher gibt es nur Pilotprojekte für die Nutzung von Energie aus Wellen und Gezeiten. Fachleute rauen der neuen Technologie jedoch zu, innerhalb von zehn bis 15 Jahren einen Standard zu entwickeln, wie ihn heute die Windenergie besitzt.»From Innovation to Industry« lautete der Untertitel, den das Ostbayrische Technologie-Transfer Institut (Otti) seiner Meeresenergie-Konferenz in Bremerhaven gegeben hatte.

Unter der Oberfläche ist bereits einiges in Bewegung und nun nehmen die Projekte Gestalt an, wie es Konferenzleiter Jürgen Schmid vom Kasseler Institut für Solare Energietechnik (Iset) ausdrückte. In den vergangenen Jahren erprobten Institute und Universitäten aus aller Welt mehrere Konzepte, um die Energie aus Wellen und Gezeiten zu nutzen. (s SW&W 10/2003, S. 26). Am 23. und 24. Oktober berichteten sie über die Ergebnisse.

Seagen: Wasser auf die WindmühlenIm Mai 2003 installierte das Unternehmen Marine Current Turbine Ltd. (MCT) ein System namens Seaflow in der Nähe von Lynmouth, im Südwesten Großbritanniens. Der nach dem Vorbild einer Windenergieanlage gestaltete Rotor, an einem Monopile montiert, sollte eine Nennleistung von 300 kW gewinnen. Er nutzte dazu die durch Ebbe und Flut entstehende Strömung. Anstatt wie in der Windenergie den ganzen Rotor in die Strömungsrichtung zu drehen, haben sich die Entwickler für die mechanisch einfachere Pitch-Regelung entschieden: Anstelle des ganzen Rotors wurden nur die Blätter gedreht. Auf eine Netzanbindung hat man aus Kostengründen verzichtet. Die Anlage hat drei Jahre Betrieb gut überstanden. Nun soll um die Jahreswende der kommerzielle Prototyp Seagen mit einer Leistung von 1,2 MW folgen. Anstelle eines Rotors werden dabei zwei Rotoren an einem Monopile befestigt. Das bringt die doppelte Energieausbeute bei deutlich weniger als den doppelten Kosten. Der Prototyp soll über eine 11-kV-Leitung an Nordirlands Stromnetz angeschlossen werden. Für das erste Seaflow-Projekt hat das Kasseler Iset mit Fördergeldern des Bundesumweltministeriums Getriebe, Generator und Systemtechnik entwickelt, für den Seagen-Prototyp die Rotorblattverstellung und die elektrische Systemtechnik.Eine erste Abschätzung der Kosten gibt das Unternehmen schon bekannt. Für die 300-kW-Anlage Seaflow waren Investitionen von rund 6.500 €/kW nötig. Beim Seagen-Prototyp lagen die Kosten unter 4.900 Mio. €/kW. Die waren wegen einiger Zwischenfälle etwas höher ausgefallen als geschätzt, wie Peter Fraenkel, Technischer Leiter von MCT, berichtet. Für die kleine Wellenfarm rechnet er nur noch mit Kosten von 2.400 €/kW und Stromgestehungskosten von 9 Ct. Hinzu kommen die Entwicklungskosten, Kosten für spezielle Produktionsanlagen und Planung. Da diese jedoch nur einmal entstehen, soll es bis 2010 soll dank technisch verbesserter Anlagen möglich sein, den Strom für etwa 4 bis 5 Ct zu erzeugen.

Wave Dragon: Dänischer Drache geht in die nächste DimensionDer Wave Dragon macht sich das Konzept eines normalen Wasserkraftwerkes zu Nutze. Wellen füllen über eine Rampe ein über der Wasseroberfläche gelegenes Reservoir. Von dort aus strömt das Wasser zurück ins Meer und gibt seine potenzielle Energie an Turbinen ab. Zwei seitlich angebrachte Reflektoren bündeln die Wellen und erhöhen so die Ausbeute.Der Wave Dragon befindet sich seit März dieses Jahres in der zweiten Testphase. Das aktuelle Modell ist im Maßstab 1:4,5 gebaut und befindet sich im südlichen Teil des dänischen Binnenmeers Nissum Bredning. Dort sind die Wellen etwas höher als im Norden des selben Gewässers, wo der kleine Drache im Maßsstab 1:10 von 2003 bis 2005 seine ersten Schwimmübungen machte und auch schon Strom in Netz einspeiste. Bevor es im größeren Maßstab gebaut wurde, überarbeiteten die Entwickler das Modell, sodass der Energieertrag im Verhältnis zur Größe um 20 % gestiegen ist. Erreicht haben sie das vor allem durch eine Veränderung an den Turbinen. Nachdem es die beiden Modelle nun zusammen auf 16.000 Betriebsstunden bringen, hält Hans Christian Soerensen von der Wave Dragon ApS, Kopenhagen, die Zeit für reif für eine Demonstrationsanlage im Originalmaßstab. Diese soll eine Leistung von 7 MW und eine Spannweite von 300 m haben und im Jahr 2008 vor der Küste von Südwestwales installiert werden, etwa zwei bis drei Meilen vom Festland entfernt. Gegenüber den kleineren Anlagen soll es bis auf stärkere Stahl- und Betonelemente keine wesentlichen Änderungen geben. Und auch für die weitere Zukunft hat er Pläne: Schon in den Jahren 2009 und 2010 soll eine ganze Drachenfamilie vor der Küste Portugals rund 50 MW generieren.Der ausgewachsene Wave Dragon soll eine Spannweite von 300 m haben und 7 MWel generieren. Zwei Modelle im Maßstab 1:10 und 1:4,5 wurden, die im Binnenmeer Nissum Bredning getestet wurden, kommen zusammen schon auf 16.000 Betriebsstunden. Foto: Wave DragonWave Star: Der Tausendfüßler muss noch wachsenEbenfalls in Nissum Bredning erprobt die 2003 gegründete Firma Wave Star Energy seit Juli ihr Wellenkraftwerk namens Wave Star. Das Kraftwerk ähnelt einem Tausenfüßler: An einer waagerechten Struktur, die mit vier Pfeilern am Meeresgrund befestigt ist, sind mit Hilfe von Gestängen 20 Paare von runden Schwimmkörpern angebracht, die sich mit den Wellen heben und senken. Die Energie geben sie über ein Hydrauliksystem in der Längsstruktur an einen Generator. Das Prinzip ähnelt dem eines Kolbenmotors. Der Tausendfüßler wird senkrecht zur Hauptwellenrichtung installiert, sodass die Wellen die Schwimmkörper nacheinander durchlaufen. Dadurch ist die Energieausbeute sehr gleichmäßig. 24 m lang ist das bisherige Modell. Es erzeugt bei einer Wellenhöhe von 50 cm eine elektrische Leistung von 1,8 kW. Kommt zu viel Wind auf, hebt der Tausendfüßler seine Schwimmfüße seitlich aus dem Wasser, bis er außer Reichweite der Wellen ist. »Selbst bei sehr starkem Wind sind die Lasten im Vergleich zu denen, die die Wellen im normalen Betrieb verursachen, vernachlässigbar«¸ erklärt Per Resen Steenstrup von der Wave Star Energy. Der Wavestar in Nissum Bredning steht im Verhältnis 1:10 zu der Größe, die er einmal haben soll. Das passt zur Wellengröße, denn auch die ist in dem Binnenmeer etwa ein Zehntel so groß wie in der Nordsee. Schon im kommenden Jahr soll in der Nordsee ein Modell im Maßstab 1:2 entstehen. Die Nordsee oder der Atlantik mit in einer Wassertiefe von etwa 20 m soll schließlich das Habitat des ausgewachsenen Tausendfüßlers werden. Etwa 240 m lang soll er werden, mit 10 m großen Schwimmfüßen. Bei einer Wellenhöhe von 5 m soll er eine elektrische Leistung von 6 MW erbringen. Dabei macht er sich eine Eigenheit der Wellen zu nutze: bei doppelter Wellenhöhe steigt

die Energie der Wellen um das Elffache. So sinken die Installationskosten pro kW drastisch mit größeren Kraftwerken. Deshalb will Steenstrup auch nicht bei dem 1:1-Kraftwerk haltmachen. Ein einziger Wave Star im Maßstab 1,5:1, installiert in einer Wassertiefe von 30 m würde immerhin eine Leistung von 24 MW bringen.

Pico: Wells-Turbine nutzt Wellenenergie mit gemischtem ErgebnisDie Energie der Wellen lässt sich nach dem Prinzip der oszillierenden Wassersäule (oscillating water culumn, OWC) nutzen: Eine Kammer ist zum Teil unter, zum Teil über Wasser installiert. In ihrem Inneren befindet sich Luft. Nach oben hin ist sie geschlossen, nach unten hin offen. Hebt eine Welle den Wasserspiegel im Kammerinneren an, verdichtet sich die Luft. Ein Ventil lässt die Luft nach oben entweichen. Dabei gibt sie Energie an eine Turbine ab. Senkt sich der Wasserspiegel, strömt Luft in die Kammer und gibt wiederum Energie an die Turbine ab. Die eingesetzte Wells-Turbine behält ihre Drehrichtung immer bei, egal, ob die Luft gerade ein- oder ausströmt.Die Anlage Pico, die auf dem Prinzip der OWC beruht und bereits 1999 in der Nähe der Azoren installiert wurde, lief nicht sehr erfolgreich. Wasser drang in den Kontrollraum ein und zerstörte die Elektronik, die Tests mussten unterbrochen werden. Im Jahr 2000 wurde zwar die Elektronik erneuert, aber es gab weiterhin Probleme mit Vibration durch den Generator und mit Korrosion durch die feucht-salzige Luft, zudem zeigte das Material Ermüdungserscheinungen. Um Pico nicht ganz aufgeben zu müssen, wurde 2003 die Non-Profit-Organisation Wafe Energy Centre mit Sitz in Lissabon gegründet, die das Projekt weiter verfolgen sollte. Die Entwickler des Wave Energy Centres brachten die Elektronik in einem Container unter, der etwa 100 m über der Wasseroberfläche installiert wurde. Sie bauten ein Bybass-Ventil ein, über das Druck abgelassen werden kann, wenn die Wellen zu kräftig werden. 2005 ging Pico wieder in Betrieb, doch es gab gleich ein neues Problem: Ein Teil der Leitbleche geriet in die Turbine, wurde dort zermahlen und aufgeschmolzen. Mittlerweile ist das Kraftwerk repariert und mit stärkeren Leitblechen ausgestattet. Und die Anlage läuft. Das unterstreicht auch António Sarmento, Direktor des Wave Energy Centres, der das Problem nicht in der Technologie an sich sieht, sondern in den nicht angepassten Komponenten. Trotzdem: Dass die OWC das Konzept der Zukunft ist, möchte er nicht beschwören.Im dänischen Binnenmeer Nissum Bredning testet die Firma Wave Star Energy ihr Wellenkraftwerk. Die Schwimmfüße heben und senken sich mit den Wellen und geben die Energie an einen Kolbenmotor weiter. Foto: Wave Star EnergyLimpet: Im sicheren HafenWie beim portugiesischen Projekt Pico funktioniert auch das Anlagenkonzept von Voith Siemens und Wavegen mit einer oszillierenden Wassersäule und einer Wells-Turbine. Allerdings werden die Anlagen hinter Hafendämmen gebaut, sodass sie vor der Wucht der Wellen in Sicherheit sind. Außerdem sollen durch die doppelte Nutzung der Mauer die Investitionskosten geringer sein. Der Maschinenraum liegt über dem Wasserspiegel und ist leicht zugänglich. Probleme mit bis in die Turbinen vordringendem Wasser gab es bisher nach Auskunft von Ingenieur Raphael Arlitt nicht: Nur selten gelangt Feuchtigkeit bis an die Turbinen.Der Prototyp der Anlage namens Limpet (Land Installed Marine Powered Energy Transformer) mit einer 250-kW-Turbine arbeitet seit 2000 auf Islay, einer schottischen Insel, und speist auch Strom ins Netz ein. Seit 2004 wurden nacheinander vier kleinere Turbinengenerationen entwickelt und Prototypen auf Islay getestet. Der Einbau in Hafenmauern ist eine selbst gewählte Nische für die ersten Gehversuche, langfristig sollen Projekte vor der Küste folgen. Die Entwickler haben schon einige Projekte in Aussicht. Gemeinsam mit EnBW will man eine Anlage vor der Niedersächsischen Küste bauen. 2007 sollen die Verträge für ein Projekt in Nordspanien unterzeichnet werden, dessen Bau bereits 2008 beginnen soll.

Atlantisstrom: Preiswert, aber ohne GeldgeberEin Modell und ein Patent, aber noch keinen Auftrag hat die Firma Atlantisstrom. Die von Kai-Ude Jannsen entwickelte Anlage funktioniert wie ein Wasserrad. Die Bleche, gegen die das Wasser anströmt, klappen um, wenn sich die Strömungsrichtung ändert. Jannsen beteiligt sich an der Ausschreibung für ein Projekt in Norwegen. Außerdem sucht er einen Investor. Ein Modell im Maßstab 1:10 haben die TU Braunschweig und die VW Coaching GmbH zuerst an der Okertalsperre und dann am Eidersperrwerk an der Nordsee erprobt. Für eine Anlage im Originalmaßstab müsste ein Investor rund 400.000 € aufbringen, für die übrigen 600.000 € besteht eine Finanzierungszusage von der Bundesstiftung Umwelt und dem Bundesumweltministerium. Dieses Kraftwerk würde dann eine Leistung von 300 kW bei 4,5 m/s erbringen. Atlantisstrom kommt also schon beim ersten Prototyp auf Installationskosten von ca. 3.300 €/kW. Die Serienkosten sollen bei 1.300 €/kW liegen.

Technik der ZukunftDarüber, dass die Meeresenergie eine große Zukunft hat, sind sich die Experten einig. Doch welche Technologie sich durchsetzen wird, ist noch offen. Die meisten erlauben sich hierzu noch kein Urteil. Vor allem in Kanada, Alaska und Neuseeland sieht Prof. Jürgen Schmid vom Institut für Solare Energiesystemtechnik (Kassel, Germany) ein riesiges Potenzial. »Wenn man die Erfahrungen der Windenergie überträgt, kann die Meeresenergie in 15 Jahren extrem preiswert sein«. So preiswert, dass die Australier ihr Bauxit zur Aufbereitung nicht mehr nach Island sondern nach Kanada bringen. Allein für Wellenenergie rechnet die Ocean Renewable Energy Group (Oreg) dort mit einem Potenzial von 211 GW, offshore und nearshore sowie Pazifik und Atlantik zusammengenommen. Hinzu kommen 42 GW Gezeitenenergie. »Vor allem große industrielle Energieverbraucher sind an der Entwicklung der Meeresenergie interessiert«, sagt Oreg-Vertreter Chris Campbell. Die vor zwei Jahren gegründete Oreg hat bisher knapp 60 Mitglieder, etwa die Hälfte davon Technologieentwicklungsfirmen und Servicefirmen, aber auch einige Projektentwickler. In Deutschland ist das Potenzial hingegen sehr begrenzt. Die starken Strömungen an der deutschen Küste, z.B. am Eidersperrwerk an der Nordsee, bringen es gerade einmal auf Geschwindigkeiten von 2 m/s – zu wenig für eine kommerzielle Nutzung. Dazu bräuchte man schon um die 4 m/s, wie es sie an Engstellen wie dem Saltstraumen in Norwegen, am Malstrom zwischen den Lofoten oder am Kirk Sund gibt. Trotzdem soll es vor der deutschen Küste auf jeden Fall Anlagen zur Meeresenergienutzung geben. Denn schließlich sind die erneuerbaren Energien ein Exportschlager und deutsche Unternehmen bauen weltweit etwa ein Fünftel aller energietechnischen Anlagen. So sieht es auch Ralf Christman vom Bundesumweltministerium. Er rechnet mit Investitionen von rund 200 Mio. € in diese Technologie in den kommenden Jahren. Auch auf europäischer Ebene setzt man die Hoffnung auf das Meer. Kominos

Diamantaras, bei der Generaldirektion Forschung der Europäischen Komission für die erneuerbaren Energien verantwortlich, sprach über die Rolle der Meeresenergie im 7. Forschungsrahmenprogramm der Kommission. »Ich glaube, dass die Meeresenergie in zehn Jahren das erreichen wird, wozu die Windenergie 30 Jahre gebraucht hat,« sagte er zum Abschluss.

Dieser Text wurde von Eva Augsten exklusiv für Sonne Wind & Wärme geschrieben und erschien in der Ausgabe 12/2006.

Aktuelles Heft der SWW (Sonne, Wind & Wärme) bestellen.

Ältere Ausgabe zum Kennenlernen kostenlos bestellen.