

entsprechen. Dann kommt der filigranste Arbeitsschritt: Die Siliziumklötze müssen in die hauchdünnen Wafer zersägt werden. Das geschieht mit einer Drahtsäge, die – ähnlich einem Eierschneider – den gesamten Block in einem Prozessschritt zerlegt.

Anschließend werden Antireflexschicht und Kontaktbahnen auf den Wafer aufgetragen, es kommt eine Scheibe davor und ein Rahmen drum herum – fertig ist das Solarmodul. 200 Megawatt an Wafern hat Solarworld im Jahr 2006 gefertigt.

Die Hoffnung auf ein billigeres oder effizienteres Material für die Solarzellen scheint sich indes nicht so schnell zu erfüllen. „Zumindest bis zum Jahr 2020 wird die Siliziumtechnik die Fotovoltaik dominieren“, sagt Unternehmer Asbeck. Also wird in Freiberg weiterhin in diese Technik investiert, zuletzt waren es 80 Millionen Euro für eine neue Fertigungsstraße.

Grundsätzlich teilen auch die Freiburger Fraunhofer-Forscher diese Einschätzung. Zwar forschen sie auch an anderen Zelltypen, etwa solchen aus Pflanzenfarbstoffen oder Halbleitern wie Galliumarsenid. Trotzdem haben die kristallinen Siliziumzellen einen Marktanteil von knapp 94 Prozent. Und da Silizium ökologisch verträglich und praktisch unbegrenzt verfügbar ist, wird sich daran vorerst wenig ändern. Andere Zellen aus Cadmiumtellurid zum Beispiel, die es ebenfalls bereits zu kaufen gibt, sind wegen des Schwermetalls Cadmium ökologisch umstritten.

Hinzu kommt, dass die Möglichkeiten des Siliziums längst nicht ausgereizt sind. Das ISE bringt im Labor die Halbleiterplättchen bereits auf 40 Mikrometer Dicke herunter – ein Sechstel des heute industriell gefertigten Maßes. Und solche Fortschritte werden auch nötig sein, wenn die Solarenergie einst merklich zum Strommix beitragen soll. Denn bisher ist ihr Anteil mager: Im vergangenen Jahr wurden gerade 0,3 Prozent des deutschen Stromverbrauchs durch Sonnenlicht gedeckt. Bayern erreicht als solarer Spitzenreiter bereits die Einprozentmarke.

Beeindruckend ist gleichwohl der Trend: Binnen nur vier Jahren hat sich die Stromerzeugung aus Sonnenlicht deutschlandweit verzehnfacht. Gut 2000 Megawatt leisten die Module zwischen Alpen und Nordsee inzwischen bei voller sommerlicher Einstrahlung. Ihr großer Pluspunkt: Solarstrom fällt vor allem in der Mittagszeit an – genau dann also, wenn die Nachfrage am größten ist.

Und dennoch: Keine erneuerbare Energie ist ohne Kritiker, auch die Solarenergie nicht. Das überrascht nicht, wenn man die Dimensionen sieht, in denen die Branche bereits plant. Im sächsischen Muldentalkreis will die Mainzer Juwi-Gruppe mit 40 Megawatt das größte Fotovoltaikkraftwerk der Welt errichten; eine Fläche von 200 Fußballfeldern soll mit Solarzellen zugestrichelt werden. Unterdessen ging in



Aufwindkraftwerk in Spanien (Prototyp)

Alternative Energieanlagen: Genie und Wahnsinn liegen eng beieinander

Heißer Sturm

Warum die utopisch wirkenden Aufwind-, Wellen- und Gezeitenkraftwerke so schwer zu realisieren sind

Der 1000 Meter hohe Stahlbetonturm steht inmitten eines Treibhauses von sieben Kilometer Durchmesser. Sobald die Wüstensonne auf die Gläser brennt, erhitzt sich die Luft im Innern und strömt durch den Turmgen Himmel. Die aufwärtsrauschenden Winde treiben Turbinen an und stellen so bis zu 200 Megawatt elektrische Leistung bereit.

So faszinierend das Konzept für das Aufwindkraftwerk mit seinem heißen Sturm auch erscheint: Bisher fand sich niemand, der das gigantische Glashaushausprojekt finanziert. Lediglich ein deutlich kleinerer Prototyp (mit 194 Meter Turmhöhe) wurde in Spanien gebaut – und nach Sturmschäden wieder stillgelegt.

Genie und Wahnsinn liegen oft eng beieinander, wenn Visionäre über die Nutzung erneuerbarer Energien jenseits von Solarzelle, Windrad und Biokraftwerk nachdenken. Nicht nur die Wüsten, auch die Meere könnten demnach als Energie-

quellen angezapft werden – der Durchbruch steht aber gleichfalls noch aus.

Das Gezeitenkraftwerk nahe Saint-Malo in der Bretagne etwa leistet zwar seit rund 40 Jahren gute Dienste; doch kaum irgendwo sonst finden sich ähnlich gute Bedingungen mit mehr als 14 Meter Tidenhub. Ein Massenphänomen kann die Stromerzeugung aus Ebbe und Flut damit kaum werden. Das könnte die Nutzung der Wellenkraft schon eher; doch dabei gibt es ein anderes Problem. Wellenkraftwerke wurden in unterschiedlichsten Bauformen in der Vergangenheit häufig Opfer allzu schwerer See.

Immerhin nährt nun ein Projekt auf der schottischen Insel Islay neue Hoffnungen: Dort werden nicht die Wellen direkt genutzt, sondern Luftströmungen, die von den Wellen erzeugt werden – was die Anlage bereits mehr als sechs Jahre an der rauen See Schottlands überleben ließ. Mit 250 Kilowatt spielt das Kraftwerk aus Sicht der großen Energiewirtschaft gleichwohl noch in der Spielzeugliga.



Gezeitenkraftwerk „Seaflow“ (Zeichnung)



Wellenenergieanlage „Pelamis“ vor Schottland



Tidenkraftwerk in Frankreich

Ein anderes Prinzip der Wellenkraft wird gerade vor den schottischen Orkney-Inseln getestet: eine 150 Meter lange Stahlschlange namens „Pelamis“, die im Wasser schwimmt und an den Gelenken der einzelnen Elemente die Bewegungsenergie aufnimmt, um daraus Strom zu gewinnen.

Auch mit Meeresströmungskraftwerken – sie sehen aus wie Windräder unter Wasser – wird bereits experimentiert. Vor der Küste Devons in Südengland wurde im Sommer 2003 unter dem Namen „Seaflow“ ein solches Forschungsprojekt gestartet. Doch für diese Technik kommen ebenfalls nur ausgesuchte Standorte mit bestimmten Strömungs- und Tiefenverhältnissen in Frage.

Das am skurrilsten anmutende Meeresprojekt überhaupt steht im norwegischen Trondheim: ein Osmose-Kraftwerk. Durch eine Membran wandern Wassermoleküle aus einem Süßwasser- in ein Salzwasserbecken und bauen auf diese Weise ein Druckgefälle auf. Das lässt sich schließlich mittels einer Turbine nutzen.

Aber auch diese Technik wird sich wohl auf Einzelprojekte beschränken. Die Anlagen müssten in Flussmündungen errichtet werden, wo Süßwasser auf Salzwasser trifft. Das Problem dabei: Der Schiffsverkehr würde eingeschränkt.

diesen Tagen in Spanien der erste Bauabschnitt des bislang größten derartigen Kraftwerks der Welt mit 20 Megawatt ans Netz. Mitunter sorgen solche Freilandanlagen für Unmut. In der mittelfränkischen Gemeinde Adelsdorf zum Beispiel sollte jüngst eine 20 Hektar große Solaranlage in der freien Natur entstehen. Sie scheiterte am Widerstand der Bürger, des Naturschutzbundes und schließlich im Gemeinderat an den Vertretern der SPD und der Grünen.

So wird zunehmend deutlich, dass dem Ausbau der Ökoenergien enge Grenzen gesetzt sind. Längst wissen Experten, dass die Kraft von Himmel und Erde nur dann spürbar zum Klimaschutz beitragen wird, wenn zugleich auch der Energieverbrauch im Land erheblich gesenkt wird. Allzu gern ignoriert die Ökoenergiebranche, beauscht von stets neuen Rekordzahlen, dass die Erzeugung von Strom aus Kohle, Gas und Atom aller tollen Wind- und Solarprojekte zum Trotz nicht merklich abnimmt.

Denn die Deutschen gehen, so viel sie auch vom Sparen sprechen, in Wirklichkeit immer verschwenderischer um mit dem Strom. In steter Regelmäßigkeit meldet die Stromwirtschaft neue Verbrauchsrekorde. Im Jahr 2006 waren es wieder 0,7 Prozent mehr als im Vorjahr. Verantwortlich sind vor allem die elektronische Aufrüstung der Haushalte, der Boom der Elektrowärmepumpen und die zunehmende Klimatisierung von Gewerbebauten.

Fast der gesamte Zubau an Windkraft wird so allein durch den Mehrverbrauch an Strom aufgeessen. Nur wenn es gelingt, den Stromverbrauch zumindest zu stabilisieren, können sich die Strukturen der Erzeugung ökologisch spürbar verschieben. So könnten die erneuerbaren Energien zum Beispiel den Atomausstieg abfangen. Allein in der Zeit von 2000 bis 2005 hat die Jahreserzeugung aus erneuerbaren Energien um 27 Milliarden Kilowattstunden zugenommen – und damit das Pendant zu drei Atomkraftwerken geschaffen.

Künftig soll es noch schneller aufwärtsgehen mit dem Ökostrom, davon geht selbst die eher konservative Stromwirtschaft aus. Der Verband der Netzbetreiber rechnet für die kommenden fünf Jahre mit einer weiteren Steigerung der Jahresproduktion aus erneuerbaren Energien um 37 Milliarden Kilowattstunden – das ist etwa die vierfache Menge eines Atommeilers.

Was die Menge angeht, wäre die Stilllegung einiger Großkraftwerke also leicht zu kompensieren – zumal Deutschland ei-

nen Exportüberschuss an Strom ausweist, der seit Jahren steigt: Im Jahr 2005 wurden von der Bundesrepublik gut acht Milliarden Kilowattstunden mehr exportiert als importiert, und im vorigen Jahr lag der Überschuss bei 20 Milliarden Kilowattstunden.

Doch je höher der Anteil des Ökostroms steigt, umso akuter wird eine andere Herausforderung: der Umgang mit der Fluktuation der Erzeugung. Denn Strom hat die lästige Eigenschaft, dass er immer genau dann erzeugt werden muss, wenn er gebraucht wird. Der Bedarf jedoch unterliegt großen Schwankungen.

Neu ist das Thema für die Energieversorger zwar nicht. Schon seit den Anfängen der Elektrifizierung war es ihre Aufgabe, die Stromerzeugung mit der Nachfrage in Einklang zu bringen. Doch die Anforderungen wachsen seit Jahren – vor allem durch die wetterabhängige und damit langfristig kaum berechenbare Windkraft.

Der zunehmende Regelaufwand ist im Süden der Republik hautnah zu erleben. In der badischen Gemeinde Wehr strömen tief unten im kristallinen Urgestein des Schwarzwaldes gewaltige Massen Wasser. Mal fördern es Pumpen in einer vom Menschen geschaffenen Kaverne in das 625 Meter höher gelegene Staubecken inmitten des Hotzenwaldes. Wenig später kann sich die ganze Sache dann umkehren, und das Wasser stürzt – bis zu 160 Kubikmeter pro Sekunde – wieder in die Tiefe auf die Turbinen im Innern des Bergmassivs. Bis zu 910 Megawatt stehen dann dem Stromnetz zur Verfügung.

Das badische Kavernenkraftwerk zählt zu den größten Pumpspeicherkraftwerken der Welt. Fast im Minutentakt können hier die Maschinen zwischen Stromerzeugung und Stromaufnahme wechseln – je nachdem, was das Stromnetz gerade verlangt. Fertiggestellt wurde das Pumpspeicherkraftwerk 1976. An Windkraft in Gigawattdimensionen dachte damals niemand.

Die Schluchseewerk AG, die nicht nur die Anlage in Wehr, sondern ein ganzes Netz von Pumpspeicherkraftwerken im deutschen Südwesten betreibt, erkennt unterdessen die Veränderungen der Stromwirtschaft an den eigenen Betriebsdaten. Rund 60000-mal mussten die 20 Maschinensätze des Unternehmens im Jahr 2005 ihre Betriebsart wechseln – vom Stromverbrauch zur Stromerzeugung und wieder zurück. Langsam nähern sich die Anlagen damit ihrer Leistungsgrenze.

Der klassische Reflex: Es müssen mehr Stromspeicher her, um den weiteren Aus-

Erneuerbare Energien

Anteil an der Gesamtstromerzeugung in Deutschland 2006

