Windkraft: Das dänische Wunder

Essay im Basler Magazin vom 18. August 2001, der Wochenendbeilage der Basler Zeitung,

Von Rudolf Rechsteiner

Windkraft ist die am schnellsten wachsende Energieerzeugungsart der Welt. Als «alternativ» lange belächelt, wird sie in 20 Jahren voraussichtlich mehr Strom liefern als Wasser- und Atomkraft. Das zweite Solarzeitalter hat begonnen.

Wer hätte gedacht, dass die Erfindung des dänischen Meteorologen und Gymnasiallehrers Poul la Cour eines Tages die Stromversorgung der Weltbevölkerung revolutionieren könnte? La Cour war es, der 1891 nicht nur als einer der ersten Windstrom erzeugte, sondern diesen Strom, um seine Schule auch in windstillen Zeiten zu beleuchten, gleich in Form von Wasserstoff speicherte! La Cours Windräder lösten einen Mini-Boom aus. Bis zum 1. Weltkrieg wurden Dutzende von Kleinanlagen mit 25 kW Leistung und einem Rotordurchmesser von etwa 10 Me-ter in Dänemark gebaut. Doch nach 1918 wurde die Windtechnik vom Kohlestrom verdrängt und geriet nahezu in Vergessenheit. Erst 1973, als hohe Ölpreise die Konsumenten beutelten, besann man sich der Propellermasten. Obschon sich Firmen wie Boeing, Lockheed oder Siemens mit der Herstellung moderner Windturbinen beschäftigten, waren es dänische Hersteller von Landmaschinen (!), die die Technologie der zweiten Generation zur Serienreife brachten.

Und als Kalifornien 1980 ein grosses Windprogramm startete, explodierten die dänischen Exporte nach USA. Der kalifornische Boom war kurzlebig. Windkraft kostete in den 80er Jahren noch um die 30 Rappen pro Kilowattstunde - dreimal mehr als Strom aus Kohle oder Atomkraft. Als das Programm 1986 auslief, sausten fast alle US-Windkrafthersteller in den Bankrott, und die Dänen mussten sich mit dem kleinen Binnenmarkt begnügen.

Aber die Windkraft war nicht zu töten. Ihr Ausbau wurde ab 1986 - nach dem Atomunfall von Tschernobyl - Teil der politischen Bewegung gegen die Atomkraft. Die dänischen Windkraftwerke standen meist in Hand von Genossenschaften und wurden vom Staat bescheiden, aber kontinuierlich gefördert. Windmüller erhielten eine Abnahmegarantie mit einer festen Vergütung in Höhe von 85% der dänischen Endverkaufspreise. Dies genügte, um immer leistungsfähigeren und billigeren Maschinen den Weg zu bereiten.

Ende 2000 drehten sich weltweit 50 000 Windturbinen. Dänische Konzerne bestreiten fast zwei Drittel des Weltmarkts. Ab 1990 stieg der weltweite Umsatz der Windindustrie um 33% - pro Jahr! Heute beschäftigt die Branche 50 000 Arbeitskräfte, Tendenz rasant steigend. Die installierte Leistung der Windkraft beläuft sich global auf 17 500 Megawatt (ohne Kleinstanlagen); das entspricht 17 Atomkraftwerken vom Typ «Gösgen».

Noch nicht sehr viel, könnte man dazu sagen. Spektakulär ist aber das Tempo des Ausbaus, das globale Potenzial und die sinkende Preisentwicklung. Allein für 2001 prognostiziert Marktleader Vestas ein Umsatzwachstum von 46% im Vergleich zum Vorjahr. Wie eine gutartige Epidemie erobert die emissionsfreie Nutzung der Luftströme Nation um Nation. Die Ursprünge des Erfolges «Windkraft ist heute extrem konkurrenzfähig», erklärt Randall Swisher von der US-Windenergievereinigung (Awea). «Sie ist sauber, einheimisch, und Preiserhöhungen wie beim Erdgas sind nicht zu erwarten.» Der Bau eines Windparks ist innert kürzester Zeit möglich. Ist das Betonfundament des 60-Meter-Turms trocken, benötigt die Errichtung von Mast mit Gondel und Rotorblättern nur gerade einen Tag. Selbst grosse Windfarmen können innert Monatsfrist realisiert werden. Und die Hersteller haften für die Zuverlässigkeit. Auf 98% Verfügbarkeit lauten die Garantieverträge - laut Statistik sind die Anlagen im Durchschnitt über 99% der Zeit verfügbar. Einzig Blitzschlag, selten nur Orkane, bringen die stillen Riesen hin und wieder zum Stillstand.

Windstrom ist seit 1980 um 80% billiger geworden. Heute liegen die Gestehungskosten zwischen 4 und 10 Rappen/kWh, je nach Standort. An mittleren bis guten Lagen (z. B. Nordsee, Provence, mittlerer Westen der USA) ist die Windenergie billiger als Atom- oder Kohlestrom. Nur in Gebieten mit mässigen Wind-geschwindigkeiten (Jura, Schwarzwald) liegen die Kosten mit 10-20 Rp./kWh noch etwas höher. Unbestritten sind die Umweltvorteile. Eine Windturbine produziert in 20 Jahren das Hundertfache dessen, was an Energie für ihre Herstellung benötigt wird. Das Material einer Windturbine lässt sich nach Gebrauch rezyklieren. Windkraftwerke verbrauchen keine Brennstoffe, sie ersparen der Umwelt tonnenweise CO2 und radioaktive Abfälle. Nicht einmal Kühlwasser ist notwendig, denn die Generatoren arbeiten luftgekühlt, was in Trockengebieten ein massgeblicher Vorteil ist.

Innovationen und Massenproduktion werden die Gestehungskosten in den nächsten Jahren nochmals halbieren, schätzt BTM Consult, eine der führenden Beratungsfirmen der Branche. Eine Turbine mit 1 Megawatt Leistung kostet heute zwischen 0.8 und 1,5 Millionen Franken, je nach Standort und Grösse der Windfarm. Zum Vergleich: 1 Megawatt Atomkraft kostet 6 Millionen Franken, dazu kommen Brennstoff- und Entsorgungskosten, aufwändige Bewilligungsverfahren und hohe Risiken für die Bevölkerung.

Weil der Wind aber nicht immer bläst, haben Windkraftwerke einen kleineren Kapazitätsfaktor als Kraftwerke mit thermischer Stromerzeugung. Das ist bei allen erneuerbaren Energien so. Betrachten wir beispielsweise das Rheinkraftwerk Birsfelden bei Basel. Würde die Nennleistung von 85 MW (=85 000 Kilowatt) ganzjährig, also während 8760 Stunden er-reicht, wäre eine Produktion von 745 Mio. kWh möglich. Die schwankende Wasserführung bringt aber «nur» einen mittleren Ertrag von 565 Mio. kWh., der Kapazitätsfaktor liegt bei 76%.

Windkraftwerke kommen nur in «superwindigen» Regionen auf mehr als 50 bis 70% Kapazitätsauslastung, etwa in Patagonien, in der Mongolei oder der Sahara. Die Nutzung dieser Gebiete ist meist noch Zukunftsmusik, weil die Stromleitungen in die Bevölkerungszentren fehlen.

Technologischer Fortschritt

An Küstenlagen in Europa werden 2000 bis 3500 Volllaststunden gezählt, im Schwarzwald und Jura sind es 1000 bis 2000. Nebst der Windhäufigkeit ist die Windgeschwindigkeit massgeblich für den Ertrag. Steigt sie, wächst die Stromproduktion gleich in der dritten Potenz! Der Sachverhalt exponentieller Produktivität macht manchen abgelegenen Küstenstrich mit starken Winden plötzlich zur Goldgrube. Entscheidend für Investoren sind genaue Windmessungen. Wird die Windgeschwindigkeit um 5 Prozent überschätzt, kann dies gleich Stromeinbussen von 15 Prozent zur Folge haben.

«Die Windindustrie hat noch lange nicht alle Vorteile der Massenproduktion ausgeschöpft», besagt eine Studie der Europäischen Windenergievereinigung (Ewea). «Das Design kann weiter optimiert werden.» Wächst der Radius einer Turbine, steigt die bestrichene Windfläche im Quadrat. Konkret: 10% längere Flügel bringen 21% mehr Strom! In den oberen Luftschichten sind die Windgeschwindigkeiten zudem höher als in Bodennähe. Deshalb der Trend zu grösseren Rotoren auf hohen Türmen. Die Multi-Megawatt-Maschinen drehen langsamer und leiser als die schnellen Propeller der ersten und zweiten Generation. Diese stillen Riesen stossen deshalb auf mehr Akzeptanz als manche Kleinanlagen in Siedlungsnähe.

Massgeblich beteiligt an diesem technologischen Fortschritt ist das dänische Forschungsinstitut Risö. Rund 50 Forschende in den Bereichen Aerodynamik, Meteorologie und Materialwissenschaft legten hier die Grundlagen für den kommerziellen Erfolg, während andere Länder Riesensummen in der Atomforschung versenkten. Der Weg zum Erfolg war indessen lang und beschwerlich. Legendär ist das deutsche Growian-Projekt zu Beginn der achtziger Jahre, mit dem die Bundesregierung den Sprung von der 100 kW- zur Drei-Megawattanlage wagte. Branchenfremde Flugzeugkonstrukteure bauten einen gigantischen Rotor mit 100 Meter Durchmesser, der nie richtig funktionierte. Das Experiment scheiterte schliesslich wegen Ma-schinenbruch. Danach war die Windenergie in Deutschland für ein Jahrzehnt klinisch tot.

Die Dänen setzten auf robuste Kleinanlagen, deren Leistung sie schrittweise vergrösserten. Der dreiflüglige Typ hat sich heute weltweit durchgesetzt. Dank Computerdesign, Glasfasermaterial und getriebelosem Antrieb werden die Anlagen immer leichter und effizienter. Die grössten serienmässig hergestellten Typen mit 2,5 MW Leistung haben einen Rotordurchmesser von 80 Meter. Die Gondel dreht sich bei allen Anlagen automatisch gesteuert dem Wind entgegen, die Flügelstellung wird elektronisch auf die Windstärke abgestimmt.

Bei Windgeschwindigkeiten von drei Meter pro Sekunde fängt das Rad an zu drehen, bei über 25 m/s bremst sich die Anlage selber aus und liegt glatt im Wind. Der deutsche Hersteller Enercon will im Herbst dieses Jahres in Magdeburg den ersten Prototyp mit 4,5 MW Leistung und 112 Meter Rotor-Durchmesser in Betrieb nehmen. Diese Grossturbinen werden vorab für die Nutzung im Meer erprobt. Interessanterweise lassen sich solche Riesen von blossem Auge kaum von Anlagen mit halb so grosser Leistung unterscheiden, denn der Radius der 4,5-MW-Anlage ist nur 16 Meter länger als jener der 2,5-MW-Anlage.

Konflikte

Bei nur 16 bis 20 Umdrehungen pro Minute sind solche Grossturbinen für Vögel keine Gefahr, haben deutsche Forschungsarbeiten nachgewiesen. Einzig die Beeinträchtigung der Landschaft ist ein Streitpunkt, der die Gemüter erregt. Die schärfsten Gegner der Windenergie finden sich allerdings nicht in der Bevölkerung, sondern in der «alten» Elektrizitätswirtschaft, die sich gegen die neue Konkurrenz rabiat zur Wehr setzt. Windenergie könne keinen Beitrag zur Energieversorgung leisten, sei unzuverlässig, zu teuer, lärmig und sie verschandele die Landschaft, so das Repertoire der Elektrizitätswirtschaft. Die Altmonopolisten sitzen als Eigentümer der Stromnetze häufig am längeren Hebel und haben es einfach, die Windkonkurrenz auszubooten. Die Tricks sind stets die gleichen: Mit Leistungspreisen und Distanzzuschlägen wird die Durchleitung der unregelmässig anfallenden Windkraft künstlich verteuert. Gerade in Kalifornien hat die Kraftwerklobby in den letzten Jahren den Einstieg neuer Anbieter systematisch blockiert. Und nun dienen die jüngsten Zusammenbrüche der Stromversorgung in den USA erneut als Vorwand, um die Öffnung der Netze zu vertagen und neuen Techniken den Marktzugang zu erschweren.

Auch in der Europäischen Union wird Windkraft trotz Strombinnenmarkt manchenorts verhindert. Neben der Festlegung willkürlicher Durchleitungsgebühren hat die Elektrizitätswirtschaft den Landschaftsschutz entdeckt. Der deutsche Bundesverband Landschaftsschutz (BLS) wurde 1995 eigens gegründet, um Windparks mit Einsprachen zu verhindern. Häuser und Grundstücke erführen eine Wertminderung, behauptete der Verband auf Flugblättern. «Hierzulande gibt es zu wenig Wind» um die Kraftwerke sinnvoll auszulasten, und «mit Windkraft werden Renditen von 30% eingefahren» - mit solch widersprüchlichen Argumenten wurde das Publikum eingeseift. Mit Falschaussagen über Schallpegel und «Disko-Effekt» von Windmühlen wurden Dutzende neuer Windprojekte gestoppt. Der deutsche Journalist Michael Franken hat nachgewiesen, dass das Herz dieses Widerstands in der Chefetage der Atom- und Kohleindustrie schlägt. Der BLS wird über eine Tochtergesellschaft des Stromriesen RWE finanziert, also ausgerechnet von einem jener Kraftwerksbetreiber, die mit Kohletagebau rücksichtslos ganze Landschaften umpflügen.

Das deutsche Beispiel steht nicht allein. In Frankreich sorgte die Electricité de France mit prohibitiven Abnahmekonditionen lange Zeit dafür, dass keine Windkraftwerke gebaut wurden. Und die britische Windbranche wurde stranguliert, indem Standortgesuche von Strohmännern in jahrelange Rechtsverfahren gezerrt wurde. Stromliberalisierung Wind-

kraftwerke sind deshalb nicht etwa dort am häufigsten verbreitet, wo es viel Wind hat. In Europa erhält sich ihre Verbreitung vielmehr umgekehrt proportional zum Einfluss der Atom- und Kohlelobby. Deutschland und Dänemark verfügen über ein vergleichsweise mässig gutes Windpotenzial, in Frankreich, Grossbritannien oder Russland sind die Windressourcen gleich um ein Vielfaches besser.

Seit einigen Jahren werden die Stromnetze liberalisiert. Dies bringt häufig eine Initialzündung der Windenergie in Gang. Als am 1. Januar 2001 in Alberta (Kanada) die Netze geöffnet wurden, haben sich innert Monatsfrist nicht weniger als vier Konsortien beworben, um Windkraft im öffentlichen Netz zu verkaufen. Die Entwicklung kam in Gang, ohne dass irgendwelche Subventionen im Spiel waren. Innert Jahresfrist werden in Alberta laut der Fachzeitschrift «Windpower Monthly» 200 MW ans Netz gehen, und das ist erst der Anfang.

In USA und Kanada könnte man im Mittleren Westen, von Alberta bis Texas, ein Mehrfaches des aktuellen Stromverbrauchs mit Windenergie erzeugen. Die Öffnung der Stromnetze und der steigende Preis von Erdgas auf dem amerikanischen Kontinent könnten die Windenergie innert kurzer Zeit in einem Ausmass beschleunigen, das heute noch für viele undenkbar ist.

Landschaftsschutz

Landschaftsästheten werden dies bedauern. Die Erstellung von Windturbinen geht zweifellos mit einer Industrialisierung der Landschaften einher. Wissenschaftliche Befragungen in Holland, Dänemark und Kanada zeigen immerhin, dass über 80% der Bevölkerung neue Windkraftwerke begrüssen. Am grössten ist der Widerstand dort, wo noch keine Erfahrungen mit Windenergie gemacht wurden. In Cornwall (England) stieg die Zustimmung der Bevölkerung deutlich an, nachdem die ersten Turbinen erstellt waren und besichtigt werden konnten. Es überrascht nicht, dass die Sympathien erst recht steigen, wo Standortgemeinden am Windgeschäft finanziell beteiligt werden. Der phänomenale Windboom in Spanien ist nicht zuletzt auf die fetten Zuwendungen in die Dorfkassen zurückzuführen. Signifikant positiv ist die Haltung auch, wo Anwohner selber in Windenergie investieren und Nutzungspläne demokratisch abgestützt werden.

Drang aufs Meer

In den nächsten Jahren wird die Windenergie quantitativ noch vorwiegend zu Lande aus-gebaut werden. Aber landschaftsschützerische Erwägungen beschleunigen die Entwicklung von Offshore-Windparks. Schon in den nächsten fünf Jahren werden Dutzende von Windfarmen in europäischen Meeren gebaut werden. Im März 2001 liess Tony Blair Planungszonen in den Küstengewässern Englands ausschreiben, die juristisch im Eigentum der englischen Krone stehen. In der Nordsee gibt es Zehntausende Quadratkilometer mit Wassertiefen unter 10 bis 15 Meter mit hervorragenden Windressourcen. Windfarmen im Meer lassen sich nicht mit Nachbarschaftsklage blockieren, und der Wind bläst stärker und häufiger. 18 verschiedene Konsortien bewerben sich um die britischen Zonen.

In fünf Jahren sollen 1600 MW Leistung entstehen, die Strom für mehr als eine Million britischer Haushalte erzeugen. Um Offshore-Farmen ist ein Wettrennen ausgebrochen mit Grossprojekten in Irland (500 MW), den Niederlanden (1500 MW), Deutschland (6000 MW) und Dänemark (3000 MW). Das Deutsche Windenergie-Institut hat berechnet, dass auf einer quadratischen Fläche mit 109 Kilometer Seitenlänge der ganze deutsche Stromverbrauch aus Windkraft gedeckt werden kann. Verankerung und Verkabelung sind technisch gelöst. Einzig die Kosten liegen noch höher als zu Lande, weil Offshore-Techniken noch in Kinderschuhen stecken.

Mit der Erschliessung der Meere gelangt die Windtechnik in grossindustrielle Dimensionen. Untiefe Meeresgebiete mit nutzbaren Winden sind weltweit gesehen sozusagen unbeschränkt verfügbar; wenige Promille der Welt-Meeresfläche genügten, um den globalen Stromverbrauch herzustellen. Gesetzliche Einspeisevergütungen und gute Windverhältnisse in der Nordsee treiben die Entwicklung vor allem in Deutschland und Dänemark rasch voran. Die aktivsten Investmentgesellschaften heissen Umweltkontor, T & T Technologie, Plambeck Neue Energien und gelten an den Technologiebörsen als heisse Ware. Auch die Nutzung von Wüstengebieten scheint landschaftlich gesehen kaum auf Opposition zu stossen - jedenfalls gibt es kaum Anwohner. Eine Studie der Princeton University schlägt vor, in der Inneren Mongolei (China) eine Million Windturbinen zu bauen. «Auf 83 000 km2 in einem Gebiet, wo der Wind während 7900 Stunden pro Jahr bläst, gibt es Platz für 500 000 MW Leistung.» Auf einem Prozent der Fläche Chinas könnte so die Stromproduktion von 400 Atomkraftwerken oder das Eineinhalbfache des chinesischen Verbrauchs erzeugt werden. Nur: Chinas Regierung zeigt wenig Interesse. Das staatliche Elektrizitätsmonopol setzt auf Kohle und umstrittene Staudämme (Drei-Schluchten-Damm). Windturbinen werden mit Zöllen künstlich verteuert, eine eigene Windindustrie fehlt, und das Hochspannungsnetz leidet an Unterkapazitäten.

Die letzte Hürde: SPEICHERUNG

Windenergie ist gewandelte Sonnenenergie. Aber der Wind bläst im Unterschied zur Sonnenstrahlung auch nachts, und besonders stark während der kalten Jahreszeit. Die Produktionsspitze im Winterhalbjahr ist wertvoll, weil sie die konventionelle Stromerzeugung entlastet und die Vorräte in den Speicherseen schont. Ein Problem jedoch bleibt: Der Wind bläst nicht immer; Windkraft ist eine intermittierende Ressource. Beim Strom müssen Verbrauch und Produktion zeitlich haargenau aufeinander abgestimmt werden. Für die Versorgungssicherheit müssen Reservekapazitäten stand-by bereitstehen. Das Problem ist alles andere als neu. Auch Kohle- und Atomkraftwerke liefern konstante Produktion, so genannte Bandenergie; diese fällt zeitlich nicht mit der Lastkurve, dem Verbrauch der Nachfrager zusammen. Zwecks Spannungshaltung sind Speicher (Stauseen, Batterien, Wasserstoff für die Stromerzeugung in Brennstoffzellen) oder Spitzenkraftwerke (zB. Gasturbinen) nötig, deren Stromerzeugung auf Knopfdruck ab- gerufen wird. Solange die Windkraft «nur» 10 bis 20% zur Versorgung einer Region beiträgt, ist die Leistungsregulierung bei Windstille nicht sehr aufwändig, denn so viel Reserven kann jedes Land durch Importe oder Inbetriebnahme eines Gasturbinen-Kraftwerks erzeugen. Vom Standpunkt der Systemsicherung her verbessert die Windkraft sogar die Versorgungssicherheit, denn «nichts ist sicherer als viele kleinere, dezentrale und vernetzte Energiequellen», sagt Hans-Rudolf Zulliger, Präsident der Eidg. Energieforschungskommission. Dänemark will die Windenergie auf 50% der Stromversorgung hochschrauben. In dieser Grössenordnung kann eine längere Windstille Versorgungsprobleme auslösen.

Es gibt aber Gegenstrategien:

- Je besser die Standorte verteilt sind, desto geringer die Wahrscheinlichkeit, dass überall Windstille herrscht.
- je grösser die Verfügbarkeit von Gasturbinen statt Bandenergie aus Atom und Kohle desto leichter die Feinsteuerung.
- Je besser die internationale Vernetzung, desto leichter können Defizite oder Ueberschüsse an Strombörsen beschafft werden.

Dänemark deckt seinen Regulierungsbedarf zum Beispiel mit Wasserkraft aus Norwegen und Schweden. Die Dänen haben zudem grosse Erfahrung im Beobachten des Windes. Je besser die Windprognosen, desto leichter lässt sich die Produktion steuern. Elektronische Messungen liefern heute eine halbe Stunde im Voraus Prognosen von hoher Treffsicherheit. Neue Anbieter suchen fieberhaft nach neuen, billigen Speichersystemen. «Intensive Forschung findet statt und es ist zu erwarten, dass eine kommerziell leistungsfähige Technologie in diesem Bereich in wenigen Jahren entwickelt sein wird», hält NEG Micon, Nummer drei der Branche, in Ihrem Jahresbericht fest. Prototypen neuartiger Speicher gibt es bereits. Der britische Kraftwerksbetreiber Innogy hat kürzlich in Newcastle eine Anlage namens Regenesys in Betrieb genommen, mit der Strom chemisch gespeichert wird. Die Anlage mit 15 Megawatt Leistung funktioniert wie eine wiederaufladbare Batterie. Sie besteht aus einer reversiblen Brennstoffzelle und einer Aufnahmekapazität von 120 Megawattstunden, umgerechnet gross genug, um die Leistung des Kraftwerks Birsfelden während 1,5-Stunden zu speichern. «Keinerlei Umwelteinflüsse, keine Selbstentladung wie bei Batterien und Investitionskosten von nur ca. Fr. 3000.- pro Kilowatt», werden dem System zugute gehalten. Die Hersteller rechnen damit, dass die Anlage bei Preisunterschieden von ca. sechs Rappen zwischen Grundlast- und Spitzenstrom wirtschaftlich arbeiten kann. Kein hoher Preis, vergleicht man ihn mit dem inzwischen aufgegebenen Projekt Grimsel West, wo die Pumpspeicherung von Sommerstrom für den Winter 20 Rp./kWh gekostet hätte.

Ein Gross-Akku des Typs Regenesys führt nicht zu landschaftlichen Eingriffen, wie dies bei Stauseen der Fall ist, und selbst die Abwärme, die bei chemischen Speichervorgängen anfällt, könnte zur Beheizung von Gebäuden oder für Warmwasser genutzt werden. Alle intermittierenden Stromquellen, auch die Photovoltaik, könnten dank solchen Techniken attraktiver werden. Windkraft benötigt keine Saison-, sondern bestenfalls Tagesspeicher. Vorerst noch gehören Brennstoffzellen zu den teuren Speicherlösungen. Denn die meisten Stromanbieter lösen das Regulierungsproblem mit Gaskraftwerken und unterirdischen Gaskavernen. Doch wenn es die Regierungen ernst meinen mit Klimaschutz und erneuerbaren Energien, sind massenhaft hergestellte, kostengünstige und dezentrale Stromspeicher unabdingbar und kein Ding der Unmöglichkeit. Seit den kalifornischen Krisenerscheinungen in der Stromversorgung steigt die Nachfrage nach Versorgungssicherheit, selbst wenn es etwas kosten sollte. Windkraft und die chemische Speicherung von Strom mittels Brennstoffzellen sind ein ökologisches Traumpaar: Das Ziel einer emissionsfreien und risikoarmen Energieerzeugung ist für die ganze Menschheit in greifbare Nähe gerückt, und dies dank ein paar grünen Spinnern in Dänemark, die beharrlich an Alternativen zum Atomstrom glaubten.

10, 50 oder 80 Prozent der Weltstromversorgung?

Die Meinungen darüber, welchen Beitrag die Windenergie an die Stromversorgung liefern wird, sind noch lange nicht gemacht. Die Branche ist so jung und das Wachstum derart stürmisch, dass Prognosen heikel sind. Eine neuer Bericht der Klimaabteilung der Internationalen Energie Agentur (IEA) veranschlagt das theoretische Produktionspotenzial in Europa auf das Zwanzigfache des aktuellen Stromverbrauchs. Verschiedene Restriktionen - keine Windfarmen in Wäldern, Schutzzonen, Siedlungsgebieten und Gewässern - reduzieren das realisierbare Nutzpotenzial. «Dies berücksichtigend prophezeit die Studie, dass ein Drittel der globalen Stromnachfrage im Jahre 2020 mittels Windenergie gedeckt werden kann», erklärt John Davison von der IEA, sodass die Windenergie mehr Strom liefern wird als Wasserkraft und Atomkraft zusammen.

Angesichts dieser Dynamik verwundert es nicht, dass neue Investoren auf den Plan treten. Der offshoreerfahrene Ölkonzern Shell will mit Windparks einen Wachstumsschwerpunkt setzen. Der US-Erdgas-Riese Enron hat die
Tacke Windkraft übernommen und ist daran, mit deutscher Technologie Marktanteile auf dem dynamischen US-Markt zu
erobern. Der ABB-Konzern hat sich von fossilen und nuklearen Grosskraftwerken verabschiedet und setzt ganz auf dezentrale Technik. Er reklamiert mit dem «Windformer» einen neuen Typ Windgenerator für sich, der dank getriebelosem Motor
und Leistungselektronik die Kosten «um weitere 20 Prozent senken» werde, so die Firma. Den «Windformer» gibt es erst
auf dem Papier. Die Branche ist gespannt, wann ABB die Karten offen legt.

«Technologische Sprünge sind in der Windindustrie nicht zu erwarten», hält Marktleader Vestas im Jahresbericht entgegen. «Wir glauben nicht, dass neue Technologien unseren Marktanteil bedrohen», denn schon mehrmals mussten Grosskonzerne mit unausgereiften Prototypen den altbackenen Maschinenbauern das Feld räumen.

Weltmeister Deutschland

Land	Leistung der Windkraftwerke	
	Ende 2000 (MW)	
Deutschland	6113	
USA	2555	
Spanien	2402	
Dänemark	2297	
Indien	1220	

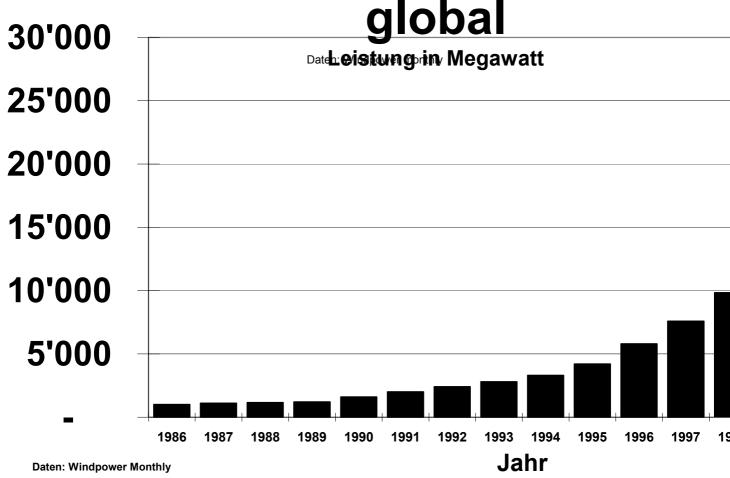
Niederlande	448
Grossbritannien	409
Italien	389
China	340
Schweden	231
Griechenland	189
Japan	150
Kanada	140
Irland	118
Portugal	100

Quelle: Windpower Monthly, April 2001

Wo die Windkraft am schnellsten wächst

	Neubau 2000	Zubau in Prozent
	in MW	der Kapazität 1999
Ägypten	48	+320%
Frankreich	56	+243%
Australien	23	+209%
Japan	82	+121%
Griechenland	102	+117%
China	158	+87%
Österreich	36	+86%
Italien	178	+84%
Portugal	40	+67%
Irland	45	+62%
Spanien	872	+57%
Deutschland	1668	+38%
Dänemark	555	+32%
Grossbritannien	53	+15%

Expansion der Windenergie



Windenergie in der Schweiz

In der Schweiz ist vom globalen Windboom nichts zu spüren. Doch es gibt Windkraftwerke! Vier Turbinen mit 600 bis 660 kW Leistung sind auf dem Mont Crosin oberhalb St-Imier zu besichtigen. Insgesamt produzieren 14 Anlagen mit 2,8 MW Leistung rund 3,2 GWh Strom - genug für 1000 Haushalte. «Wir kommen am Mont Crosin auf 1200 Betriebsstunden pro Jahr, erklärt Ernst Stocker von den Industriellen Werken Basel (IWB). «Die Gestehungskosten der älteren drei Anlagen liegen bei 25 Rp./kWh, die jüngste Turbine mit 660 kW liefert dank Mehrganggetriebe rund 20% mehr Ertrag - bei gleichem Einkaufspreis wie die älteren Modelle.» «Suisse Eole», die Vereinigung für Windenergie, rechnet mit Kosten von rund 20 Rp./kWh und einem Zubau auf 50 bis 70 MW bis im Jahre 2010 - zumeist an Höhenlagen im Jura, ausserhalb von Naturschutzgebieten. «Der Windenergiemarkt entwickelt sich hier langsamer als angenommen, doch mit neuen Projekten an sehr guten Standorten im Jura sind mit modernen Anlagen Auslastungen von bis zu 2000 Volllaststunden möglich», erklärt Robert Horbaty von Suisse Eole. «Der Ausbau der Windenergie liesse sich beschleunigen, wenn die Kantone wie in Deutschland Vorranggebiete ausscheiden müssten.»

Horbaty fordert geregelte Rückliefertarife und einen offenen Marktzutritt, wie dies das Elektrizitätsmarktgesetz vorsieht. Bei Vollausbau könnte man in der Schweiz rund 1600 GWh Strom oder etwa 3,5% des Landesbedarfs erzeugen. Angesichts dieses bescheidenen Potenzials ist ein Szenario denkbar, bei dem die Schweiz in der Nordsee ein Plätzchen mietet, um Windenergie zu tieferen Kosten zu erzeugen. Eine Fläche von der Grösse des Genfersees (30X30 km) würde genügen, um die Schweizer Atomstromproduktion zu ersetzen. Der Strom aus dem Meer würde durch längere Transportwege vielleicht etwas verteuert, aber Entsorgungsprobleme und Unfallrisiken gäbe es nicht. Doch exotisch ist ein solches Vorhaben nicht. Die Holländer importieren Wasserkraft via Kabel aus Norwegen, wieso soll sich die Schweiz nicht in der Nordsee mit sauberem Strom eindecken?

Learning by doing - mit konsequenter Förderung zum Erfolg

«Windkraftwerke an guten Standorten erzeugen heute billigeren Strom als neue Kohlekraftwerke», schreibt NEG Micon in ihrem Jahresbericht. «Sie sind billiger als Atomenergie und liegen nahe beim Preis von Erdgas.» Doch das ist Schnee von gestern. In den USA hat die Verdoppelung der Gaspreise dazu geführt, dass Windkraft heute die absolut billigs-

te Stromerzeugung darstellt. Allein seit Januar 2001 wurden in Oregon, Nevada, Washington State und Kalifornien gegen 2000 MW neue Windkraftwerke bestellt. Dank der kurzen Bauzeit kann die Stromproduktion innert Jahresfrist beginnen. Angesichts solcher Entwicklungen muss man sich fragen, ob eine Förderung der Windenergie heute überhaupt noch nötig ist. Ja, sie ist es. Und zwar deshalb, weil die Konkurrenzen der Atom- und Gaslobby noch immer übermächtig sind, und eine faktische Kontrolle über die Durchleitungsrechte und die Regulierungsbedingungen im Stromnetz ausüben. Zudem sind viele neue Investoren mit der Windtechnik noch kaum vertraut; Offshore-Anlagen sind noch relativ teuer und die Windverhältnisse sind regional unterschiedlich. Die Förderstrategien der Länder sind höchst unterschiedlich. Neben staatlich verfügten Mindestquoten für erneuerbare Energien etabliert sich in den USA ein Markt für zertifizierten grünen Strom. Tausende von Stromkonsumenten bezahlen für emissionsfreie Elektrizität einen Aufpreis; doch beschränkt sich dies auf einen Nischenmarkt.

Deutschland hat seit 1991 eine Gesetzgebung, die die Windkraft begünstigt. Das Einspeise-Gesetz, das bis 1999 in Kraft war, garantierte eine Vergütung von 90 % des Endverkaufspreises für Elektrizität. Im Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG), das im April 2000 in Kraft trat, wurde die Vergütung auf 17.8 Pfennig/kWh festgesetzt und auf fünf Jahre beschränkt. Diese Mindestvergütung genügt als Anreiz für Windanlagen an der Küste vollauf. Für Turbinen im Binnenland, die schlechtere Produktionsdaten aufweisen, wird der höhere Vergütungspreis verlängert, bis eine bestimmte Produktion erreicht ist. Offshore-Anlagen erhalten die höhere Vergütung während neun Jahren, bevor sie auf 12.1 Pfennig absinkt. Von solchen förderlichen Bedingungen können die Windfarmer in den USA nur träumen. Als einzige Begünstigung auf US-Bundesebene existiert ein Steuerabzug von 1.5 US-Cents/kWh während 10 Jahren ab Betriebsbeginn. Diese Massnahme läuft Ende 2001 aber bereits wieder aus. Die unstete Förderpolitik in den USA hat alle grossen US-Windkraft-Hersteller bis auf einen (Zond/Enron) in den Konkurs getrieben.

Allerdings sind die Windverhältnisse viel besser als in Deutschland. Deshalb stehen die USA trotz eines ökologie-feindlichen Präsidenten so oder so vor dem grössten Windboom der Geschichte. Ohne den Mut und die Geduld der Dänen, die mit ihrem Einspeisegesetz und Subventionen jahrzehntelang das Lehrgeld bezahlten, wäre die Windindustrie niemals dort, wo sie heute steht. Dieser Erfolg ist ein Lehrstück für die Solartechnik. Länder, die wie die Schweiz bloss auf staatliche Energieforschung setzen, ohne die Technik industriell anzuwenden, operieren technologisch in der Sackgasse. Nur ein stabiler Absatzmarkt garantiert, dass sich eine unrentable Technik mit Zukunftspotenzial so entwickeln kann, dass die Kosten sinken. In Deutschland und Dänemark wurden diese Zusammenhänge erkannt und von der Regierung konsequent umgesetzt - mit erheblicher Sogwirkung auf andere Länder. Frankreich, Schweden, England und die Schweiz, wo die Atomlobby die Energiepolitik noch immer stark beeinflusst, bleiben Nachzüglernationen ohne industrielle Basis für erneuerbare Energien.

In Deutschland wird heute auch die Solartechnik mit einer garantierten kostendeckenden Vergütung von 99 Pfennig/kWh gefördert. Solarfabriken schiessen wie Pilze aus dem Boden. Sie versprechen mittelfristig wie in der Windtechnik sinkende Kosten, Exporte und Zehntausende qualifizierter Arbeitsplätze.

Verschandelung oder Verschönerung?

Ob Windturbinen das Landschaftsbild beeinträchtigen oder bereichern, ist eine Frage des Geschmacks. In Sydthy (Dänemark) sind 58% aller Haushalte Miteigentümer einer Windturbine, was die Haltung gegenüber der Windenergie positiv beeinflusst. Die Windenergie deckt in diesem Städtchen mit 12 000 Einwohnern 98% des Stromverbrauchs. Jene Haushalte, die nahe von Windturbinen wohnen, so eine Studie aus dem Jahre 1997, beurteilten die Windenergie sogar positiver als die übrige Bevölkerung. Personen aus städtischen Gebieten haben eine negativere Haltung gegenüber der Windkraft als aus ländlichen Gebieten. In den Städten herrscht ein romantischeres Bild von der Natur vor, während in ländlichen Gebieten die produktive Nutzung überwiegt.

Die dänische Regierung ist heute bestrebt, die Vielzahl älterer Kleinanlagen durch wenige Grossturbinen zu ersetzen. Für den Landschaftsschutz wurde die Zahl der Standorte beschränkt. Wo Windfarmen mit Multi-Megawatt-Turbinen gebaut werden, ist die Landschaftsbeanspruchung erstaunlich bescheiden. Die zitierte Windstudie der IEA-Klimaabteilung rechnet selbst bei einer Vollversorgung mit Windenergie, dass in keinem Land der Welt mehr als 2,5% der Landfläche als Standortgebiet beansprucht wird. Nach Berechnungen der amerikanischen Vereinigung für Windenergie (Awea) besteht allein in den westlichsten fünf Bundesstaaten ein Potenzial für 600 000 MW, entsprechend der Leistung von 600 Atomkraftwerken. Werden diese Anlagen in grossen Windfarmen konzentriert, beanspruchen sie etwa 70 000 km2, das entspricht etwa einem Viertel der Fläche von Nevada. Fragwürdig sind am ehesten kleine Anlagen in windschwachen Gebieten. Doch was heisst windschwach? Selbst im Jura kann ein einziger Mast ein 500-Seelen-Dorf voll mit Strom versorgen. Und Windturbinen lassen sich jederzeit spurlos wieder abbauen und rezyklieren, was man von den nuklearen und den CO2-Technologien nicht im Traum behaupten kann. Landschaft schützen oder Landschaft nützen - das bleibt ein Ermessensentscheid. Werden die Emissionen und Risiken der herkömmlichen Stromerzeugung in die Güterabwägung einbezogen, schlägt das Pendel meistens zugunsten der Windnutzung aus.

Literatur

International Energy Agency Greenhouse Gas R&D Programme: The Potential of Wind Energy to reduce CO2-Emissions, Report Number PH*/24, October 2000.

European Wind Energy Association: Wind Force 10, A Blueprint to Achieve 10% of the World Electricity from Wind Power by 2020, 1999

Franz Alt, Jürgen Claus, Hermann Scheer: Windiger Protest, Bochum 1998

K. Rehfeldt: Potentiale der Offshore-Windenergienutzung und ihr Beitrag zum Klimaschutz, Deutsches Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven 2000

Soren Krohn: Danish Wind Turbines: An Industrial Success Story, Danish Wind Turbine Manufacturers Association 1999

Debra J. Lew , Robert H. Williams, Xie Shaoxiong, Zhang Shihui: Industrial-Scale Wind Power in China, Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, 1996



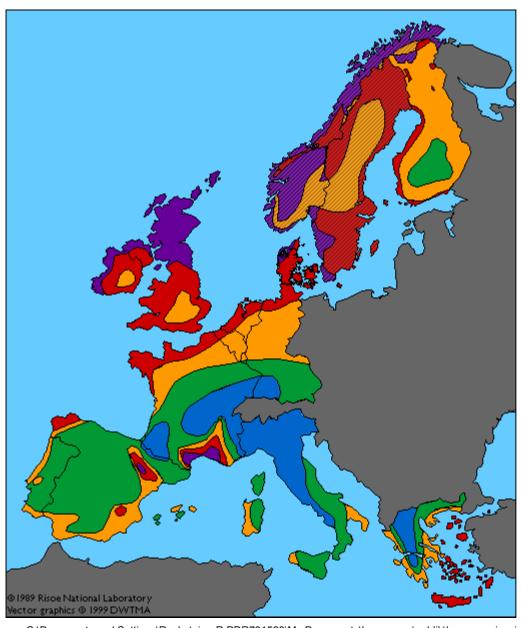
Die erste Offshore-Anlage bei Kopenhagen produziert mit 20 Turbinen à 2 MW Strom für 40'000 Haushalte

Technologien die für Ölplattformen entwickelt wurden, werden heute für Windfarmen im Meer genutzt.



Präzise Windmessungen (rechts) sind entscheidend für die Standortwahl. Foto vestas

C:\Documents and Setting



Auf Hügeln und an Bergrücken sind die Windgeschwindigkeiten am höchsten. Es werden langlebige, robuste Materialien verwendet, die sich rezyklieren lassen.

Auf dem Mahlberg (Baden-Württemberg) wurde im Frühjahr die derzeit grösste serienmässig hergestellte Windturbine mit einem Rotordurchmesser von 80 Metern und 2,5 MW Leistung erstellt.

