

Argumente pro und contra Offshore-Windenergie

- Sachstand -



Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages

██

Argumente pro und contra Offshore-Windenergie

Sachstand WD 8 - 3000 - 094/2008

Abschluss der Arbeit: 18.06.2008

Fachbereich WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit,
Bildung und Forschung

██

Ausarbeitungen und andere Informationsangebote der Wissenschaftlichen Dienste geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Die Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste sind dazu bestimmt, Mitglieder des Deutschen Bundestages bei der Wahrnehmung des Mandats zu unterstützen. Der Deutsche Bundestag behält sich die Rechte der Veröffentlichung und Verbreitung vor. Beides bedarf der Zustimmung der Leitung der Abteilung W.

1. Einleitung: Klimaschutz und Windenergie

Aufgrund immer robusterer wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Ursachen und die möglichen Folgen eines globalen Klimawandels ist es inzwischen in weiten Kreisen als Tatsache anerkannt, dass das Energieversorgungs-System der Menschheit in Richtung auf geringere Treibhausgas-Emissionen umgestellt werden muss. Die Strategien, die u.a. die Bundesregierung, die EU-Kommission und viele andere in dieser Hinsicht verfolgen, setzen neben Energieeinsparung und Steigerungen der Energieeffizienz vor allem auf eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien an der Strom- und Wärme-Produktion.

Während die Kapazitäten der Wasserkraft in Deutschland schon weitgehend ausgeschöpft sind und die Solarenergie wohl eher im Wärme- als im Stromsektor noch deutliche Steigerungen erwarten lässt, ist gerade das Potenzial der Windenergie zur Deckung eines deutlich höheren Anteils am Strombedarf noch nicht optimal genutzt. Dies gilt nicht so sehr an Land, wo der Zubau weiterer Windkraftanlagen mehr und mehr auf Bedenken im Hinblick auf den Natur- und Landschaftsschutz trifft; umso stärker dafür aber für Standorte auf See („offshore-Windkraft“, vgl. Tiedemann 2007). Daher fördert und begleitet die Bundesregierung seit mehreren Jahren die Planung von Offshore-Windparks vor den deutschen Küsten (Bundesregierung 2001; EU 2007).

2. Argumente pro Offshore-Windenergie

2.1. Energetischer Ertrag

Die Stromproduktion bzw. der energetischer Ertrag einer Windkraftanlage hängt in erheblichem Maße von der Wind-Qualität seines Standorts, insbesondere der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit am Anlagenort, ab. Der quantitative Zusammenhang ist in der Physik als „Betz'sches Gesetz“ bekannt: Die Energieausbeute eines Windrades wächst mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Diese starke Abhängigkeit bedeutet, dass eine Anlage an einem guten Standort, an dem der Wind doppelt so stark (bzw. schnell) weht wie an einem schlechteren, bis zu acht mal so viel Strom produzieren kann. Aus diesem Grund lohnt es sich, bei der Planung von Windkraftanlagen der Standortfrage sehr viel Beachtung zu schenken.

Generell weht auf See der Wind nicht nur beständiger, sondern auch im Mittel deutlich stärker als an Land. Außerdem nimmt die Windstärke an Land erst langsam mit der Höhe zu; in Bodennähe werden Luftbewegungen durch Unebenheiten des Geländes, durch Wälder oder durch Bebauung gebremst. Auf See hingegen werden höhere Windgeschwindigkeiten schon in tieferen Luftschichten beobachtet. Dies ist für Windkraftanlagen vorteilhaft, da deren Masten dann nur eine niedrigere Bauhöhe erreichen müssen.

Die Deutsche Energie-Agentur (DENA) stellt darüber hinaus fest, dass die Nordsee zusammen mit Kap Horn (Südafrika) zu den windreichsten Regionen der Welt zählt (DENA 2005). Aus allen diesen Gründen eröffnen Standorte auf See sehr interessante Perspektiven für die Windkraft, gerade auch in Deutschland.

2.2. Umweltgesichtspunkte

Viele der Bedenken, die von Anwohnern wie von Landschafts- und Naturschützern häufig gegen Windkraft-Standorte an Land vorgetragen werden, fallen auf See weg: Argumente wie Zerschneidung / „Verschandelung“ der Landschaft, Abschreckung von Wildtieren, Schattenwurf auf landwirtschaftliche Flächen, Lärmbelästigung von Anwohnern etc. werden bei Offshore-Standorten weitgehend gegenstandslos.

2.3. Wirtschaftliche Argumente

Die Stromerzeugung aus Windkraft ist bereits heute wirtschaftlich. Die DENA nennt für windreiche Küsten Erzeugungskosten von rund 4,5 Cent pro kWh Strom und rechnet mit weiteren Kostensenkungen bis unter 4,0 Cent / kWh (DENA 2005). Diese Kosten liegen nicht höher als bei vielen anderen Energieformen (fossil und atomar) und deutlich niedriger als z.B. bei der Photovoltaik.

Die Windenergie-Branche in Deutschland hat sich aufgrund frühzeitiger Förderung, systematischer staatlicher Marktförderung (Einspeisevergütung...) und eines allgemein hohen Umweltbewusstseins zu einem eigenständigen Industriezweig entwickelt, der international wettbewerbsfähig ist und mit stetigem Wachstum sowohl die deutsche Exportbilanz positiv beeinflusst als auch Arbeitsplätze schafft. Weiteres Wachstum ist vor allem an Offshore-Standorten zu erwarten. Sobald die Technologie für Offshore-Windanlagen an einigen Standorten vor der deutschen Küste zur Marktreife entwickelt ist, kann sie die internationale Wettbewerbsfähigkeit und Exportkraft der deutschen Windkraft-Branche weiter erheblich stärken.

3. Argumente contra Offshore-Windenergie

3.1. Technik / Wirtschaftlichkeit

Technisch stellen Offshore-Standorte die Windkraftanlagenbauer vor deutliche Herausforderungen. Nicht nur müssen wegen höherer Windgeschwindigkeiten die Masten und Rotoren deutlich höheren mechanischen Belastungen standhalten können als bei Anlagen an Land, sondern müssen auch die Fundamente, die Verankerung am Meeresboden und Mast unter Wasser stabiler ausgelegt sein, um Wellen, Gezeiten, Meeresströmungen, gelegentlichem Eisgang (Ostsee), Sturmfluten und möglichst auch eventuellen Schiffs-Kollisionen zu widerstehen. Dabei dürfen die verwendeten Materialien durch

Meerwasser und salzhaltige Seeluft nicht zu schnell korrodiert werden. Dies alles macht den Bau von Offshore-Windanlagen aufwändiger und teurer als an Land. Auch Wartung und Reparaturen sind schwieriger; um hier den Aufwand gering zu halten, müssen automatische Systeme zur Fehlerdiagnose und Fernwartung eingebaut werden.

Schwieriger ist auch die Anbindung ans Stromnetz zwecks Abtransports des erzeugten Stromes. Typischerweise werden Seekabel bis zur nächstgelegenen Küste verlegt, die wiederum besonders korrosionsbeständig sein müssen. Auch an Land muss das Netz oft weiter verstärkt und ergänzt werden, um den Anschluss an das überregionale Höchstspannungsnetz zu gewährleisten. Neue Leitungstrassen kosten nicht nur Geld, das von den Netzbetreibern auf den Strompreis umgelegt wird. Der Bau stößt immer öfter auch auf Protest der Anwohner, die eine Zerschneidung der Landschaft sowie eine Belastung durch „Elektrosmog“ fürchten. Dies ist jedoch nicht spezifisch für die Offshore-Windkraft, sondern gilt generell für alle Netzerweiterungen, die auch beim Bau konventioneller Kraftwerke an neuen Standorten notwendig werden können.

3.2. Energiebilanz

Viele der bereits genannten Argumente beeinflussen auch die Energiebilanz der Offshore-Windanlagen. Durch die größere Entfernung der Erzeugungsanlagen von den Zentren des privaten und industriellen Stromverbrauchs, die tendenziell eher in der Mitte oder im Süden Deutschlands liegen, werden auch die notwendigen Transportwege länger und dadurch die Leitungsverluste größer. Allerdings könnte dieser Effekt langfristig durch neuartige Übertragungs-Technologien (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) zumindest gemildert werden.

Die robusteren Fundamente und stabileren Materialien für Offshore-Windanlagen bedingen einen größeren Materialeinsatz beim Bau, der sich ebenfalls negativ auf die Energie- bzw. Treibhausgasbilanz auswirkt. Gerade Zement bzw. Beton, der u. U. für die Fundamente am Meeresboden eingesetzt wird, führt in der Herstellung zur Emission größerer Mengen an Kohlendioxid [REDACTED]. Dieser Effekt wird allerdings im Laufe des Betriebes durch eine entsprechend höhere Stromproduktion wieder ausgeglichen. Die Energie-Rücklaufzeit (energetische Amortisationszeit, [REDACTED]) muss deshalb für Offshore-Anlagen nicht höher sein als an Land, wo sie in der Größenordnung von einigen Monaten (je nach Standort, jedenfalls meist unter einem Jahr) liegt. Nach Ablauf dieser Rücklaufzeit produziert die Anlage netto Strom, ohne das Klima weiter zu belasten. Die genaue Länge der Rücklaufzeit auf See wird von vielen Faktoren abhängen – z.B. Wind und Wetter am Standort, Meerestiefe, Strömungsverhältnisse (Fundament), Details der mechanischen Konstruktion, Auslegung und Wirkungsgrad des Generators, Netzanbindung. Genauere Daten wird erst die praktische Erfahrung an einigen Test-Standorten erbringen.

3.3. Einbindung ins Energiesystem

Der Windenergie allgemein wird oft der Vorwurf gemacht, sie sei zu starken zeitlichen Schwankungen unterworfen („volatil“) und schwer vorhersehbar; man könne „nicht mit ihr rechnen“. Um die Versorgungssicherheit im Stromnetz zu gewährleisten, muss deshalb Reserveleistung vorgehalten werden, meist in Form von Kohle- oder Gaskraftwerken. Gaskraftwerke sind relativ schnell regelbar und können flexibel auf Ertragschwankungen der Windkraft reagieren; allerdings ist Erdgas beständigen Preissteigerungen unterworfen. Außerdem ist Deutschland weitgehend auf Importe angewiesen. Kohle als teilweise heimischer Brennstoff ist oft billiger, allerdings können Kohlekraftwerke nicht so schnell geregelt werden, um flexibel auf Bedarfsschwankungen oder Windkraft-Ausfälle zu reagieren. In jeden Fall laufen Reservekraftwerke nicht auf Vollast und erreichen deshalb nicht den für maximalen Wirkungsgrad erforderlichen Lastbereich. Sie verbrauchen daher mehr Brennstoff pro kWh und stoßen mehr Treibhausgase aus als Kraftwerk im regulären Lastbetrieb. Dies muss bei der Umweltbilanz der Windkraft negativ berücksichtigt werden.

Während diese Argumentation generell zutrifft, gilt sie doch im Falle der Offshore-Windkraft nur eingeschränkt: Auf See weht der Wind beständiger, die Schwankungen des Ertrags bei der Offshore-Stromerzeugung sind daher als nicht ganz so gravierend betrachten. Im Übrigen scheint das Problem der Volatilität mittelfristig lösbar oder zumindest reduzierbar durch eine Kombination aus mehreren Instrumenten: Durch Fortschritte in der meteorologischen Forschung könnten genauere Wind-Prognosen möglich werden, die es auch erlauben würden, den Windkraft-Ertrag besser zu planen und die erforderliche Reserve-Leistung zu reduzieren. Durch großräumige Vernetzung der Windkraft-Standorte in den europäischen Ländern könnten Fluktuationen überregional ausgeglichen werden und die Abhängigkeit von den lokalen Wetterbedingungen abnehmen. Schließlich könnten intensive Forschungsanstrengungen im Bereich der Energiespeicherung dazu führen, dass Windenergie bzw. Strom in größerem Maße als bisher gespeichert werden kann. Ein Gleichgewicht zwischen Bedarf und Angebot im Stromnetz könnte so durch zeitlichen Ausgleich hergestellt werden.

3.4. Umwelt

Windkraftanlagen auf See können störend auf den Vogelzug wirken. Zugvögel können durch den Anblick großer Windparks abgeschreckt und von ihrer angestammten Zugroute verdrängt werden. Falls sie sich nicht abschrecken lassen, besteht die Gefahr von Kollisionen mit den sich drehenden Rotoren. Schließlich werden durch den Energieentzug die Windverhältnisse verändert, was den Vogelflug (zumindest im Windschatten der Anlagen) schwieriger machen kann.

Eine Beeinflussung der Meeres-Fauna ist ebenfalls nicht auszuschließen, wobei diese im Falle der (ortsfesten) Masten von Windanlagen sicherlich erheblich geringer ist als beispielsweise bei Strömungskraftwerken, deren Rotoren sich unter Wasser drehen [REDACTED]. Größere Konzentrationen von vielen Anlagen mit massiven Fundamenten können außerdem die Strömungsverhältnisse im umliegenden Seegebiet verändern, was u. U. Auswirkungen auch auf die Lebensfähigkeit bestimmter Arten in küstennahen Gebieten (Wattenmeer) ebenso wie auf die Fischerei haben kann.

Die größte Beeinträchtigung für Meeressäuger geht gemäß ersten Ergebnissen der ökologischen Begleitforschung (BINE 2004) von Schallimmissionen aus, die sich aufgrund von Bewegungen und Schwingungen der Windkraftanlagen in der Umgebung (Luft und Meerwasser) ausbreiten. Die Schallbelastung muss nach Meinung der Autoren durch weitere technologische Entwicklung reduziert werden.

Die Fundamente von Offshore-Windanlagen können als künstliche Riffe wirken und so evtl. zur Ansiedlung neuer Tierarten in Nord- und Ostsee führen (BINE 2004). Dies könnte die bisherigen ökologischen Gleichgewichte verändern.

In der Bauphase wird der Standort einer Offshore-Windanlage durch Schiffsverkehr und evtl. Hubschrauber-Transporte stärker als sonst üblich belastet werden. Dies gilt allerdings für andere Kraftwerkstypen nicht minder. In den üblichen Energiebilanzen und den Werten für energetische Amortisationszeiten sollte zumindest der Energieverbrauch in dieser Phase bereits enthalten sein. Als wie gravierend diese Belastungen zu betrachten sind, hängt im Übrigen von der ökologischen Empfindlichkeit des jeweiligen Standorts ab. Besonders empfindliche Gebiete (z.B. Natura2000-Gebiete der EU, europäische Vogelschutzgebiete) kommen aus diesem Grund nicht als Windkraft-Standorte in Frage und sind deshalb von der Einspeisevergütungs-Regelung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes ausgenommen (§10 Abs. 7 des EEG; vgl. BINE 2004).

Alle Belastungen der Meeresumgebung und der Umwelt werden vor Genehmigung von Windkraftanlagen durch die zuständige Genehmigungsbehörde geprüft. Das Genehmigungsverfahren, das eine Umweltverträglichkeitsprüfung einschließt, wird im Falle von Offshore-Windkraftanlagen vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie¹ (BSH) durchgeführt. In zwei Fällen hat das BSH bereits Genehmigungsanträge für Windparks in der Ostsee abgelehnt².

Die erforderliche Netzanbindung kann weitere Umweltbelastungen mit sich bringen und einen Konflikt mit dem Küstenschutz auslösen: Die neue Kabeltrasse kann Strände,

1 Siehe <http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp>

2 Vgl. http://www.bsh.de/de/Das_BSH/Presse/Pressearchiv/Pressemitteilungen2005/36-2005.jsp

Küstenlandschaften oder touristisch wichtige Gebiete berühren („zerschneiden“). Diese Belastung an Land und Küste wird allerdings vor allem dann relevant sein, wenn die Leitungen oberirdisch verlegt werden. Nichts spricht prinzipiell dagegen, dass nicht auch See-Land-Kabel (genau wie Hoch- oder Höchstspannungsleitungen im Landesinneren) unterirdisch als Erdkabel verlegt werden können. Dann ergibt sich eine Beeinträchtigung nur in der Bauphase; danach wäre auch eine touristische Nutzung unverändert möglich. Die Entscheidung zwischen Freileitung und Erdkabel folgt meist vor allem Kostengesichtspunkten (höhere Investitionskosten für Erdkabel). Bezieht man die oft geringeren Betriebskosten des Erdkabels in die Rechnung mit ein, ergeben sich u. U. bereits andere Entscheidungsgrundlagen [REDACTED]. Im Übrigen stellt sich die Abwägung zwischen Freileitung und Erdkabel primär als Frage der Kosten- und Nutzenaufteilung zwischen den Beteiligten (Anlagenbetreiber, Netzbetreiber, Gemeinden bzw. Landkreise, Anwohner, Akteure der Tourismus-Branche) dar.

Die Verlegung von Seekabeln im küstennahen Meer kann vor allem in der Bauphase zu einer Belastung des entsprechenden Seegebietes führen. Die Trassen sollten daher nicht bzw. nur möglichst kurz durch empfindliche Gebiete wie den Nationalpark Wattenmeer führen. Im Übrigen aber erscheint die Verlegung von Seekabeln für Offshore-Windanlagen nicht problematischer als im Falle der vielen Seekabel, die bereits für die Telekommunikation oder für den europäischen Stromnetz-Verbund verlegt wurden.

4. Fazit

Das Umweltministerium nennt in seinen Prognosen für das Jahr 2030 eine Kapazität von 20.000 bis 25.000 Megawatt installierter Strom-Leistung aus Offshore-Windkraft (BMU 2007). Dies wäre mehr als die gesamte Leistung aller heutigen Kernkraftwerke in Deutschland, und könnte nach BMU-Angaben etwa 15% des Strombedarfs in Deutschland (Bezugsjahr 1998) decken. Die DENA nennt für den kürzeren Zeitraum bis 2015 bereits eine Leistung von bis zu 10.000 Megawatt (DENA 2005).

Ob diese Zahlen tatsächlich erreicht werden, wird von den technischen Erfahrungen an den Teststandorten in Deutschland, Dänemark, Großbritannien und anderen Ländern, von der weiteren Ausgestaltung der Genehmigungsverfahren und von den Rahmenbedingungen am Energiemarkt (Brennstoffpreise etc.) abhängen. Sicher ist, dass auch Offshore-Windkraftanlagen negative Umweltauswirkungen haben können. Wie gravierend diese im Vergleich zu anderen Kraftwerksarten sind, muss die ökologische Begleitforschung im Laufe der nächsten Jahre zeigen.



5. Literatur

BINE (2003). Offshore – Windenergie vor der Küste. Projektinfo 05/03. BINE Informationsdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe. Im Internet: <http://www.bine.info/pdf/publikation/bi0503internet.pdf>

BINE (2004). Ökologische Begleitforschung zur Offshore Windenergienutzung. Projektinfo 07/04. BINE Informationsdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe. Im Internet: <http://www.bine.info/pdf/publikation/bi0704internetx.pdf>

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007). Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland. Im Internet: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore_wind_deployment_de_en.pdf

Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel? Studie der Universität Duisburg-Essen im Auftrag des Bundesverbands Windenergie. Im Internet: http://www.ets.uni-duisburg-essen.de/~bra/Freileitung_Kabel.pdf

Bundesregierung (2002). Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See. Im Internet: http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Strategie_der_Bundesregierung_zur_Windenergienutzung_auf_See.pdf

DENA – Deutsche Energie-Agentur (2005). Offshore-Windenergie: Energie vom stürmischen Meer. Im Internet: http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/dena_Faltblatt_Informationen_zur_Offshore-Windenergie.pdf

EU (2007). Berlin Declaration – Conclusions of the Chair, European Policy Workshop on Offshore Wind Power Deployment. Im Internet: http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik_und_Wind/Berlin_declaration.pdf

Das Meer als Energiequelle - Wellenkraftwerke, Osmosekraftwerke und weitere Perspektiven der Energiegewinnung aus dem Meer. Info-Brief der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages. Im Internet: http://www.bundestag.de/wissen/analysen/2005/2005_11_101.pdf

CO₂-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich - Zur Klimafreundlichkeit von fossilen Energien, Kernenergie und erneuerbaren Energien. Info-Brief der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages. Im Internet: http://www.bundestag.de/wissen/analysen/2007/CO2-Bilanzen_verschiedener_Energietraeger_im_Vergleich.pdf

Offshore-Windkraft in Deutschland: Eine Einführung. Im Internet: http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Offshore-Windkraft_in_Deutschland-eine_Einfuehrung.pdf

■