

## WANDEL DER UMWELT DER SEE- UND KÜSTENLANDSCHAFT DER NORDSEE DURCH NUTZUNG VON WINDENERGIE

Hans-Günter R. GIERLOFF-EMDEN, München\*

mit 2 Abb. im Text

### INHALT

<i>Abstract</i> .....	219
<i>Zusammenfassung</i> .....	220
1 Gewinnung von Windenergie .....	220
2 Räumliche Dimension der Anlagen und Umwelt .....	221
3 Landschaftsveränderung des Panoramas .....	222
4 Windangebot, Wirkungsgrad und Kapazitätsfaktor .....	222
5 Leistung und Rentabilität .....	224
6 Rechtsverhältnisse und Schiffssicherheit: Räumliche Verhältnisse und Bedingungen .....	225
7 Windenergie im Gesamtstrommarkt .....	225

### *Abstract*

*Changes of the marine and coastal landscapes environment of the North Sea through wind-energy installations*

*In the German portion of the North Sea wind-energy installations for the production of electricity are planned for the next twenty years. These "factories" – namely wind driven rotating instruments on masts – are planned to be constructed in groups, so-called wind parks, in the offshore area. It is planned to erect these installations in an area of a water depth of 30 m in the open sea far from the coastline. This is a totally new concept (see map). Licenses for 12000 of these "wind towers" are proposed. A first pilot project is planned for the North Sea north at the island of Borkum. Beside the new technique of construction there exist a lot of problems concerning the protection of the landscape, the law of the sea, and the influence of climatic aspects for the blowing of the wind which, therefore, differs in time and power. For some time, all these factors make financial subsidies by the*

\* em.Univ.-Prof. Dr. Hans-Günter R. GIERLOFF-EMDEN, D-81247 München, Landshoffstraße 6

*state necessary. An industrial boom has started, and massive changes of the landscape may result.*

### *Zusammenfassung*

*In der BRD sind für die nächsten 20 Jahre Windenergieanlagen (WEA) in der Nord- und Ostsee zur Gewinnung von elektrischem Strom geplant. Diese Anlagen sollen in Arealen von 30 m Wassertiefe in so genannten "Offshore-Windparks" bis zu 40 km vor der Küste erstellt werden (vgl. Abb. 2), ein bisher einzigartiges Projekt. Von etwa 12.000 beantragten WEA mit ihren Rotormasten wurde bisher als Pilotprojekt eine kleine Anzahl – etwa 40 km vor der Küste von Borkum – von der zuständigen Behörde, dem deutschen Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) genehmigt. Neben der Problematik der Technik von Anlagen im Offshore-Bereich in 30 m Wassertiefe und der Notwendigkeit der zureichenden ökologischen Verträglichkeit mit den vielfältigen Nutzungen im engen Raum des deutschen Nordsee-Anteils (vgl. Abb. 1) ergeben sich Schwierigkeiten bei der Stromerzeugung durch Windenergie infolge naturbedingter Unstetigkeit der Windverhältnisse. Diese Faktoren werden in starkem Maße von staatlichen Zuwendungen unter anderem für die notwendige Überbrückungszeit zum Betrieb der Stromgewinnungsanlagen bei Windstille bestimmt. Somit ist ein Unternehmens- und Herstellungsboom entstanden, und es wird eine Umgestaltung der Landschaft der Nordsee in außerordentlichem Maße damit verbunden sein.*

## **1 Gewinnung von Windenergie**

Die Windenergie zählt zu den von der Menschheit am längsten genutzten Energiequellen. Heute wird Windenergie in zunehmendem Maße zur Stromerzeugung genutzt. So sind für die Nord- und Ostsee Programme von großem Umfang in der Anfangsphase des Ausbaues begriffen. Es sind groß angelegte Offshore-Windparks mit Windenergieanlagen (WEA) in Meeresarealen von bis zu 30 m Wassertiefe geplant, die, seitdem die Stromgewinnung aus Offshore-Windkraft vom Gesetzgeber gemäß §7 EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) gefördert wird, die Ressource Wind in elektrischen Strom umwandeln sollen. Damit wird sich das Landschaftsbild der betreffenden Seegebiete verändern. Zur Zeit (im Jahre 2002) werden die Anträge für 30 Anlagen in der Nordsee und für 23 Anlagen in der Ostsee vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) auf Genehmigung für eine Aufstellung geprüft.

Ein Vorteil der Gewinnung von Windenergie liegt darin, dass im Vergleich zur Gewinnung von Solarenergie, die nur periodisch während des Tages (bei Sonnenschein) erfolgen kann, Gewinnung von Windenergie auch während der Nacht möglich ist. Es bestehen außerdem jahreszeitliche Schwankungen der Windstärken und -beständigkeiten.

## 2 Räumliche Dimension der Anlagen und Umwelt

Als Flächen für die Errichtung von Windenergieanlagen (WEA) vorgesehen sind für die Nordsee das Küstenmeer vor Schleswig-Holstein und vor Niedersachsen, für die Ostsee vorwiegend das Meeresgebiet nördlich der Insel Rügen (Nordseegebiet der BRD, vgl. Abb. 1). Diese Offshore-Windparks sollen jeweils einige Dutzend bis mehrere hundert WEA umfassen und werden wegen der nötigen Abstände zwischen den WEA große Flächen in Anspruch nehmen. Allerdings gibt es bisher keine entsprechenden rechtlichen Regelungen zur Festlegung von geeigneten und ungeeigneten Standorten wie für die 12-Meilen-Zone und die Landstandorte.

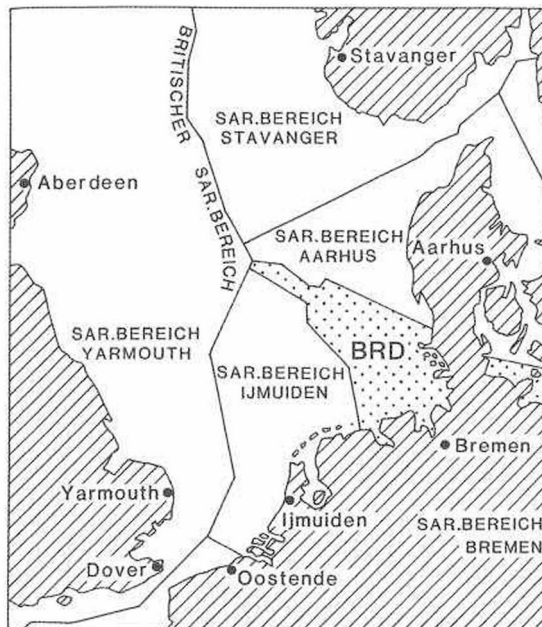


Abb. 1: Anteil der BRD an der Nordsee (punktiert) nach Bestimmungen der Internationalen Seerechtskonferenz. Kleinster Anteil der Anliegnationen. Entfernung SO – NW ~ 400 km.

Die AWZ ist das Gebiet, das sich an das Küstenmeer seewärts der 12-Seemeilen-Grenze anschließt. Für die BRD ist der Bereich der AWZ mit dem Gebiet des Festlandssockels identisch. Der Festlandssockel ist der seewärts des Küstenmeeres gelegene Meeresboden und Meeresuntergrund der Unterwassergebiete bis zu einer Ausdehnung von maximal 200 Seemeilen.

Hinsichtlich des Flächenbedarfs von Windenergieparks gilt, dass die einzelnen WEA, um eine gegenseitige Windbeschattung zu vermeiden, etwa in einem Abstand voneinander errichtet werden sollen, der dem 5- bis 20fachen Rotordurchmesser entspricht. In den europäischen Küstenregionen gibt es Windenergieparks wie den Taendpibe- und den Ebeltoftpark in Dänemark.

Das Projekt ist der weltweit erste Versuch, Windenergieanlagen in so großer Meerestiefe zu bauen. Um die Anlagen herum wird eine Sicherheitszone von 500 m ausgewiesen, die nicht befahren und befischt werden darf. Der vorgesehene Abstand zwischen den einzelnen WEA von 800 m ergibt sich aus den technischen Notwendigkeiten für die Errichtung und die Wartung der Anlagen durch Spezialschiffe. Zur späteren Errichtung von 208 WEA wurden zunächst zwölf WEA auf ca. 30 m Wassertiefe – etwa 45 km nordwestlich von Borkum – als Pilotanlagen genehmigt.

mit. Gegründet wird jede Anlage auf Pfählen mit einer Rammtiefe von etwa 20 m im Meeresboden, dieses im Gezeitenbereich mit 1 bis 2 m Tidenhub.

Für den Ausbau der WEA werden große Anforderungen an die Seevermessung gestellt, dieses besonders wegen der dauernden Veränderungen des Meeresbodens im Gezeitenbereich der Nordsee, wobei die Satellitennavigation mit GPS genutzt wird.

### 3 Landschaftsveränderung des Panoramas

Die einzelnen WEA haben Rotorblatt-Durchmesser von 80 bis 100 m, eine Höhe vom Wasserspiegel bis zur Nabe von etwa 80 bis 100 m, d. h. die Rotorblattenden befinden sich etwa 40 bis 50 m über dem Meeresspiegel – in der Nordsee mit Wasserständen von Flut und Ebbe lokal unterschiedlich wechselnd, in der Ostsee ohne größere Gezeitenwasserstände – Gesamthöhe mit Mast und Rotorblatt etwa 120 bis 155 m. Dementsprechend verhält sich die Sichtbarkeitsweite wegen der Erdoberflächenkrümmung wie die Sichtbarkeitsweite der Mastspitze eines Schiffes hinter dem Horizont auf See. Es wird mit dem geplanten vollen Ausbau ein verändertes Panorama solcher "Meereslandschaften" geben. Über die landschaftsverändernden Aspekte der Küsten gibt es noch Diskussionen; der Anblick wird anders sein als bei den "Windmühlenlandschaften" der früheren Jahrhunderte. Die Blattspitzen einer Windenergieanlage erreichen bei voller Leistung der Anlage Umlaufgeschwindigkeiten bis zu 150 m/s, was optisch irritierend wirkt.

*Die geographische Sichtweite* ist die größte Entfernung, aus der das Objekt unter Berücksichtigung der Erdkrümmung und der Strahlenbrechung gerade noch gesehen werden kann. Sie hängt von der Höhe des Objektes und der Augenhöhe des Beobachters ab. Es gelten für die Sichtbarkeit von WEA-Masten über dem Horizont, wie z.B. in der Nordsee geplant, Weiten um 30 km vom Standort des Beobachters aus gesehen.

Die Versagungsgründe für Genehmigungsanträge in Bezug auf "Gefahren für die Meeresumwelt" umfassen Meeresverschmutzungen und andere Beeinträchtigungen, insbesondere für die Tier- und Pflanzenwelt, Fischbestände und durchziehenden Vögel und können die Schifffahrt, die Fischerei u.a., entsprechend den geltenden Rechtsverhältnissen betreffen. Offshore-Anlagen müssen Salzwasser, hohen Wellen, Sturm und Treibeis standhalten. Die Errichtung von WEA ist nicht im Wattgebiet (Gezeiten, trockenfallendes Gebiet vor der Küste), dem "Nationalpark" vor Schleswig-Holstein und Niedersachsen gestattet (vgl. Abb. 2).

### 4 Windangebot, Wirkungsgrad und Kapazitätsfaktor

Wind entsteht in der Atmosphäre infolge von Wärme- und Druckdifferenzen der Luft, verursacht von der Sonnenenergie. Ständig werden zwischen 1,5 und 2,5% der die Erde erreichenden Strahlungsenergie der Sonne in Strömungsenergie der Atmos-

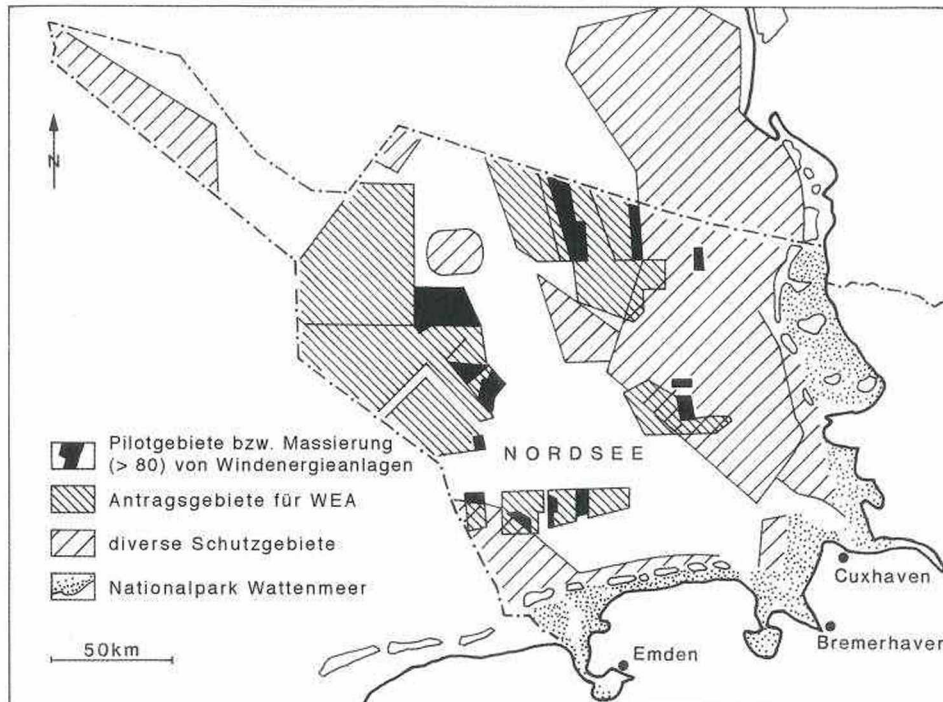


Abb. 2: Offshore-Windparks und ökologische Schutzgebiete: Flächenansprüche in der Nordsee

*Erläuterung zu Abb. 2:*

Vereinfachte Darstellung einer komplexen Kartenskizze des Autors anhand von einschlägigen Quellen [BSH / M5212 – Stand 20.08.2002 und Meeresdatenbank "Contis" des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg (BSH)]. Die Karte zeigt, dass es in der Nordsee kaum noch freien Meeresraum gibt. Das Wattenmeer ist Nationalpark-Gebiet, sonstige (z.T. geplante) Schutzgebiete sind verzeichnet. Schifffahrtswege, Kabel und Rohrleitungen, militärische Übungsgebiete etc. (hier nicht eingezeichnet) sind weitere Aspekte einer intensiven Nutzung der Nord- (und Ost-) See.

phäre umgesetzt. Strömende Luft ist eine bewegte Masse, deren kinetische Energie mit dem Quadrat ihrer Geschwindigkeit steigt. Aus energiewirtschaftlicher Sicht interessiert die Energiedichte, bezogen auf den Strömungsquerschnitt und für die jeweilige Windströmung umgesetzt.

Neben den technischen Kennwerten einer Windenergieanlage ist der Standort mit seinem Windangebot ein entscheidender Faktor. Der mögliche Energiegewinn einer Windkraftanlage verhält sich proportional zur Windfangfläche. Aus diesem Grunde sind möglichst große Rotoren wünschenswert. Außerdem braucht man höhere Masten, um die dort höheren Windgeschwindigkeiten nutzen zu können. Mit der

Größe der Anlage wächst die Masse der Rotoren, d.h. die Anlage wird träger (d.h. sie läuft erst bei höheren Windgeschwindigkeiten an). Moderne Windkonverter geben bei Windgeschwindigkeiten bis zu 5 m/s praktisch noch keine Nutzleistung ab. Die günstigsten Windverhältnisse von  $>7$  m/s sind in Deutschland erwartungsgemäß an den Küsten anzutreffen. Um den Windstrom effektiv in die Stromproduktion einspeisen zu können, werden in Zukunft exakte Informationen über die Windverhältnisse in Höhen von 150 m benötigt (bislang werden diese nur in 6 bis 10 m Höhe vom Deutschen Wetterdienst gemessen).

Es werden für Windkraftanlagen weltweit vor allem Küstenlandstriche mit hohen Windgeschwindigkeiten, konstanten Windverhältnissen und geringen Richtungsschwankungen als geeignet angesehen. Doch selbst dort, zum Beispiel auf der Insel Sylt, ist während 27% der Zeit eines Jahres (= 2.365 Stunden) praktisch keine Windkraftnutzung möglich. Im Bereich der größten Häufigkeit (5-10 m/s) können WEA, die meist für 12-16 m/s ausgelegt sind, nur zum Teil ausgelastet werden. Das Leistungsangebot des Windes und damit auch der erzeugbaren Elektrizitätsmenge wird von der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit abhängen. Verdoppelt sich also die mittlere Windgeschwindigkeit, so steigt die Energieausbeute um das achtfache (MICHLER 1997).

Die Nennleistung der Anlagen steht nicht konstant zur Verfügung. Dieses Problem könnte erst wirkungsvoll gelöst werden, wenn eine zuverlässige Technik zur Energiespeicherung zur Verfügung stünde. Denkbar wäre die Erzeugung von Wasserstoff direkt an den Offshore-Anlagen.

## 5 Leistung und Rentabilität

Die Rentabilität von Offshore-Anlagen (Durchmesser der Rotoren etwa 100 m, technische Leistung 4 bis 5 MW) ist größer als die der Anlagen, die auf dem Festland stehen; eine Windkraftleistung kann auf See durch höhere Windgeschwindigkeiten um 30% bis 70% gesteigert werden. Jedoch sind für Windenergieanlagen die Kosten für die Fundamente und den Energietransport bei Offshore-Aufstellungen fünf- bis zehnmal höher, als für Anlagen auf dem Festland oder den Inseln. Rentabilitätsberechnungen werden wesentlich durch finanzielle Stützungen zur "erneuerbaren Energie" bestimmt.

Von den "erneuerbaren" Energien, wie Solar- und Windkraftanlagen, weisen diese die Nachteile auf, dass sie sehr material- und flächenintensiv sind. Es gilt anteilig nach der Energiegewinnung für die BRD im Jahre 2000: Wasser 31%, Biomasse Müll 26%, Umgebungswärme 24%, Sonne 11%, Wind 8% [Info Zentrale Elektrizitätswirtschaft (IZE)].

## **6 Rechtsverhältnisse und Schiffssicherheit: Räumliche Verhältnisse und Bedingungen**

Für das Gebiet der "Ausschließlichen Wirtschaftszone" der BRD (AWZ 12-200 sm von der Küstenlinie) ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) gemäß §2 der Seeanlagenverordnung des Bundes (SeeAnIV) zuständig, in der 12-Meilen-Zone sind es die angrenzenden Bundesländer und das Wasser- und Schifffahrtsamt des Bundes, soweit schiffbare Gewässerteile und die Sicherheit bzw. Leichtigkeit des Seeverkehrs betroffen sind (vgl. Abb. 1).

Betreiber der Seeschifffahrt und Naturschützer fürchten, dass durch die großflächigen Anlagen die Gefahr von Havarien in dem mit jährlich bis zu 100.000 Schiffsbewegungen besonders intensiv genutzten Gebiet der Nordsee stark zunimmt, dieses besonders mit dem Transport gefährlicher Ladungen wie z.B. Erdöl. Rettungs-, Wartungs- und Reparaturmannschaften müssen aufgestellt und mit teurem Gerät, wie Schiffen und Helikoptern ausgerüstet werden.

Im Sinne der Sicherheit und Leichtigkeit des Seeverkehrs müssen – nach den derzeitigen Kriterien des BSH – die WEA mindestens 2 sm zuzüglich 500 m Abstand zu Verkehrstrennungsgebieten und mindestens 1 sm zu Reeden, Sperr- und Warngbieten wahren. Beeinträchtigungen des Landradars, der Leuchtfeuer und Seezeichen müssen ausgeschlossen werden.

## **7 Windenergie im Gesamtstrommarkt**

Die WEA sollen jeweils eine Leistung von 3 bis 5 MW erbringen. Der entsprechende Anlagentyp befindet sich derzeit in der Entwicklung. Strom soll bei Windgeschwindigkeiten von 3 bis 35 m/s, entsprechend 11 bis 126 km/h, erzeugt werden; jenseits dieser Grenze ist die Abschaltung vorgesehen. Die Rotordrehzahl liegt bei etwa 6 bis 14 Umdrehungen pro Minute, was nicht wesentlich mehr ist als bei bisher an Land aufgestellten Anlagen. Die Rentabilität von Offshore-Anlagen (Rotordurchmesser etwa 100 m, technische Leistung 4 bis 5 MW) ist höher als die der Anlagen, die auf dem Festland stehen; eine Windkraftleistung kann auf See durch höhere Windgeschwindigkeiten um 30% bis 70% gesteigert werden. Jedoch sind für Windenergieanlagen die Kosten für die Fundamente und den Energietransport bei Offshore-Aufstellungen fünf- bis zehnmals höher, als für Anlagen auf dem Festland oder den Inseln. Um den mit der Windenergie erzeugten Strom in das Festlandsnetz einzuspeisen, müssen Seekabel verlegt werden. Dieses alleine könnte ein Viertel der Kosten eines Offshore-Windparks ausmachen.

Der geplante erhebliche Ausbau der Windenergieerzeugung wird den Bedarf an so genannter Regelenergie in die Höhe treiben, weil die Stromerzeugung windbedingten Schwankungen unterliegt. Diese Regelenergie dient dem kurzfristigen Ausgleich von Schwankungen in Stromeinspeisung und Stromverbrauch im Gesamtnetz mit dem Ziel, Spannung und Frequenz im Netz stets in gleichbleibender Stärke zu

halten und Stromausfälle zu vermeiden. Diesem Zweck dienen Stromerzeugungsanlagen, die ihre Leistung besonders schnell erhöhen und herunterfahren können. In Frage kommen Kraftwerke, bevorzugt mit Gasturbinen, die aber nach dem derzeitigen Stand der Technik so genannte Treibhausgase emittieren. Diese Kraftwerke arbeiten nur bei Bedarf unter Vollast, was wegen der nur teilweisen Nutzung der Kapazitäten zu einer erheblichen Verteuerung der auf diese Weise produzierten Regelenenergie gegenüber dem Strom aus ständig produzierenden Großanlagen führt.

Bei Schätzungen wird davon ausgegangen, dass durch die Errichtung von WEA bis 2006 500 Megawatt (MW), bis 2010 rund 2.000 bis 3.000 MW und langfristig bis 2025 oder 2030 zwischen 20.000 und 25.000 MW Strom vor den deutschen Küsten erzeugt werden können. Dann sollen die Offshore-Windparks 15% des deutschen Strombedarfs liefern. Mit einer Leistung von etwa 4.500 MW decken WEA in einem normalen Jahr 2% des Strombedarfs der BRD. Im Windenergiepark im Kaiser-Wilhelm-Koog an der Westküste der Nordsee erzeugen 32 WEA jährlich 2,7 Mio. Kilowattstunden Strom. Das entspricht dem Bedarf von über 900 Haushalten.

Zusammengestellt nach verschiedenen Unterlagen, u.a. Stehr, "Marineforum", 9-2002, Karten von BSH, Hamburg. Stand der Information September 2002. Auskünfte von BSH / Prof. STRÜBING.

**Literatur:**

MICHLER G. (1997), Die Nutzung der Windenergie in Kalifornien. In: Mitt. d. Geogr. Ges. in München, Bd. 82.

Bundesverband Wind Energie (2002), jährlicher Bericht.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [144](#)

Autor(en)/Author(s): Gierloff-Emden Hans Günter

Artikel/Article: [Wandel der Umwelt der See- und Küstenlandschaft der Nordsee durch Nutzung von Windenergie 219-226](#)