



# Zukunft Windkraft: Die Energie aus dem Meer

Technische Möglichkeiten und  
ökologische Rahmenbedingungen

Studie/Kurzfassung

**GREENPEACE**

**Herausgeber** Greenpeace e.V., Große Elbstr. 39, 22767 Hamburg, Tel. 040/306 18-0, Fax 040/306 18-100, Email: mail@greenpeace.de, Politische Vertretung Berlin, Marienstr. 19-20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99-0, Fax 030/30 88 99-30, Internet: www.greenpeace.de

**Kurzfassung der Studie** Zukunft Windkraft – Die Energie aus dem Meer. Technische Möglichkeiten und ökologische Rahmenbedingungen. Deutsches Windenergie Institut (DEWI), Ebertstr. 96, D-26382 Wilhelmshaven. **Autoren** Dipl.-Ing. Holger Soeker, Dr. Knud Rehfeldt, Dipl.-Ing. Fritz Santjer, Dipl.-Phys. Martin Strack, Dr. Matthias Schreiber, Schreiber Umweltplanung. **Im Auftrag von** Greenpeace Deutschland (GPD) in Zusammenarbeit mit Greenpeace Niederlande (GP NL), Greenpeace Belgien (GPB), Greenpeace Nordic (GPN), Greenpeace England (GP UK) und Greenpeace International (GPI). Der Text der Kurzfassung wurde von Greenpeace redaktionell bearbeitet. **Internationale Studienleitung und Redaktion** Dipl.-Ing. Sven Teske, GPD, Hamburg, **unter Mitarbeit von** Dr. Karl Mallon, GPI, Amsterdam, M.Sc. Christine Algera, GP NL, Amsterdam, Ir. Bernhard Huberlant, GPB, Brüssel, Tarje Haarland, GPN, Kopenhagen, Ian Taylor, GP UK, London. Vielen Dank an Kathleen McCaughey, John Saul, Claudia Teichmann und Rotraud Hänlein. **Übersetzung** Nicole Neumann, Holger Soeker. **Gestaltung** Horses for Courses, Hamburg. **Druck** edp, Virchowstr. 12, 22767 Hamburg. **Auflage** 1.000 Exemplare, **V.i.S.d.P.** Sven Teske **Stand** 10/2000; Gedruckt auf 100% Recyclingpapier.

Zur Deckung der Herstellungskosten bitten wir um eine Spende: Postbank Hamburg, BLZ 200 100 20, Konto-Nr. 97 338 - 207

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort von Greenpeace .....	4
<b>1. Einleitung vom Deutschen Windenergie Institut .....</b>	<b>6</b>
1.1 Entwicklung der Windenergienutzung in Europa .....	6
1.2 Rolle der Windenergienutzung für Klimaschutz und Ressourcenerhalt .....	7
1.3 Motivationen für die Offshore-Windenergienutzung .....	8
<b>2. Potenzial der Offshore-Windenergienutzung in der Nordsee .....</b>	<b>9</b>
2.1 Offshore-Windressourcen in der Nordsee .....	9
2.2 Wassertiefe und Wellen .....	10
2.3 Einschätzung des Offshore-Windenergiepotenzials in der Nordsee .....	10
<b>3. Offshore-Windenergietechnologie .....</b>	<b>11</b>
3.1 Offshore-Windenergieanlagen und Tragkonstruktionen .....	11
3.2 Offshore-Windparkauslegung .....	13
3.3 Netzanbindung .....	13
<b>4. Wirtschaftlichkeit .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) .....</b>	<b>16</b>
5.1 Strategische Betrachtungen .....	16
5.2 Gesetzlicher Hintergrund der UVP .....	16
5.3 Umfang der Umweltverträglichkeitsprüfung .....	17
5.4 Empfehlungen für die Durchführung der UVP .....	17
<b>6. Sozioökonomische Auswirkungen .....</b>	<b>18</b>
<b>7. Schlussfolgerungen .....</b>	<b>20</b>
<b>8. Literaturangaben .....</b>	<b>21</b>

## Vorwort von Greenpeace

Die nordeuropäischen Länder nutzen die Nordsee seit Jahrzehnten zur Energiegewinnung. Auf über 400 Öl- und Gasbohrplattformen werden jährlich Hunderte Millionen Tonnen fossile Brennstoffe gefördert. Bohrschlämme und Ölleckagen verseuchen den Meeresboden. Die Nordsee ist längst zum Industriegebiet geworden – mit verheerenden Auswirkungen für die Meeresflora und -fauna, aber auch für das Klima. Durch Verbrennung bei der Öl- und Gasförderung werden große Mengen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) freigesetzt, das die Erde zum Treibhaus macht. Das Abschmelzen der Gletscher und vermehrte extreme Wetterlagen sind Vorboten der Klimakatastrophe.

Die Nutzung der Atomenergie ist keine Lösung für das Klimaproblem. Noch immer gibt es kein Endlager für hoch radioaktiven Müll. Die atomaren Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague verseuchen durch radioaktive Abwässer die Nordsee. Der Ausstieg aus der gefährlichen Atomenergie und die Reduzierung der klimaschädlichen Treibhausgase sind substanzell für den Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung.

Windkraftanlagen auf See, so genannte Offshore-Windparks, sind eine vielversprechende neue Technologie. Erste positive Erfahrungen mit Demonstrationsprojekten konnten in Dänemark gemacht werden. Aufgrund der erheblich stärkeren Winde auf See können bis zu 40 Prozent mehr Energie gewonnen werden als bei vergleichbaren Anlagen an der Küste. Und das Potenzial ist riesig: Bei Nutzung aller erschließbaren Energiemengen könnte Europa seinen gesamten Strombedarf aus Offshore-Windenergie decken: Allein in Deutschland ließe sich gut die Hälfte des benötigten Stromes „aus der Nordsee“ beziehen.

Um die auf internationalen Konferenzen vereinbarten Klimaschutzziele zu erreichen, muss Windenergie dringend ausgebaut werden. Die Nutzung der Windkraft erspart

Deutschland schon jetzt rund 4,8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr. Bereits im Jahr 2005 könnten es 12,71 Millionen Tonnen jährlich weniger sein, wie die vorliegende Studie belegt.

Noch sind die Bemühungen für den Ausbau von Offshore-Windparks in den einzelnen EU-Ländern sehr unterschiedlich. Mit Abstand am weitesten fortgeschritten in den Planungen ist Dänemark. Speziell im Bereich der Offshore-Windenergienutzung gibt es organisatorische und technische Hindernisse. Beispielsweise fehlt in den europäischen Ländern ein einheitliches Genehmigungsverfahren. Innerhalb der einzelnen Staaten sind die Kompetenzen für die Genehmigung oft nicht klar geregelt.

Offshore-Windenergieanlagen sind zur Zeit noch etwa 60 Prozent teurer als Onshore-Anlagen, weil die Kosten für Fundamente und Netzanschluss erheblich höher liegen. Die Länge des Kabels ist der ausschlaggebende Kostenfaktor. Ein küstennaher Offshore-Windpark mit relativ hoher Anschlussleistung in flachem Gewässer ist deshalb besonders wirtschaftlich. Kleinere Windparks, die in größerer Entfernung von der Küste und damit meist in tieferem Gewässer stehen, sind teurer. Eine sinnvolle Größe der Offshore-Windparks liegt derzeit bei etwa 100 Anlagen, die jeweils zwischen 2,5 und 5 Megawatt Leistung erbringen. Damit würde der Windpark eine Fläche von circa 40 bis 80 Quadratkilometern benötigen. Dies entspricht einem Feld von 6,3 bis 8,9 Kilometern Kantenlänge.

Neben technischen Anforderungen müssen auch eine Reihe von ökologischen Rahmenbedingungen bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb eines Offshore-Windparks berücksichtigt werden. Im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie von Offshore-Windkraftanlagen sind verlässliche und international abgestimmte Rahmenbedingungen erforderlich.

Um eine umweltfreundliche und effektive Planung und Genehmigung für Offshore-Windkraftanlagen in der gesamten Nordsee zu ermöglichen, hat Greenpeace in Zusam-

menarbeit mit dem Deutschen Windenergie Institut die Struktur für eine erforderliche Umweltverträglichkeitsprüfung erarbeitet. Das Deutsche Windenergie Institut hat Informationen über den neuesten technischen Stand, das Klimaschutz-Potenzial sowie die zur Zeit erzielbare Wirtschaftlichkeit zusammengetragen. Greenpeace hat die Strukturen der zur Zeit vorliegenden Umweltverträglichkeits-Prüfungen international verglichen und den vorliegenden Datenbestand über die Flora und Fauna der Nordsee analysiert.

Als Ergebnis dieser Arbeit schlägt Greenpeace eine Strategische Umweltverträglichkeitsprüfung (SUVP) vor. Ihr Kernpunkt ist, dass der standortspezifischen Umweltverträglichkeitsprüfung eine Technologieprüfung vorgeschaltet wird. Technologien, die den Treibhauseffekt ankurbeln und chemische oder radioaktive Substanzen freisetzen, sind generell nicht genehmigungsfähig. Darauf hinaus sollten bei einer strategischen Planung Flächen ausgewiesen werden, die für die Windenergienutzung im Nordseeraum Vorrang haben.

International und regional bestehen erhebliche Unterschiede in der Qualität der verfügbaren Daten aus den Bereichen Ökologie, Naturschutz und Nutzungsstruktur der Nordsee. Aus diesem Grund sollten die Regierungen der Nordseestaaten dringend in entsprechende Forschungsprogramme investieren. Um eine zügige und gleichzeitig umweltfreundliche Entwicklung der Offshore-Windenergie zu erreichen, hat Greenpeace einen 10-Punkte Plan erarbeitet. Greenpeace fordert:

1. Die Regierungen der Nordseestaaten dürfen keine weiteren Lizenzen für neue Öl- und Gasfördergebiete in ihren Hoheitsgewässern ausgeben. Im Seengebiet dürfen zukünftig nur Offshore-Windparks genehmigt werden.

2. Die Regierungen der Nordseestaaten müssen veranlassen, dass das Stromnetz bis zum Offshore-Windpark ausgebaut wird. Die Kosten müssen die Betreiber der Stromnetze als einen Beitrag zum Ausbau der Infrastruktur für eine nachhaltige Energieversorgung tragen.

3. Ein nordseeweites Einspeisungsgesetz oder vergleichbare Markteinführungsprogramme für Offshore-Windparks.

4. Alle neuen Offshore-Energieprojekte in und an der Nordsee dürfen nur auf Grundlage einer Strategischen Umweltverträglichkeitsprüfung genehmigt werden. Damit wird eine globale und regionale Umweltverträglichkeitsprüfung zwingend vorgeschrieben. Besonderer Wert wird auf die Klimawirksamkeit des beantragten Projektes gelegt.

5. Start eines europäischen Meeresforschungsprogramms mit dem Ziel, mehr Standort-spezifische Daten zu erhalten.

6. Start eines europäischen Offshore-Windmessprogramms.

7. Internationale Koordinierung von Offshore-Windpark-Projekten, um mehrfache Kabelquerungen innerhalb eines kurzen Zeitabschnittes oder parallele Kabellegungen in den Grenzregionen der Nordseeländer zu vermeiden.

8. Die Regierungen der Nordseestaaten müssen ein Strukturhilfeprogramm für den Umbau der Regionen, die von der Öl- und Gas-Offshore-Industrie abhängig sind auflegen. Die Zukunft gehört den regenerativen Energien auf See und an Land.

9. Offshore-Windenergie ist eine regenerative Energiequelle und muss Teil der Klimaschutzprogramme der Nordseeländer sein. Erneuerbare Energien und Energieeffizienz sollten dem Handel mit Verschmutzungsrechten eindeutig vorgezogen werden.

10. Die Regierungen der Nordseestaaten müssen erneuerbare Energien auch international als wichtige Zukunftstechnologie fördern.

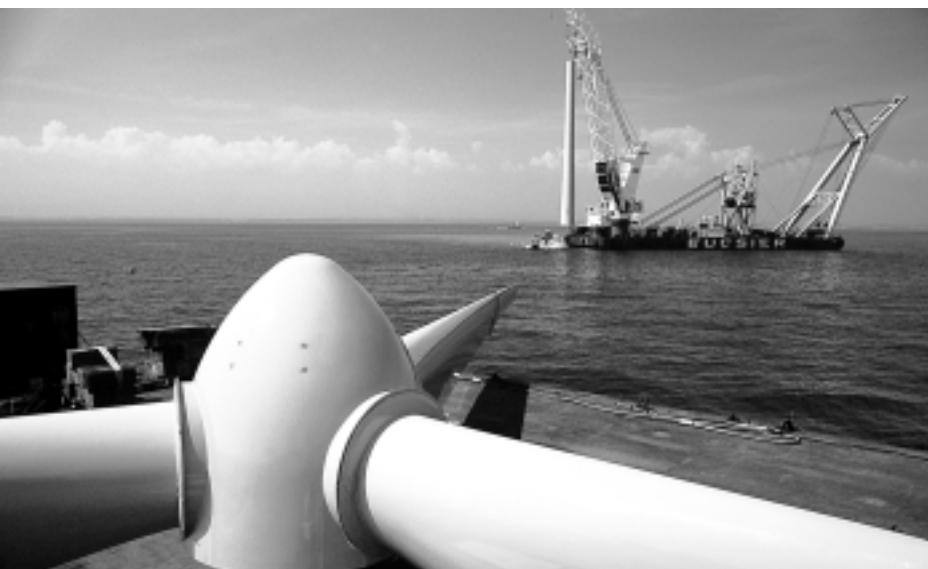
Greenpeace ist davon überzeugt, dass die fünfte Nordseeschutzkonferenz im März 2002 eine gute Gelegenheit bietet, ein Überkommen für den Umbau der fossilen Energiewirtschaft zur regenerativen Energiewirtschaft in der Nordsee zu erzielen.

# 1. Einleitung vom Deutschen Windenergie Institut

**Windenergie ist eine wichtige Option für eine umweltverträgliche und nachhaltige Energiepolitik.**

Die Debatte über Umwelt- und Klimaschutz, die seit den achtziger Jahren kontinuierlich geführt wird, hat zur Veränderung der Energiepolitik in vielen Industrieländern beigetragen. Insbesondere der exzessive Gebrauch von fossilen Energieträgern und der damit verbundene massive Ausstoß von CO<sub>2</sub> ist als Hauptursache für den Treibhauseffekt erkannt worden, der möglicherweise zu einer weltweiten Klimaveränderung führen wird. Als Antwort darauf haben viele Regierungen Ziele zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aufgestellt. Auf der Suche nach Lösungen zur Neuorganisation der nationalen Energieversorgungen ist klar geworden, dass eine umweltfreundliche und nachhaltige Energiepolitik nur durch die Mobilisierung aller Energiesparmöglichkeiten in Kombination mit einem intensivierten Gebrauch von erneuerbaren Energiequellen erreicht werden kann. Um zu einer wahrhaftig nachhaltigen Energiepolitik zu gelangen, müssen sämtliche Energiequellen, die im Energiemix einfließen, bestimmte Schlüssel-

Offshore-Anlage  
Tunoe Knob:  
ein Beispiel für  
Windenergienutzung  
auf See



bedingungen erfüllen: langanhaltende Ressourcen, technische und ökonomische Verfügbarkeit, Umwelt- und Sozialverträglichkeit. In Bezug auf diese Bedingungen hat Windenergie bewiesen, dass sie eine lebensfähige Option für die nahe Zukunft ist.

## 1.1 Entwicklung der Windenergienutzung in Europa

1999 ist die Zuwachsrate der Windenergienutzung weltweit und in Europa bemerkenswert angestiegen. Mit einer neu installierten Windkraftkapazität von 3.924 Megawatt weltweit, wurden die Installationszahlen des Vorjahres um 51 Prozent [2] übertroffen.

**Tabelle 1.1:**

Windenergienutzung in Europa (Stand 31.12.99) und Prognosen bis 2004 [1]	Summe der Installationen bis Ende 1999 Megawatt	Installierte Kapazitäten in 1999 Megawatt	Prognosen bis 2004 Megawatt
Österreich	34	9	214
Belgien	11.2	3.1*	220*
Dänemark	1.738	326	3.338
Finnland	39	21	244
Frankreich	25	4	725
Deutschland	4.442	1.568	10.540
Griechenland	158	103	808
Irland	74	10	329
Italien	277	80	1.477
Niederlande	433	54	1.208
Norwegen	13	4	963
Portugal	61	10	261
Spanien	1.812	932	9.912
Schweden	220	44	1.145
Schweiz	3	0	123
Türkei	9	0	579
Großbritannien	362	24	1.312
Andere europ. Länder	27.8	4	219
<b>Summe Europa</b>	<b>9.739</b>	<b>3.193</b>	<b>33.617</b>

\* Schätzung auf der Basis von Informationen von Greenpeace Belgien

Die Steigerung der in Europa im Jahr 1999 neu installierten Leistung um 80,08 Prozent auf 3.193 Megawatt im Vergleich zu 1998 zeigt deutlich ein wachsendes Interesse an der Windenergienutzung auf dem Konti-

ment. Diese Steigerung wird umso deutlicher, wenn man sich die Prognosen der Entwicklung der Windenergienutzung in Europa [1] ansieht. Bis 2004 werden ungefähr 33.400 Megawatt installierte Kapazitäten erwartet. Ausgehend von 9.739 Megawatt Ende 1999, ist ein Zuwachs von nahezu 23.650 Megawatt notwendig, dies bedeutet eine jährliche Zuwachsrate von 4.732 Megawatt in den nächsten fünf Jahren. Tabelle 1.1 weist Deutschland, Spanien und Dänemark als die führenden Länder des europäischen Marktes aus, die 2.826 Megawatt der 1999 neu ausgebauten Kapazitäten von insgesamt 3.193 Megawatt bereitstellen. In anderen europäischen Ländern ist der Ausbau von Windenergienutzung etwas weniger dynamisch oder hat gerade erst begonnen, wie in Norwegen und der Türkei.

## 1.2 Rolle der Windenergienutzung für Klimaschutz und Ressourcenerhalt

Die Rolle der Windenergienutzung für den Klima- und Ressourcenschutz wird im folgenden Abschnitt an Hand der beschriebenen Entwicklung der Windenergie aufgezeigt. Es ist das Ziel, die Rolle und den Beitrag herauszustellen, den die Windenergie im Kontext von Klima- und Ressourcenschutz leisten kann. Die Auswirkungen der Windenergienutzung werden hier als Anteile an den jährlichen CO<sub>2</sub>-Reduzierungszielen der betrachteten Länder ausgedrückt, die durch den Ersatz von Strom aus Kohle-, Öl-, Gas- und Atomkraftwerken erreicht werden können. Die spezifischen Zahlen für Nordseeaanrainerstaaten sind in Tabelle 1.2 aufgeführt.

Die insgesamt 21,3 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr, die durch die aufgeführten Nordseeaanrainerstaaten bis 2004

**Windenergienutzung reduziert die CO<sub>2</sub>-Emission erheblich.**

**Tabelle 1.2:**

Anteil der CO <sub>2</sub> -Reduzierung durch Windenergienutzung in den Nordseeaanrainerstaaten, unter Anwendung der nationalen spezifischen CO <sub>2</sub> Reduzierungsfaktoren [3, 4, 5, 6, 7]		Jährliches Energie Potenzial	Jährliche Reduzierung der CO <sub>2</sub> -Emission	Anteil an den nationalen Zielen
Belgien	24.3 GWh (31.12.1999)	7.095 Tonnen	0,08 %	
	478 GWh (Installation von 220 Megawatt)	139.000 Tonnen	1.6 %	
Dänemark	3.800 GWh <sup>1)</sup> (31.12.1999)	2.82 Mill. Tonnen	24.7 % <sup>1)</sup>	
	7.310 GWh <sup>1)</sup> (Vorschau bis 2004)	5.42 Mill. Tonnen	47.5 % <sup>1)</sup>	
	12.045 GWh <sup>2)</sup> (5.500 Megawatt by 2030)	8.93 Mill. Tonnen	31.3 % <sup>2)</sup>	
Deutschland	8.251 GWh (31.12.1999)	4.79 Mill. Tonnen	1.9 %	
	21.906 GWh (Vorschau bis 2005)	12.71 Mill. Tonnen	5.0 %	
Niederlande	945 GWh (31.12.1999)	0.55 Milli. Tonnen	5.3 %	
	2.635 GWh (Vorschau bis 2004)	1.54 Mill. Tonnen	14.8 %	
	5.999 GWh (2.750 Megawatt by 2020)	3.49 Mill. Tonnen	33.4 %	
Großbritannien	606 GWh (31.12.1999)	0.32 Mill. Tonnen	0.1 %	
	2.873 GWh (Vorschau bis 2004)	1.5 Mill. Tonnen	4.5 %	
	7.555 GWh (3.450 Megawatt by 2010)	3.95 Mill. Tonnen	11.8 %	

Gasabfackelung auf Ölplattformen verursacht Klimaschäden



© Fred Dott/Greenpeace

eingespart werden könnten, zeigen die bemerkenswerte Rolle der Windenergienutzung für den Klima- und Ressourcenschutz. Für eine eingehendere Beschreibung von nationalen Zielen der CO<sub>2</sub>-Reduzierung und von nationalen Strategien zur Umsetzung dieser Ziele sei der Leser/die Leserin auf den vollständigen Abschlussbericht der vorliegenden Studie verwiesen.

### 1.3 Motivationen für die Offshore-Windenergienutzung

Nach Darlegung des erheblichen Anteils an der Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, der durch die Nutzung von in erster Linie Onshore-Windenergie erreicht werden kann, und angesichts des Problems, Platz für den weiteren Ausbau von Onshore-Windenergie zu finden, ist die Verlagerung auf Offshore-Windenergienutzung eine zwingende Alter-

native. Dies betrifft die Situation in allen Nordsee-anrainerstaaten, obwohl festgehalten werden muss, dass die Gründe für die Knappheit von Onshore-Standorten sich von Land zu Land unterscheiden. Offensichtlich ist die bereits eingetretene oder erwartete Standortverknappung der Onshore-Windparks ein erster wichtiger Grund für die Verlagerung auf die offene See.

Die Tatsache, dass die Windgeschwindigkeiten auf See im Vergleich zu Standorten an Land bedeutend höher sind, stellt einen weiteren wichtigen Grund für die Offshore-Windenergienutzung dar. Mit Windgeschwindigkeiten von weit über 8 Meter pro Sekunde in einer Höhe von 60 Metern über den meisten nördlichen europäischen Seen kann an Offshore-Standorten jährlich 40 Prozent mehr Energieausstoß erzielt werden als an guten küstennahen Onshore-Standorten in Dänemark, Belgien, den Niederlanden und Deutschland. Dennoch wird geschätzt, dass die Kosten pro installierter Leistung bei der Verlegung auf die offene See um 60 Prozent steigen [8]. Deshalb wird die technische Verfügbarkeit der Windenergieanlagen zu einer sehr wichtigen Frage.

Ein dritter Grund für die Offshore-Windenergienutzung besteht darin, die vorhandenen Konflikte im Zusammenhang mit dem Ausbau von Onshore-Windparks auszuräumen. Durch Verlegen der Windparks auf die offene See wird im Allgemeinen erwartet, den Eingriff der Windenergienutzung in die Landschaft und die Umwelt zu minimieren, vorausgesetzt, es handelt sich um echte Offshore-Windparks, d.h. sie werden in einer Entfernung von mehr als 12 Kilometern aufgebaut. Bei einer solchen Distanz kann man davon ausgehen, dass die Windparks die meiste Zeit unsichtbar sind [9].

Ein vierter Grund besteht in der Tatsache, dass die Windenergieindustrien Dänemarks, der Niederlande und Deutschlands neue Märkte entwickeln müssen. Selbst wenn der Offshore-Markt in der Nordsee begrenzt ist, wird er Herstellern und Windparkplanern/-betreibern ermöglichen, unschätzbare Erfahrungen zu sammeln und wird ebenfalls

als Vorzeigeobjekt der hiesigen Industrie dienen, wenn es in Zukunft darum geht, weitere Offshore-Märkte zu erschließen.

## 2. Potenzial der Offshore-Wind-energienutzung in der Nordsee

Die wichtigste Frage im Zusammenhang mit dem verfügbaren Potenzial einer möglichen Offshore-Windenergienutzung ist die nach den in dem betreffenden Gebiet vorhandenen Windressourcen. Aber es gibt auch eine Anzahl anderer Einschränkungen, die das ausbaufähige Potenzial begrenzen. Die wichtigsten Parameter, die es zu bedenken gilt, sind der Jahressdurchschnitt der Windgeschwindigkeit, die Wassertiefe und die Entfernung zur Küste neben anderen Einschränkungen wie Wellenhöhen, Zustand des Meeresbodens und andere Nutzungen, die die Verfügbarkeit interessanter Flächen begrenzen. Solche anderen Nutzungen sind:

- Natur- und Landschaftsschutz
- militärische Nutzung
- Ausbaggerungs- und Bergbau-konzessionen
- Ablagerung von Ausbaggerungsmaterial
- Fischfang
- Verkehr
- Pipelines und Kabel
- Erholung.

Eine umfassende Beschreibung der Windenergie-Potenziale zu liefern, ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht beabsichtigt. Daher wird das Augenmerk auf eine kurze Beschreibung der Windressourcen, der Wind-eigenschaften und dem Zusammenhang von Wassertiefe und Wellen gelegt. Eine aktuelle Untersuchung der Nutzungsfunktionen der Nordsee ist im Rahmen der Pilotstudie von Oranjewoud durchgeführt worden [10], aber auch in [19] wird die Frage der Flächeneinschränkungen für die Offshore-Windenergienutzung bereits diskutiert.

### 2.1 Offshore-Windressourcen in der Nordsee

Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit des Windes über der gesamten Nordsee wird in einer Höhe von 60 Metern auf über 8 Meter pro Sekunde geschätzt, d. h. 8 bis 9 Meter pro Sekunde im südlichen Teil und 9 bis 10 Meter pro Sekunde im nördlichen Teil. Diese Zahlen beschreiben die Windgeschwindigkeit lediglich überblicksweise. Wenn man jedoch bedenkt, dass die ökonomische Tragfähigkeit jedes einzelnen Windparkprojektes sehr sensibel auf Veränderungen in der Annahme des Jahresmittels der Windgeschwindigkeit von nur wenigen Zehntel Meter pro Sekunde abhängt, wird die Notwendigkeit einer möglichst genauen standortspezifischen Ermittlung der jeweiligen Windressourcen deutlich. Es gibt unterschiedliche Ansätze, um die Offshore-Windressourcen zu beschreiben.

Die bei weitem genaueste Methode ist, meteorologische Messungen am jeweiligen Standort selbst vorzunehmen. Dazu muss man einen meteorologischen Messmast errichten und ihn über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr betreiben. Da die Durchführung dieser Messungen mit hohen Kosten verbunden ist, werden langfristige Schätzungen der Windgeschwindigkeit mit Hilfe der MCP- (Measure Correlate Predict: messen – korrelieren – vorhersagen) Methode [11] ermittelt, wobei Offshore-Messdaten einer Messkampagne mit Onshore-Langzeitdaten korreliert werden. Zur Zeit gibt es nur sehr wenige Daten aus dezidierten Messungen an Offshore-Standorten [11, 12].

Eine andere Technik beruht auf der Schätzung von Offshore-Windgeschwindigkeiten mit Hilfe der Europäischen Wind Atlas Methode (WasP) [14] auf der Basis von Langzeit-Windmessdaten oder auf der Basis von Daten des atmosphärischen Drucks auf Meereshöhe. In diesem Verfahren werden Langzeittaten landgestützter Windmessungen dazu genutzt, den geostrophischen Wind zu schätzen (d. h. den Wind in ca. 1500 Meter Höhe frei von Bodeneinflüssen). Ausgehend vom geostrophischen Wind kann

**Die moderate Wassertiefe der Nordsee verbessert Möglichkeiten für Offshore-Windenergieanlagen.**

die Windgeschwindigkeit in Oberflächennähe am betreffenden Standort bestimmt werden, wobei Informationen über die lokalen topologischen Gegebenheiten und die Rauheit der Geländeoberfläche einfließen. Während diese Methode dem Stand der Technik für die Entwicklung von Onshore-Standorten entspricht, gibt es einige Diskussionen über die Anwendbarkeit dieser Methode unter Offshore-Bedingungen. Untersuchungen zeigen, dass es spezifischer Korrekturen für die speziellen Klimata in Küstennähe und dem auf offener See bedarf [15, 16, 17]. Ebenso können Langzeitdaten des Luftdrucks auf Meereshöhe dazu genutzt werden, um geostrophische Winde über der offenen See zu berechnen [18].

Da es nur sehr wenige physikalische Messungen von Offshore-Windgeschwindigkeiten und Wellenhöhen gibt, wurde von Matthies et. al. [19] ein Ansatz gewählt, der eine große Anzahl von Beobachtungen der Voluntary Observation Fleet (VOF) auswertet. Die VOF ist eine Flotte aus kommerziell betriebenen Schiffen, die ihre meteorologischen Beobachtungen in regelmäßigen Zeitabständen (alle drei Stunden) melden. Die Herangehensweise der VOF-Mitglieder besteht aus kodierten Beobachtungen der meteorologischen und Seezustandsparametern. Aus diesen wird die notwendige Windgeschwindigkeit abgeleitet. Auch wenn dieser Ansatz nicht als der genaueste erscheint, gewährleistet er dennoch eine gleichbleibende Methodologie und Qualität der Beobachtungen im gesamten abgedeckten Seebereich. Für die Nordsee wurden Schätzungen der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit für 12 Orte entlang der Küste abgeleitet. Jede einzelne Schätzung beruht auf mehreren tausend Beobachtungen. In der Vergangenheit wurden eine Reihe von Studien durchgeführt, um die Windressourcen und das erreichbare Windenergie-Potenzial auf den europäischen Meeren zu berechnen. Ein Überblick über diese Studien ist der noch immer aktuellsten und umfassenden „Study of Offshore-Wind Energy in the EC“ von Matthies et. al. zu entnehmen 1995 [19].

## 2.2 Wassertiefe und Wellen

Die Wassertiefe, ein weiterer wichtiger natürlicher einschränkender Parameter des möglichen Offshore-Windenergie Potenzials, hat immensen Einfluss auf die Konstruktionslösung und die Kosten für im Seeboden gründende Fundamente der Offshore-Windenergieanlagen. Nicht nur die Ausmaße und das Gewicht der Tragkonstruktionen steigen mit der Wassertiefe, sondern auch deren Belastung durch Wellen. Denn die Wellenhöhen steigen mit zunehmender Wassertiefe, und gleichzeitig ergibt sich mit dem verlängerten Hebelarm vom Angriffspunkt der Welle an der Wasseroberfläche bis zum Meeresboden ein größeres Kippmoment, dem die Fundamente widerstehen müssen. Große Teile der Nordsee haben eher moderate Wassertiefen von bis zu 50 Metern. In der Deutschen Bucht geht die Wassertiefe sogar bei Entfernungen von bis zu 70 Kilometern von der Küste nicht über 40 Meter hinaus. In der zentralen und nördlichen Nordsee können Tiefen von 75 bis 500 Meter erreicht werden.

## 2.3 Einschätzung des Offshore-Windenergiepotenzials in der Nordsee

Um eine Einschätzung des erreichbaren Potenzials in der Nordsee geben zu können, wird Bezug auf die „Study of Offshore-Wind Energy in the EC“ [19] genommen. Tabelle 2.1 gibt absolute Zahlen für das Offshore-Potenzial für die Nordsee anrainerstaaten und relative Zahlen in Relation zum spezifischen nationalen Stromverbrauch wieder. Es ist wichtig festzuhalten, dass eine installierte Leistung von 6 Megawatt pro Quadratkilometer angenommen und die folgenden Einschränkungen berücksichtigt wurden:

- Maximale Wassertiefe von 40 m
- Maximale Distanz zur Küste von 30 km
- Ausschluss von Gebieten mit Meeresbodenneigung von über 5°
- Ausschluss von Verkehrszonen
- Pipelines und Kabel wurden mit einem Sicherheitsabstand von 2 km ausgeschlossen
- Ausschlussflächen mit einem Durchmesser von 10 km um Ölplattformen

- Ausschluss von Naturschutzgebieten (lediglich das Naturschutzgebiet Wattenmeer).

**Tabelle 2.1:**

Offshore-Potenzial absolute und relative Zahlen in Relation zum nationalen Stromverbrauch.	Max. Offshore-Potenzial TWh/a	Jährlicher Verbrauch TWh/a	Relativer Anteil am nationalen Verbrauch %
Großbritannien	986	321	307
Belgien	24	63.2	38
Niederlande	136	75.5	180
Deutschland	237	431.5	55
Dänemark	550	32.2	1708

Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, könnte ein bemerkenswerter Anteil an Energie durch Offshore-Windenergienutzung gewonnen werden. Dennoch sollten die absoluten Zahlen mit Bedacht interpretiert werden, da den Autoren von [19] möglicherweise nicht sämtliche Einschränkungen bekannt waren oder sich nach Abschluss der Studie verändert haben können.

### 3. Offshore-Windenergietechnologie

#### 3.1 Offshore-Windenergieanlagen und Tragkonstruktionen

Die größte Herausforderung in der Entwicklung der Offshore-Windenergietechnologie ist es, die Zusatzkosten für den Umzug auf die offene See zu minimieren. Die Seeverkabelung und die speziellen Gründungstechniken stellen die Hauptinvestitionskostentreiber mit hoher Sensibilität gegenüber Wassertiefe und Entfernung zur Küste (siehe Abschnitt 5. Finanzierung), aber geringer Sensibilität bezogen auf die Größe der Windenergieanlagen dar. Wenn man annimmt, dass die Kosten für die Verkabelung auf dem Meeresboden stärker von der Kabellänge als von ihrer Leistungsfähigkeit bestimmt werden, kann man davon ausgehen, dass eine kleinere Anzahl von großen Windenergieanlagen in einem Windpark mit einer bestimmten Gesamtleistung weniger Kosten verursa-

chen als die Errichtung eines gleich großen Parks, der aber aus einer größeren Anzahl kleinerer Einheiten besteht. Ebenso erscheint es ökonomischer, größere Einheiten pro Fundament aufzustellen, wenn man davon ausgeht, dass die Belastungen durch Wellen- und Eisgang die Stärke und das Gewicht der Fundamente zu einem viel größeren Ausmaß bestimmen als die Größe der Turbine selbst [20, 23, 24]. Zusammen mit den Entwicklungen in der Onshore-Windenergietechnologie verlangen die vorangestellten Überlegungen den Einsatz von Multi-Megawatt Maschinen bei Offshore-Projekten. Die Anlagengrößen auf dem gegenwärtigen Stand der Technik rangieren zwischen 2 bis 2,5 Megawatt. Die nächste Generation der Offshore-Windturbinen, die gegenwärtig entwickelt werden, zeichnet sich vermutlich durch Leistungen zwischen 3 bis 5 Megawatt aus.

Bodenmontierte  
Tragkonstruktion  
Tunoe Knob



Um für den Gebrauch gerüstet zu sein, müssen sich Windenergiesysteme zunächst einer „Marinisierung“ unterziehen, bevor sie auf offnerer See eingesetzt werden können. In diesem Zusammenhang werden Anlagenentwürfe mit Optionen im Bereich der Blattspitzengeschwindigkeit, der Anzahl der

© Wolfgang Steche/Vsum

Rotorblätter sowie Betriebsführungsstrategien (Betrieb mit variabler versus fester Drehzahl) diskutiert. Man braucht speziellen Schutz gegen das aggressive Seeklima. Außerdem sind im Offshore-Bereich weitere Vorsorgemaßnahmen erforderlich, wie umfassende Kontrollmöglichkeiten durch Fernbedienungs- und Überwachungssysteme, Schiffs- oder Heliokopterlandemöglichkeiten und an Bord installiertes Hebezeug.

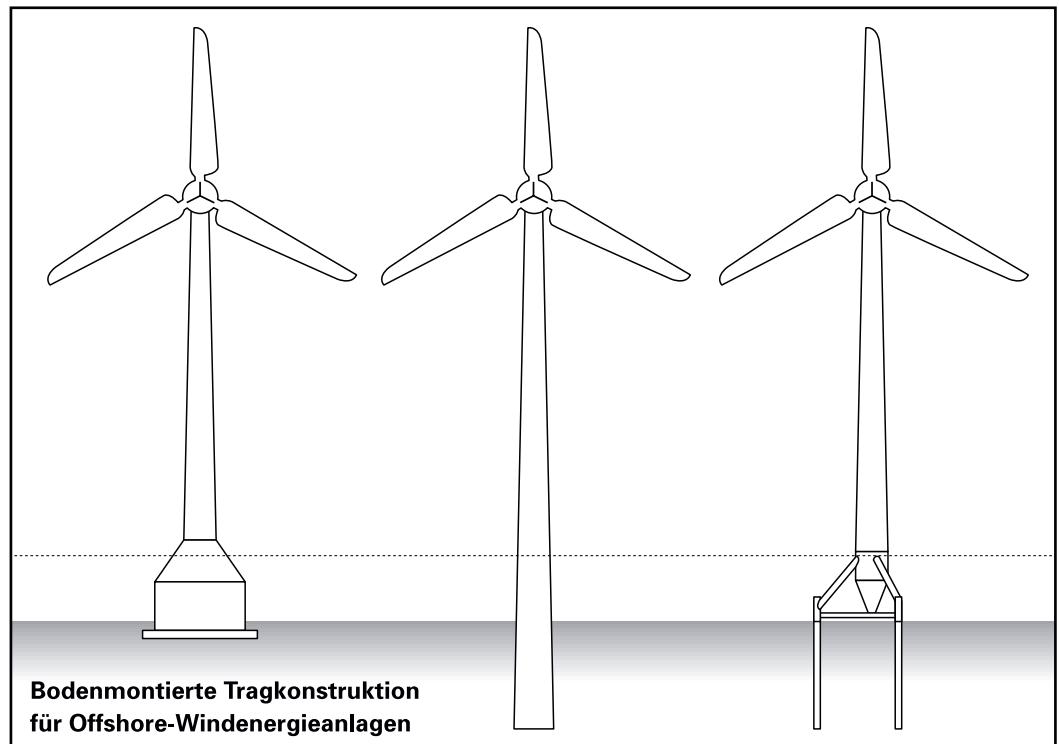
Wie bereits oben erwähnt (siehe Abschnitt 1.3 Motivationen für die Offshore-Windenergienutzung) muss die technische

Die Tragkonstruktionen der Offshore-Windenergieanlagen lassen sich in zwei Hauptgruppen unterscheiden:

- Bodenmontierte Tragkonstruktionen: auf Schwerkraft basierende Gründungen, Einpfahlgründungen und Dreibeinstrukturen

- Schwimmende Tragkonstruktionen.

Offensichtlich ist der Vorzug der einen oder der anderen Variante von der Wassertiefe abhängig. Da die Gebiete der Nordsee, von denen erwartet wird, dass sie in naher Zukunft zur Windenergienutzung gebraucht



Verfügbarkeit der Offshore-Windenergieparks auf dem selben hohen Niveau liegen wie die von Onshore-Windparks. Dort werden typischerweise Verfügbarkeiten von mehr als 95 Prozent erreicht. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die gegenwärtigen Wartungsstrategien von Onshore-Windenergieanlagen, die sowohl präventive als auch korrigierende Wartung beinhalten, mit einigen Anpassungen an die Offshore-Situation beibehalten werden.

werden, eine eher moderate Wassertiefe von 40 bis 50 m aufweisen, kommen vor allem bodenmontierte Tragkonstruktionen in Frage. In bereits existierenden Offshore-Windparks wurden nur bodenmontierte Tragkonstruktionen des auf Schwerkraft basierenden Typs (z. B. Vindeby und Tunoe Knob, Dänemark) und Einpfahlgründungen (z. B. Bockstigen, Schweden und Blyth Harbour, UK) benutzt. Der ausführliche Bericht zu der vorliegenden Studie gibt Auskunft über die

technischen Eigenschaften aller genannten Tragkonstruktionslösungen.

### 3.2 Offshore-Windparkauslegung

Die Windturbinen in einem Offshore-Windpark können in Reihen oder in Gruppen aufgestellt werden. Verglichen mit heutigen Onshore-Parks wird empfohlen, dass diese Parks mit einer größeren minimalen Distanz von bis zu 8 bis 10 Rotordurchmesser zwischen den einzelnen Windturbinen angelegt werden sollten. Um eine optimale Anordnung zu erreichen, gilt es in erster Linie, drei Effekte in Betracht zu ziehen:

1. den geringeren Energieertrag der Windenergieanlagen, die in der Mitte des Windparks stehen, durch niedrigere mittlere Windgeschwindigkeiten im Windschatten von voranstehenden Windenergieanlagen,

2. die Zunahme der Ermüdungslasten auf Windenergieanlagen in der Mitte des Windparks aufgrund erhöhter Turbulenzen im Windschatten der vorstehenden Windenergieanlagen und

3. die Kosten der Verkabelung der einzelnen Windenergieanlagen untereinander.

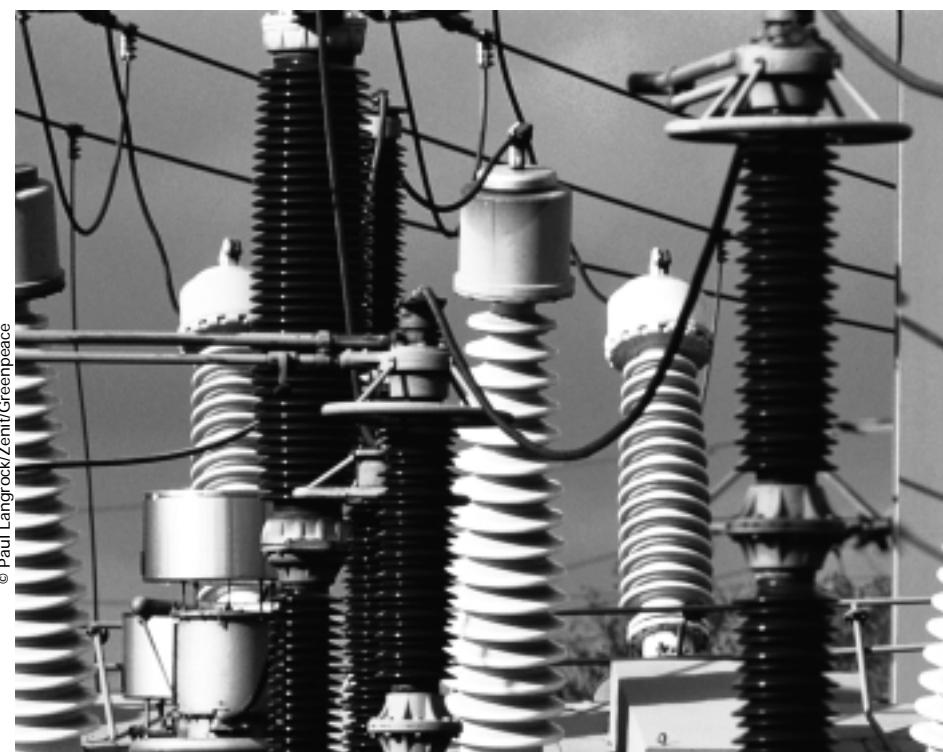
Die optimale Größe eines Offshore-Windparks wird aufgrund der sehr viel höheren Kosten für den Netzanschluss sehr viel größer sein als die eines Onshore-Windparks. Da die Kosten für die Verlegung der Seekabel entscheidend von der Länge der Kabel und weniger von deren Leistungsfähigkeit abhängt, werden die Gesamtkosten bei einer größeren Windfarm günstiger ausfallen [20, 21]. Die aktuellen Zahlen von Maschinen, die in einem einzigen Windpark in einer Ausbaustufe aufgestellt werden können, wird auf 100 Turbinen geschätzt, was dem jährlichen Ausstoß einer einzelnen Windenergieanlagen-Fabrik entspricht. Und es wird davon ausgegangen, dass sie innerhalb einer Saison aufgestellt und in Betrieb genommen werden kann [22]. Ein Park dieser Art erstreckt sich auf an die 40 Quadratkilometer unter Verwendung von 2 bis 2,5 Megawatt Turbinen und 80 Quadratkilometer, wenn 5 Megawatt Turbinen aufgestellt werden. Die Bausaison mit akzeptablen Wet-

terbedingungen für die Offshore-Installationsarbeiten beginnt Ende April und dauert bis Anfang Oktober, d.h. an ungefähr 100 bis 120 Tagen sind Offshore-Aktivitäten möglich.

### 3.3 Netzanbindung

Die Netzanbindung von Offshore-Windenergieparks hängt zunächst vor allem von den Parametern „installierte Windparkleistung“ und „Entfernung zur Küste“ ab. Innerhalb des Offshore-Windparks werden die Windenergieanlagen vermutlich durch Mittelspannungskabel wie bei Onshore-Windparks verbunden. Bei kleinen Offshore-Windparks nahe der Küste kann die Verbindung vom Windpark zum Netz durch eine oder mehrere Mittelspannungsleitungen erfolgen. Die zukünftigen Offshore-Windparks haben vermutlich sehr viel größere Kapazitäten von bis zu 1000 Megawatt und werden in deutlich größerer Entfernung zur Küste entstehen. Diese Windparks müssen mit Hoch- oder Höchstspannungsleitungen an das Netz angeschlossen werden. Damit werden Offshore-Umspannwerke auf separaten Plattformen an den Windparkstandorten notwendig, um die Mittelspannung der Windenergieanlagen in Hoch- oder Höchstspannung umzuwandeln. Bei Entfernungen von

Offshore-Windparks müssen mit Hochspannungsleitungen an das Netz angeschlossen werden



© Paul Langrock/Zentri/Greenpeace

mehr als 50 Kilometern sind Wechselstromverbindungen sehr problematisch oder sogar unmöglich. Alternativ könnte Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) benutzt werden [25].

Die Seekabel innerhalb des Windparks müssen nicht notwendigerweise in den Seeboden eingelassen sein, vorausgesetzt, dass der Schiffsverkehr innerhalb des Windparks eingeschränkt bzw. vollständig untersagt ist. Die Seekabel zwischen dem Windpark und der Küste sollten im Seebett vergraben sein, um mögliche Schäden durch Ankern, Schiffsverkehr oder Fischfanggeräte zu vermeiden. Es existieren mehrere Techniken, um die Kabel zu vergraben: u.a. Einschwemmen, jet trenching (Wasserstrahlpflügen) und andere. Um magnetische und elektrische Felder in der Umgebung der Kabel zu verhindern, müssen entsprechende Techniken genutzt werden, d. h. bipolare Verbindungen im Fall der HGÜ und Dreifachkabel für die AC Verbindungen.

Die vorhandenen Onshore- Windenergieanlagen und Windparks sind hauptsächlich auf die Küstenregionen beschränkt, wo das existierende elektrische Hochspannungsnetz hauptsächlich aus 110 oder 150 Kilovolt Spannungssystemen besteht. Daher muss für sehr große Offshore-Windparks eine separate Verbindung zu den Höchstspannungssystemen eingerichtet werden. Für die HGÜ wird die Länge der Kabel nicht durch die technischen Möglichkeiten eingeschränkt. Es ist vom technischen Standpunkt aus nicht notwendig, das Wechselrichtersystem (zum Übergang von Gleichstrom auf Wechselstrom) unmittelbar an der Küste zu installie-

ren. Es ist gleichfalls möglich, die HGÜ direkt zu Gebieten mit großem Energieverbrauch zu führen.

## 4. Wirtschaftlichkeit

In einer Fallstudie über die Wirtschaftlichkeit der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland sind die wesentlichen Grundbedingungen aufgestellt worden, die für die Einschätzung der Kostensituation im Offshore-Bereich notwendig sind. Diese Untersuchung basiert auf der relevanten Literatur [21, 26, 27], die in den letzten Jahren zu diesem Thema veröffentlicht wurde, sowie Informationen von privaten Firmen, die an der Entwicklung von Offshore-Windenergieprojekten in Deutschland beteiligt sind. Aufgrund der den Autoren zugänglichen Qualität der Informationen beschränkt sich die detaillierte Kostenabschätzung im folgenden Abschnitt auf die Situation in Deutschland. Es wird darauf hingewiesen, dass die absoluten Werte nicht auf andere nationale Situationen übertragen werden können, da die ihnen zugrunde liegenden Basisbedingungen abweichen können.

Bei der Auswertung der Informationen wurden erhebliche Unterschiede in Bezug auf die vermuteten zusätzlichen Investitionskosten festgestellt, die in Relation zu der Entfernung der Offshore-Windparks zur Küste gesetzt wurden. Insbesondere Schätzungen bezüglich der Gründungs- und der Netzanbindungskosten variieren auffällig (siehe Tabelle 4.1). Die Schätzungen zeigen sehr deutlich, dass die Gesamtzusatzausgaben in großem Maße von den Kosten für

**Tabelle 4.1:**

Zusatzinvestitionsausgaben als Prozentangabe vom WEA Preis (869 Euro/kW) im Verhältnis zur Entfernung von der Küste

Entfernung von der Küste	30 Kilometer	50 Kilometer	70 Kilometer
Fundamente	35.3% - 38.2%	43.5% - 51.2%	38.8% - 47.5%
Installationen	8.8% - 13.3%	10.9% - 18.5%	9.7% - 23.3%
Netzanschluss	31.2% - 67.2%	44.3% - 82.8%	57.2% - 113.5%
Andere Ausgaben	7.4% - 23.9%	7.4% - 23.9%	7.4% - 23.9%
Summe der Zusatzinvestitionen	82.7% - 142.6%	106.1% - 176.4%	113.1% - 208.2%

die Netzanbindung abhängen, welche wiederum stark von der Entfernung der Offshore-Parks zur Küste abhängen.

Weitere Annahmen für die Berechnung der Energiegewinnungskosten sind in Tabelle 4.2 aufgeführt:

**Tabelle 4.2:**

Grundlegende Bedingungen für die Kosteneinschätzung	
WT Preis	869,- Euro/kW
Brechne Zinsen	7.8% (30% eigene und 70% externe Finanzierung)
Oberflächenrauhigkeit	0,003 m
Techn. Verfügbarkeit	95%
Windpark-Effizienz	95%
Betriebskosten	7.5%
Preisseigerung	2% pro Jahr
Wiederanschaffungskosten	35% des WEA Preises in der 2. Dekade
Lebensdauer	20 Jahre

In der Kostenberechnung sind drei verschiedene Entfernungen betrachtet worden: 30, 50 und 70 Kilometer. Die Schätzungen beruhen auf der aktuellen Windenergieanlagentechnologie, d. h. Windenergieanlagen in einer Größenordnung von 2 und 2,5 Megawatt, die bereits gebaut wurden und in den nächsten zwei Jahren für die Offshore-Anwendung angeboten werden. Als mittlere Jahreswindgeschwindigkeit über der Nordsee werden zwischen 7 und 10 Meter pro Sekunde in einer Höhe von 60 Metern über dem Meeresspiegel angenommen [19]. Mit Hilfe dieser Annahmen sind Werte für die jährlichen Vollaststunden erstellt worden, wie in Tabelle 4.3 aufgeführt:

**Tabelle 4.3:**

Vollaststunden in Relation zur mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in einer Höhe von 60 m							
Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf 60m, (m/s)	7.2	7.7	8.0	8.3	8.8	9.0	9.5
Vollaststunden pro Jahr	2484	2800	3020	3175	3460	3580	3830

Anstatt den abgeschätzten Verkaufspreis einer Kilowattstunde für Offshore-windge-

nerierten Strom anzugeben, wird in der durchgeföhrten Kostenanalyse die minimale Standortqualität ermittelt, ausgedrückt in Vollaststunden, mit der ein bestimmtes Gebiet entwickelt werden kann, die mittlere Einspeisevergütung gemäß dem Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland [28] vorausgesetzt. Diese Regularien sehen eine Einspeisevergütung von 9,1 EuroCent pro Kilowattstunde bei Offshore-Parks innerhalb der ersten 9 Jahre vor und von 6,1 EuroCent pro Kilowattstunde in den folgenden Jahren. Die mittlere Einspeisevergütung für eine Laufzeit von 20 Jahren berechnet sich demzufolge zu 7,5 EuroCent pro Kilowattstunde. Die folgende Tabelle zeigt die optimistischsten Resultate für die geforderten Vollaststunden im Breakeven-Point:

**Offshore-Windenergie spart langfristig erhebliche Kosten ein.**

**Tabelle 4.4:**

Vollaststunden und mittlere Jahreswindgeschwindigkeit im Breakeven-Punkt.			
Entfernung von der Küste	30 km	50 km	70 km
Vollaststunden im Breakeven-Point	3280 Std.	3520 Std.	3585 Std.
Windgeschwindigkeit in Höhe von 60m	8.5 m/s	8.9 m/s	9 m/s

Wenn eine Nutzung der Offshore-Windenergieressourcen in Deutschland in großtechnischem Maßstab durchgeföhr wird, ähnlich der, wie sie z. B. in Dänemark geplant und teilweise umgesetzt worden ist [26], werden große Kosteneinsparungspotenziale erwartet, vergleichbar mit der Kostenentwicklung im Onshore-Bereich. Insbesondere bei Netzanbindung, Gründung und Kontrollsystmen ist mit großen Kosteneinsparungen zu rechnen. Außerdem kann mit Windenergieanlagen in der Größenordnung von bis zu 5 Megawatt Leistung pro Turbine eine erhebliche Reduktion der spezifischen Zusatzkosten der Offshore-Windenergienutzung im Vergleich zu den in der vorliegenden Arbeit angenommenen Zusatzkosten erreicht werden. Demzufolge werden die Kosten der Energiegewinnung durch Offshore-Windenergie auf lange Sicht deutlich sinken.

## 5. Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

### 5.1 Strategische Betrachtungen

In der Diskussion, ob man Offshore-Windenergie nutzen sollte oder nicht, entsteht häufig die Erwartung, dass durch ihren Einsatz Konflikte mit dem Natur- und Landschaftsschutz minimiert werden können. Die Erfahrung mit Onshore- und ersten Offshore-Windenergieprojekten in Küstennähe hat jedoch verdeutlicht, dass man diese Themen stets mit großer Umsicht behandeln muss, um den Landschafts- und Naturschutzfragen gerecht zu werden.

Die Auswirkungen, die Offshore-Windenergie auf die Umwelt hat, muss im Verhältnis zu den Auswirkungen anderer Formen der Energieversorgung gesehen werden: Weiterer Gebrauch von fossilen Energieträgern führt zwangsläufig zu einer globalen Klimaveränderung. Außerdem bewirkt die Öl- und Gasförderung in der Nordsee eine Verschmutzung des Wassers und des

**Umweltschäden der fossilen Energieförderung werden durch die Windenergienutzung ausgeschaltet.**

Windenergienutzung hilft, die Lebensräume für Tiere im Meeressbereich zu erhalten

Meeresbodens, und mehr als 400 Bohrplattformen, in der Nordsee [29], stören die Zugvögel. Wie die Vergangenheit gezeigt hat, birgt der Transport von Öl auf Schiffen die Gefahr von Schiffskollisionen und Unfällen mit der Folge katastrophaler Ölverschmutzungen. Bei der Anbindung von Produktionsorten an Verbrauchsgebiete durch Gaspipelines (vgl. Europipe von Norwegen nach Deutschland) ist es oft notwendig, internationale Naturschutzzonen zu durchqueren. Selbst wenn man von der Möglichkeit eines vernichtenden Reaktorunfalls absieht, bedeutet der Gebrauch von Atomenergie Eingriffe in die Natur, sowohl durch die Kontaminierung der Abluft und Abwässer von Atomanlagen als auch durch die Notwendigkeit von Transport und Lagerung hoch radioaktiver Abfälle.

Bei der Bewertung der möglichen Umweltschäden durch Windenergienutzung ist besonders zu berücksichtigen, dass die Möglichkeit besteht, o.g. Umwelteinflüsse zu verringern.

Bei einer strategischen Herangehensweise an die UVP von Offshore-Windenergieprojekten ist es von großer Bedeutung, diese Überlegungen mit einzubeziehen. Darüber hinaus ist eine sorgfältige Beurteilung der möglichen Auswirkungen auf die Umwelt zu einem Teil der Projektplanungsaktivitäten zu machen. Der folgende Exkurs soll in diesem Zusammenhang einen Beitrag zur Etablierung einer sinnvollen Praxis leisten.

### 5.2 Gesetzlicher Hintergrund der UVP

Der rechtliche Rahmen der UVP im Bereich der Nordsee wird durch die UVP-Direktive der EU (Council Directive 85/337/EEC, Neufassung in der Council Directive 97/11/EC) festgelegt, unabhängig von der nationalen Gesetzgebung der EU-Mitgliedsstaaten.

Laut Annex II der Direktive erfordern Anlagen, die der Stromerzeugung durch Windenergie dienen (d. h. Windparks; 4. (a) des Annexes), die Durchführung einer UVP.

Ziel der UVP ist es, die zuständigen Behörden mit notwendigen Informationen zu versorgen, um ihnen die Entscheidungs-



© Armin Maywald/Greenpeace

findung in voller Kenntnis der für das Projekt spezifischen Auswirkungen auf die Umwelt zu ermöglichen. Das Verfahren ist ein grundlegendes Instrument der Umweltpolitik, wie in Artikel 130r des EU-Gemeinschaftsvertrages und des 5. Rahmenprogramms für Umweltpolitik und nachhaltige Entwicklung definiert. Es basiert auf dem Prinzip der Vorbeugung und Verhinderung. Vorrangig ist die Reduzierung der Umweltschäden an der Quelle. Darüber hinaus muss der Verursacher möglicher Umweltschäden die Kosten für Vorsorge- und/oder Wiederherstellungsmaßnahmen tragen.

Weitergehende Betrachtungen müssen angestellt werden, wenn Offshore-Windparks in besonderen Schutzgebieten wie den Special Protection Areas (SPA) im Rahmen der Vogelrichtlinie (Council Directive 79/409/EEC vom 2. April 1979 zum Schutz von Wildvögeln Birds Directive) oder den Special Areas of Conservation (SAC) im Rahmen der Habitatsrichtlinie (Council Directive 92/43/EEC vom 21. Mai 1992 zum Schutz der natürlichen Lebensräume, Wildpflanzen und Wildtiere) geplant werden.

### 5.3 Umfang der Umweltverträglichkeitsprüfung

Laut UVP-Direktive müssen die Umwelteinwirkungen eines Offshore-Windenergieprojektes in allen Phasen seines Lebenszyklus geprüft werden. Solche Umwelteinwirkungen können vom Windpark selbst, von seiner Errichtung, von der Netzanbindung, von dem Betrieb oder von seinem Abbau nach Ende der Nutzungsdauer ausgehen. Für eine detaillierte Diskussion der Auswirkungen auf die Umwelt sei hier auf den vollständigen Bericht dieser Studie verwiesen.

### 5.4 Empfehlungen für die Durchführung der UVP

Die positiven Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen zur Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen wurden in Kapitel 1.2 ausführlich dargestellt. Im Rahmen der Studie wurde festgestellt, dass ein Wissensdefizit über die möglichen regionalen

Umwelteinflüsse durch den Ausbau von Offshore-Windenergie besteht. Es muss jedoch angenommen werden, dass Offshore-Windparks ungünstige regionale Umwelteinflüsse nach sich ziehen, die nicht gänzlich durch technische Maßnahmen vermieden werden können. Eine Anzahl von Punkten bedürfen einer fundierten wissenschaftlichen Forschung in größerem Umfang und über einen längeren Zeitraum (wie z. B. die horizontale und vertikale Verteilung der Zugvogelbewegungen über der Nordsee, die genaue Festlegung der Grenzen für bedeutende Vogelgebiete oder der Bereiche, die unter die Habitats Direktive fallen, wichtige Gebiete der Wale, die Sensibilität der Meeresfauna gegenüber Lärm – ausführliche Beispiele befinden sich im vollständigen Bericht und in [30], [10]). Die Umwelteinwirkungen eines individuellen Windparkprojektes können ohne dieses Basiswissen nicht vollständig erfasst werden.

**Es muss hier jedoch darauf hingewiesen werden, dass einige der fehlenden Informationen allein durch Forschungsarbeit und ökologisches Monitoring an ersten Demonstrationswindparks der Größenordnung, wie sie in Dänemark und anderswo geplant werden, erhalten werden können.**

Ein gut organisiertes und strukturiertes Programm zur Klärung dieser Fragen kann dabei helfen, ein strategisches und effektives Verfahren zur Ermittlung von Vorranggebieten für die Offshore-Windenergienutzung anzusteuern. Eine solche Ausweisung von Vorranggebieten sollte wenn möglich der Entwicklung neuer individueller Projekte vorausgehen. Wegen des öffentlichen Interesses, des Umfangs und der Art dieser notwendigen Forschungsarbeiten kann diese Aufgabe nicht den Windparkentwicklern einzelner Offshore-Projekte aufgebürdet werden.

Eine UVP für Offshore-Windparks sollte deshalb in zwei getrennten Stufen erfolgen:

In einem ersten Schritt nach der politischen Entscheidung, Offshore-Windenergie in der Nordsee zu nutzen, sollten in einem kooperativen, internationalen Rahmen unter

der Beteiligung der Öffentlichkeit (vgl. [31], [32], [33]) Gebiete mit den niedrigsten ökologischen Auswirkungen identifiziert und zur Offshore-Windenergienutzung ausgewiesen werden (z. B. Gebiete mit einer nur geringen Anzahl an Seevögeln, Fischen und Seesäugertieren, mit stark gestörtem Grund durch Fischfang, mit guten Bedingungen für die Netzanbindung, mit geringen Zugvogelbewegungen). Eine geeignete Ebene hierfür wäre ein europäisches Untersuchungsprogramm. Ein erster Überblick über möglicherweise geeignete Flächen ist in [10] enthalten. Insbesondere der Ausschluss der SACs und SPAs oder möglichen SACs und SPAs von möglichen Vorrangflächen kann eine Verzögerung und/oder Verhinderung konkreter Windparkprojekte vermeiden helfen.

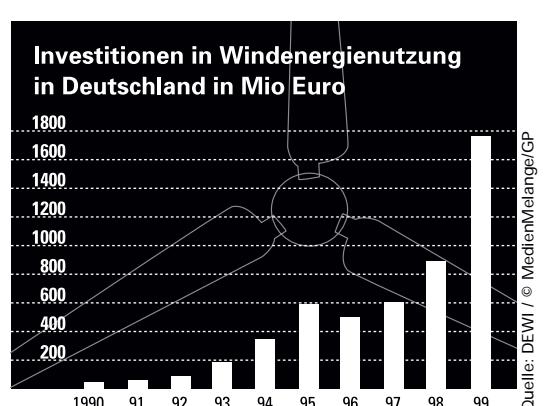
Parallel zu einer solchen Überprüfung der potenziellen Gebiete müssen die fehlenden ökologischen und biologischen Daten (siehe oben) erhoben werden. Erste Erfahrungen mit den Offshore-Windparks in Dänemark und mit weiteren Demonstrationsprojekten müssen ausgewertet und die Untersuchung der ungelösten Fragen intensiviert werden. Zudem ist ein koordiniertes Vorgehen notwendig, um die negativen Auswirkungen durch die Netzanbindungskabel, die Naturschutzzonen, die das Wattenmeer kreuzen, möglichst gering zu halten. Einige wenige ausgesuchte Routen sind höchstwahrscheinlich akzeptabel, eine separate Anbindung jedes einzelnen Offshore-Windparks möglicherweise aber nicht.

In einem zweiten Schritt müssen die individuellen Auswirkungen der jeweiligen Windparkprojekte aufgenommen und technische Lösungen zu deren Reduzierung oder Vermeidung gefunden werden. Es sollte ebenfalls Teil der UVP sein, gegebenenfalls geeignete Kompensationsmaßnahmen zu finden. Weitere Informationen zum konzeptionellen Rahmen, zu Umfang und Kosten einer standortspezifischen UVP finden sich in [33].

## 6. Sozioökonomische Auswirkungen

Um einen Eindruck der sozioökonomischen Auswirkungen der Offshore-Windenergienutzung zu geben, stellt der folgende Abschnitt die Effekte auf die Arbeitsplatzsituation heraus. Wieder wird beispielhaft die erwartete Entwicklung in Deutschland betrachtet. Die Effekte sind nur allgemein quantifiziert ohne detaillierte Analyse der erforderlichen Arbeitsplatzqualifikationen.

Anhand des in Kapitel 1.1 dargelegten Ausbaus der installierten Kapazitäten kann das zu erwartende Gesamtvolumen von Investitionen in die Windenergienutzung in Deutschland errechnet werden. Diese Berechnung nimmt ein Absinken der spezifischen Investitionen pro installiertem Kilowatt an. 1990 lagen die spezifischen Investitionen bei ungefähr 1.400 Euro pro Kilowatt. Dieser Wert sank bis 1999 auf 1.120 Euro pro Kilowatt. Hierbei ist die Inflationsrate nicht berücksichtigt worden. Das Gesamtvolumen der Investitionen in die Windenergienutzung in Deutschland wurde basierend auf den Werten für die spezifischen Investitionen zu 51 Millionen Euro in 1990 ermittelt. Bis 1998 stieg das Gesamtvolumen der Investitionen auf 892 Millionen Euro an. 1999 verdoppelte sich das Gesamtvolumen auf 1.760 Millionen Euro. Ein Großteil dieser Gesamtinvestition floss in die ökonomisch schwachen Gegenden Norddeutschlands.



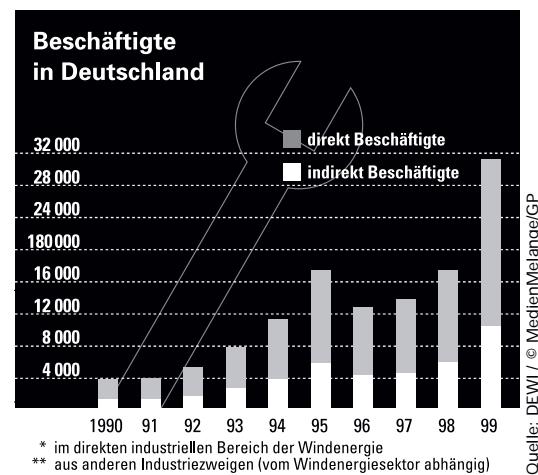
Die Effizienz von Produktion und Installation der Windenergieanlagen ist in den letzten 10 Jahren außerordentlich verbessert worden. Zwischen 1990 und 1995 konnte die notwendige Arbeitsleistung für die Herstellung von Windenergieanlagen von 12 auf 4 Beschäftigte pro Megawatt reduziert werden [34]. Dennoch konnte ein starker Anstieg der Arbeitnehmerzahlen im industriellen Bereich der Windenergienutzung verbucht werden, hervorgerufen durch einen ebenso starken Anstieg der jährlich installierten Windenergieleistungen in den letzten 10 Jahren. Generell muss zwischen direkt und indirekt Beschäftigten unterschieden werden. Die Beschäftigten im industriellen Bereich der Windenergie, wie Beschäftigte von Turbinen- und Komponentenherstellern, Beschäftigte von Windprojektpromotern und Windparkbetreiberfirmen werden als direkt Beschäftigte eingestuft. Beschäftigte aus anderen Industriezweigen, die ökonomisch vom Windenergiesektor abhängig sind, werden als indirekt Beschäftigte angesehen. Statistiken aus dem Industriezweig Maschinenbau geben ein Verhältnis von einem direkt Beschäftigten zu zwei indirekt Beschäftigten an. Dies bedeutet, dass mit der Schaffung eines Arbeitsplatzes im Windenergiesektor, zwei Arbeitsplätze in indirekten Arbeitsverhältnissen geschaffen werden.

Die Abschätzung der Beschäftigungszahlen basiert auf dem Umsatz je direkt Beschäftigten. Im Maschinenbausektor liegt dieser zwischen 150.000 und 180.000 Euro pro Beschäftigten in Deutschland. In der Vergangenheit war der Umsatz des einzelnen Beschäftigten im Windenergiesektor deutlich niedriger. Die Effizienz der Produktion und Installation von Windenergieanlagen ist in der Vergangenheit schnell gewachsen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Höhe des Umsatzes je Beschäftigten in der Windenergiebranche das selbe Niveau erreicht hat wie im übrigen Maschinenbau-sektor. Diese Rechnung ergibt, dass laut Umsatz 1999 in Deutschland 31.350 Personen beschäftigt waren (siehe 6.3). Die meisten dieser Arbeitsplätze wurden in Deutsch-

land geschaffen, da viele Komponenten (auch für dänische Windenergieanlagen), wie z.B. Getriebe, Generatoren und Türme, in Deutschland hergestellt wurden. Im Bereich der Offshore-Windenergienutzung ist vermutlich mit einem Anstieg der spezifischen Investitionen pro Megawatt um bis zu 60 Prozent [8] im Vergleich zu Onshore-Projekten zu rechnen. Gleichfalls werden die Betriebs- und Wartungskosten grundsätzlich höher sein als im Onshore-Bereich. Diese höheren Kosten legen nahe, dass im Offshore-Windenergiebereich mehr Arbeitsplätze je installiertem Megawatt benötigt werden. Somit darf angenommen werden, dass die Offshore-Windenergienutzung in dem in Kapitel 1.2 beschriebenen nationalen Umfang in Deutschland zu einem starken Anstieg der absoluten Beschäftigungszahlen in diesem Sektor führen wird.

Hinweis: Die Berechnung der Beschäftigungszahlen hängt von den nationalen Gegebenheiten des jeweiligen Staates ab. Da z. B. die Lohnkosten in den einzelnen Staaten variieren, variiert auch der Umsatz jedes einzelnen Beschäftigten.

**Ein neuer Arbeitsplatz im Windenergiesektor schafft zwei Arbeitsplätze in davon indirekt beeinflussten Bereichen.**



## 7. Schlussfolgerungen

Im Hinblick auf den Klima- und Ressourcenschutz hat sich der verstärkte Gebrauch von On- und Offshore-Windenergie, im Rahmen einer wahrlich nachhaltigen Energiepolitik als unabdingbar erwiesen. Nur wenn die Windenergienutzung in Europa weiterhin ausgebaut wird, können die Ziele des Kyoto-Protokolls zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes mit einem erheblichen Beitrag durch die Windenergie, erreicht werden. Da Onshore-Gebiete immer rarer werden, muß damit begonnen werden die Offshore-Windenergie in den nächsten 5 Jahren einzuführen. Die durchgesehenen Informationen weisen ein riesiges Windenergie-Potenzial in der Nordsee auf, das nur darauf wartet genutzt zu werden. In Abhängigkeit der vorhandenen natürlichen, der durch Menschen gemachten – zum Teil politischen – Einschränkungen könnte ein Großteil des europäischen Energiebedarfs durch Offshore-Windenergie gedeckt werden.

Offshore-Windenergietechnologie ist eine neue Technologie, die durch die Verschmelzung der klassischen Windenergietechnologie und der klassischen Offshore-Technologie geschaffen wurde. Auch wenn sie noch sehr jung ist, lassen eine Anzahl von durchgeführten Studien und Ergebnisse aus ersten kleineren Demonstrationsprojekten in der Ostsee auf eine erfolgreiche großtechnische Umsetzung in der Nordsee hoffen. Eine Anzahl von technischen Lösungen für den Bau von geeigneten und effizienten Windenergieanlagen, Netzanbindungstechnologien und Windpark-Konzepten liegen vor und warten darauf, in ersten Demonstrationsprojekten angewandt zu werden.

Die in dieser Studie ausgearbeiteten ökonomischen Betrachtungen zeigen, dass, in Abhängigkeit von den Charakteristika des betrachteten Küstenschelfs, selbst Gebiete in großer Entfernung von mehreren 10 Kilometern zur Küste ökonomisch machbar sind.

Mit Blick auf Umweltfragen kann festgestellt werden, dass es einen beträchtlichen

Bedarf an Informationen über die unterschiedlichen möglichen Auswirkungen im Zusammenhang mit der Offshore-Windenergienutzung gibt. Einige der fehlenden Informationen können nur durch Forschungsarbeiten an und ökologisches Monitoring in ersten Demonstrationswindparks erhoben werden. Dennoch lässt sich heute schlussfolgern, dass Offshore-Windparks ungünstige Auswirkungen auf die Umwelt haben werden, die nicht vollständig durch technische Maßnahmen behoben werden können. Allerdings ist bei der Bewertung der möglichen Umweltschäden durch Offshore-Windenergienutzung zu berücksichtigen, dass sie dazu beiträgt Umwelteinflüsse anderer Energieformen, wie z.B. den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, zu verringern.

Es ist notwendig, eine strategische und effektive Vorgehensweise zu finden, um Gebiete zu ermitteln, die vorrangig zur Entwicklung von Offshore Windenergienutzung geeignet sind. Diese Bemühungen sollten eine koordinierte Planung der Netzanbindungslösungen auf europäischer Ebene einschließen.

Insgesamt stellt die Offshore-Windenergie eine Energieform dar, die im Rahmen einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung nicht fehlen darf.

**Offshore-Windenergie darf in einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung nicht fehlen.**

Durch den Ausbau der Windenergie entstehen neue Arbeitsplätze



© Paul Langrock/Zentri/Greenpeace

## 8. Literaturverzeichnis / Anmerkungen

- [1] BTM Consult: **International Wind Energy Development**. Ringkøbing, Dänemark März 2000.
- [2] Rehfeldt, Knud: **Internationale Entwicklung der Windenergienutzung**. DEWI-Magazin Nr. 15 (August 1999) Seite 40-47.
- [3] Nitsch, Fischbeck, et. al.: **Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien**. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes. Berlin 1999.
- [4] Energie Instituut KU Leuven: **Prospective study of the emissions in Belgium until 2008/2012 of greenhouse gasses included the Kyoto Protocol**. Study for the Belgian Federal Ministry of Environment.
- [5] Madsen, P.H.(RISØE): **National Activities – Denmark**. In: IEA R&D Wind Annual Report 1999. International Energy Agency, <http://www.iea.org/techno/...>
- [6] ECN: **Nationale Energie Verkenningen 1995-2000**.
- [7] UK Department of Environment, Transport and the Regions: **Climate Change – Draft UK Programme**, March 2000.
- [8] Godall,N.: **Prospects for Offshore Wind Energy**. In: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente ENEA (Rome) (Editor): OWEMES 2000 Proceedings. Rome: ENEA, 2000, p. 321-353
- [9] Rasmussen,S.L.; Bjelskou,J.; Lemming, J.: **Experiences and Results From the Implementation of the Danish Offshore Wind Energy Programme**. Paper presented at OWEMES 2000, Siracusa, Sicily, Italy. April 13-15, 2000.
- [10] Belle, J.v.; Lieshout, S.; Akkeren, S.v. : **Offshore Wind Farm Locations in the North Sea**. Pilotstudy commissioned by Greenpeace Netherlands, Heerenveen, The Netherlands, 2000.
- [11] Gerdes,G.;Strack, M.: **Long-term Correlation of Wind Measurement Data**. In: DEWI-Magazin (1999), Nr.15, p. 18-24.
- [12] Neckelmann, S.; Petersen, J.: **Evaluation of the stand alone wind and wave measurement system for the Horn's Reef 150MW offshore wind farm in Denmark**. In: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente ENEA (Rome) (Editor): OWEMES 2000 Proceedings. Rome: ENEA, 2000, p. 17-27.
- [13] Fletcher, Ian (ETSU): **National Activities - United Kingdom**. In: IEA R&D Wind Annual Report 1999. International Energy Agency, <http://www.iea.org/techno/...>
- [14] Mortensen,N.G.; Landberg,L.; Troen,I.; Petersen, E.L.: **Wind Analysis and Application Program (WASP)**. RISØ-I-666(EN). Roskilde (Denmark): RISØ National Laboratory, 1993.
- [15] R.J. Barthelmie: **Measurements and Modelling of Coastal Meteorology**. In: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente ENEA (Rome) (Editor): OWEMES 2000 Proceedings. Rome: ENEA, 2000, p. 45-59.
- [16] R.J. Barthelmie: **Developing a Coastal Discontinuity Model for the POWER Project**. In: Proceedings of the 1999 Twenty First BWEA Wind Energy Conference, Cambridge, 1999.
- [17] G.M. Watson, J.A. Halliday et.al.: **Power – A Methodology for Predicting Offshore Wind Energy Resources**. In: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente ENEA (Rome) (Editor): OWEMES 2000 Proceedings. Rome: ENEA, 2000, p. 109-120
- [18] J. Palutikof, T. Holt: **Synoptic-Scale Wind Data suitable for the preliminary Assessment of the Off-Shore Wind Resource**. In: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente ENEA (Rome) (Editor): OWEMES 2000 Proceedings. Rome: ENEA, 2000, p. 93-107
- [19] Matthies, H.G. et. al.: **Study of Offshore Wind Energy in the EC. Final Report of Joule I contract JOUR-0072 commissioned by the Commision of the European Communities CEC**, Verlag Natürliche Energien, Brekendorf, Germany, 1995.
- [20] Krohn, Soren: **Offshore Wind Energy: Full Speed Ahead**. In: [www.WINPOWER.dk](http://www.WINPOWER.dk). Homepage of the Danish wind turbine manufacturers association, <http://www.winpower.dk/articles/offshore.html>
- [21] Ferguson, M.C. (Editor): **OPTI-OWECS. Volume 4 : A Typical Design Solution for an Offshore Wind Energy Conversion System**. Final Report on Joule III contract JOR3-CT95-0087 for the Commision of the European Communities, Delft, The Netherlands: Institute for Windenergy, Delft University of Technology, 1998 (IW-98143R).
- [22]: Elkraft, Wind Power Department, SEAS (Editor): **Action Plan for Offshore Wind Farms in Danish Waters. 1**. The Offshore Wind Farm Working Group of the Electricity Companies and the Danish Energy Agency, english edition. Haslev, Denmark: 1997.

- [23] Danish Wind Energy Manufacturer's Association: **Offshore Wind Energy**. In: [www.WINPOWER.dk](http://www.WINPOWER.dk). Homepage of the Danish wind turbine manufacturers association, <http://www.winpower.dk/offshore.html>
- [24] Juhl, H. et.al.: **Cost-Effective Foundation Structures for Large Scale Offshore Wind Farms**. In: Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente ENEA (Rome) (Editor): OWEMES 1997 Proceedings. Rome: ENEA, 1997, p. 397 – 410.
- [25] **Role of HVDC Transmission in future energy development**. John Loughran. IEEE Power Engineering Review, Febr. 2000.
- [26] Lemming, Drang Trong: **Danish Investigations and Plan of Action for Offshore Wind Power**. European Seminar – Offshore Wind Energy in Mediterranean and other European Seas, OWEMES 97. La Maddalena, Italien 10.-11.04.1997
- [27] **Offshore Windenergiesysteme**. Fördervorhaben des BMBF Nr. 0329645, Förderträger KFA Jülich, 1995.
- [28] **Germany's Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources** (Renewable Energy Sources Act)
- [29] Wolf, R.: **Der Schutz der Umwelt beim Bau von Bohrinseln**. Umweltplanungsrecht (UPR) 1998/8: 281-289
- [30] Kube, J.: **Programm für naturschutzrelevante Begleituntersuchungen an Offshore-Windenergieanlagen**. Unveröff. Gutachten im Auftrage des Bundesamtes für Naturschutz und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Vilm und Bonn, 2000
- [31] Ministerie van Economische Zaken & Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport: **Milieu-Effectrapport – Locatiekeuze Demonstratieproject Near Shore Windpark**. Den Haag, 2000
- [32] ELSAMPROJEKT A/S: **Havmøller Horns Rev – Vurdering af Virkninger på Miljøet VVM-redegørelse**. Notat EP00/001/JKG/HG, Fredericia, 2000
- [33] Grastrup, H., J.K. Gaarde, J.M. Svenson & P.H. Pedersen: **Environmental impact assessment of the first four offshore wind farms in Denmark**, 2000. 417 - 427
- [34] Keuper, A.: **Umsatz und Beschäftigung durch den deutschen Windenergiemarkt**. DEWI-Magazin Nr. 6 (Februar 1995) S. 28-30.

Fertigung an  
Land – Wirkung  
auf See



© Paul Langrock/Zenit/Greenpeace

Die Zukunft der Energieversorgung liegt in erneuerbaren Energien. Denn Atomenergie ist global unbeherrschbar, fossile Ressourcen kommen zum Erliegen, Klimaveränderungen zwingen zum Umstieg. Das Deutsche Windenergie-Institut und Greenpeace beschreiben einen unerschöpflichen und ökologisch sinnvollen Bestandteil des zukünftigen Energiemixes: Offshore Windenergie in der Nordsee – **die Alternative zur Ölförderung.**

**Greenpeace Belgium**  
Vooruitgangstraat 317  
B-1030 Brussels, Belgium  
Tel. +32 2 274 0200  
Fax ++32 2 201 1950  
Email: info@be.greenpeace.org

**Greenpeace Germany**  
Große Elbstraße 39  
D-22767 Hamburg, Germany  
Tel. ++49 40 30 61 80  
Fax ++49 30 61 81 00  
Email: mail@greenpeace.de

**Greenpeace International**  
Keizersgracht 176  
NL-1016 DW Amsterdam, The Netherlands  
Tel. ++31 20 523 62 22  
Fax ++31 20 523 62 00  
Email: [receptie@ams.greenpeace.org](mailto:receptie@ams.greenpeace.org)

**Greenpeace Netherlands**  
Keizersgracht 174  
NL-1016 DW Amsterdam, The Netherlands  
Tel. ++31 20 626 18 77  
Fax ++31 20 622 12 72  
Email: [sdesk@ams.greenpeace.org](mailto:sdesk@ams.greenpeace.org)

**Greenpeace Nordic in Copenhagen**  
Bregade 20, bagh. 4. sal  
DK-1260 Copenhagen K, Denmark  
Tel. ++45 33 93 53 44  
Fax ++45 33 93 53 99  
Email: [info@dk.greenpeace.org](mailto:info@dk.greenpeace.org)

**Greenpeace UK**  
Canonbury Villas  
London, N1 2PN, United Kingdom  
Tel. ++44 171 856 8100  
Fax ++44 171 865 8200  
Email: [gp-info@uk.greenpeace.org](mailto:gp-info@uk.greenpeace.org)

Greenpeace e.V. 22745 Hamburg Tel. 040/30 61 8-0; Fax. 040/30 61 8-100;  
Email: [mail@greenpeace.de](mailto:mail@greenpeace.de) Politische Vertretung Berlin, Chausseestr. 131, 10115 Berlin  
Tel. 030/30 88 99-0; Fax. 030/30 88 99-30; Internet: [www.greenpeace.de](http://www.greenpeace.de)