

Diekmann, Jochen

Article

Förderung der Windenergie erfolgreich

DIW Wochenbericht

Provided in Cooperation with:

German Institute for Economic Research (DIW Berlin)

Suggested Citation: Diekmann, Jochen (2002) : Förderung der Windenergie erfolgreich, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 69, Iss. 9, pp. 153-161

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/151124>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Förderung der Windenergie erfolgreich

Jochen Diekmann
jdiekmann@diw.de

Kaum ein Bereich der Energiewirtschaft hat sich in den vergangenen Jahren so stürmisch entwickelt wie die Nutzung der Windenergie. In Deutschland – wie auch in vielen anderen Ländern – sind von Jahr zu Jahr mehr Windkraftanlagen errichtet worden. Da zugleich die neuen Anlagen immer leistungsstärker werden, nimmt der Versorgungsbeitrag der Windenergienutzung seit Jahren rapide zu. In Deutschland ist diese Entwicklung Anfang der 90er Jahre mit dem 250 MW-Programm und dem Stromeinspeisungsgesetz angestoßen und später durch baurechtliche Vorgaben gestützt worden. Besonders bedeutsam ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aus dem Jahre 2000, das eine differenzierte Mindestvergütung für die Netzeinspeisung von Windstrom regelt.

Die Nutzung der Windenergie spiegelt sich mittlerweile in zunehmenden Beiträgen zur Energieversorgung wider; zur gesamten jährlichen Stromerzeugung in Deutschland tragen die bisher errichteten Anlagen immerhin schon rund 3 % bei. Nach den Zielen der Bundesregierung soll sich der Anteil erneuerbarer Energien bis zum Jahre 2010 verdoppeln und auch danach kontinuierlich steigen, um vor allem die Emission von Kohlendioxid (CO₂) nachhaltig zu senken. Dabei könnte in den nächsten Jahrzehnten gerade die Windenergienutzung – sowohl an Land als auch auf See – eine besondere Rolle spielen.¹

Energiepolitische Ziele

Eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen kann wesentlich zur Schonung erschöpfbarer Ressourcen und zur Verminderung von Umweltbelastungen beitragen und ist deshalb neben den Bemühungen zur Energieeinsparung ein unverzichtbares Element einer nachhaltigen Entwicklung. Die Förderung erneuerbarer Energien wird in Deutschland insbesondere mit den Anforderungen des Klimaschutzes begründet. Die Bundesregierung hat nach wie vor das Ziel, die CO₂-Emissionen bis 2005 um 25 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Außerdem hat sie sich im Rahmen des EU-Burdensharing zu einer Verminderung der Treibhausgasemissionen bis 2008–2012 um 21 % verpflichtet. Solche ambitionierten Ziele und die Notwendigkeit, die Emissionen längerfristig noch weiter zu vermindern, erfordern einen erheblichen Beitrag erneuerbarer Energien.

In der Europäischen Union soll nach dem Weißbuch „Erneuerbare Energien“² bis 2010 eine Verdoppelung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch auf 12 % erreicht werden.³ Dieses Ziel wird in der am 27. Oktober 2001 in Kraft getretenen EU-Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen⁴ bekräftigt und für den Strombereich konkretisiert. Die Richtlinie enthält insbesondere Regelungen für nationale Ziele und soll eine Grundlage für einen entsprechenden künftigen Gemeinschaftsrahmen schaffen.

Obwohl mit dieser Richtlinie (bisher) weder verbindliche Ziele noch ein Gemeinschaftsrahmen für die Förderung formuliert werden, wird hiermit allein schon durch das umfangreiche Berichtswesen die politische Absicht zu einer verstärkten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien rechtlich festgeschrieben. Anders als in früheren Entwürfen der Kommission bleibt es (zunächst) den Mitgliedstaaten überlassen, mit welchen Instrumenten sie die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien fördern wollen.

Im Anhang der Richtlinie werden „Referenzwerte für die nationalen Richtziele“ bis zum Jahre 2010 quantifiziert. Um für die Gemeinschaft einen Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 22 % zu erreichen, sind unter Berücksichtigung der jeweiligen nationalen Besonderheiten Anteile von 5,7 % (Luxemburg) bis 78,1 % (Österreich)⁵

¹ Vgl. Jochen Diekmann: Perspektiven der Windenergienutzung in Deutschland. IKARUS-Studie 3-09. Projekt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft. Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich, Januar 2002.

² Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. KOM (97) 599 end.

³ Dementsprechend hat die Bundesregierung in ihrem Klimaschutzprogramm vom 18.10.2000 das Ziel formuliert, den Anteil erneuerbarer Energien bis 2010 zu verdoppeln und danach eine weitere drastische Erhöhung des Anteils unter Beteiligung aller Akteure zu bewirken. Das Verdopplungsziel bis 2010 ist auch bereits im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verankert.

⁴ Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt.

⁵ In Österreich wird überwiegend Wasserkraft eingesetzt.

Tabelle 1

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland

	1990	1996	1997	1998	1999	2000 ¹	2001 ¹
Mrd. kWh							
Wasserkraft ²	14,6	16,2	15,8	17,3	19,7	20,5	19,8
Windkraft	0,0	2,0	3,0	4,5	5,5	9,2	11,0
Biomasse, Müll	4,1	2,9	3,0	3,5	3,8	4,3	4,7
Photovoltaik	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,1
Erneuerbare Energien insgesamt	18,8	21,1	21,7	25,3	29,1	34,1	35,6
Bruttostromerzeugung insgesamt	549,9	551,6	549,9	553,6	551,6	563,1	570,0
Anteil an der Bruttostromerzeugung insgesamt in %							
Wasserkraft ²	2,7	2,9	2,9	3,1	3,6	3,6	3,5
Windkraft	0,0	0,4	0,5	0,8	1,0	1,6	1,9
Biomasse, Müll	0,7	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
Photovoltaik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erneuerbare Energien insgesamt	3,4	3,8	4,0	4,6	5,3	6,1	6,2

¹ Vorläufige Angaben, z.T. geschätzt.² Ohne Erzeugung aus Pumpwasser.

Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Verband der Elektrizitätswirtschaft.

DIW Berlin 2002

vorgesehen. Für Deutschland wird ein Referenzwert von 12,5 % genannt.⁶

Nach vorläufigen Angaben hat die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahre 2001 insgesamt rund 36 Mrd. kWh betragen, bezogen auf die Bruttostromerzeugung waren dies gut 6 % (Tabelle 1). Hiervon entfiel mit rund 20 Mrd. kWh allerdings der größte Teil auf Wasserkraft, deren Nutzung hierzulande nur noch relativ geringfügig erhöht werden kann. Die Verdopplung des regenerativen Anteils an der Stromerzeugung bis 2010 muss dementsprechend stärker von Windenergie, Biomasse, Photovoltaik und Geothermie getragen werden. Die Nutzung dieser Energiequellen muss auch nach dem Jahre 2010 erheblich verstärkt werden, wenn erneuerbare Energien langfristig wesentlich zur Energieversorgung beitragen sollen.

Politische Fördermaßnahmen

Sowohl die bisherige Entwicklung als auch zielorientierte Szenarien der künftigen Nutzung erneuerbarer Energiequellen wären ohne wirksame politische Maßnahmen nicht realisierbar. Solche Maßnahmen umfassen allgemein die Förderung von Forschung und Entwicklung, die Erleichterung der Markteinführung und die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Neben finanziellen Anreizen geht es hierbei auch um die Schaffung geeigneter rechtlicher und administrativer Rahmenbedingungen bzw. um die Beseitigung entsprechender Hemmnisse.

Im Hinblick auf eine verstärkte Nutzung der Windenergie in Deutschland sind die folgenden bisherigen Maßnahmen hervorzuheben:

- Nachdem in den 80er Jahren vor allem Forschung und Entwicklung sowie Demonstrationsanlagen gefördert worden waren, hatte für die Windenergienutzung seit 1989 zunächst das vom Bund gemeinsam mit den Ländern durchgeführte 250 MW-Wind-Programm die größte Bedeutung für die Marktentwicklung. Im Rahmen dieses Programms ist ein Betriebskostenzuschuss von 3,1 bzw. 4,1 Cent je kWh über bis zu zehn Jahre gewährt worden (alternativ konnte ein Investitionszuschuss gewählt werden).
- Nach dem Stromeinspeisungsgesetz von 1990, geändert 1994 und 1998, bestand eine durch Härteklausel begrenzte Pflicht der Stromversorger zur Abnahme von Strom u. a. aus Windenergie und Mindestvergütung in Abhängigkeit vom Durchschnittserlös aus der Stromabgabe an Letztverbraucher. Für Windkraftanlagen betrug nach diesem Gesetz, das im Jahre 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz abgelöst worden ist, die Mindestvergütung zuletzt 8,2 Cent je kWh.

⁶ Diese Zielmarke wird vonseiten der Bundesregierung bestätigt. Vgl. z. B. Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See. Papier von fünf Bundesministerien (BMU, BMWi, BMVBW, BMVEL, BMVg) unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter Beteiligung der Deutschen Energie-Agentur (dena). Stand: Januar 2002.

Bisher gut 6 % Strom aus erneuerbaren Energien

Förderung weiterhin notwendig

- Finanzierungserleichterungen vermindern die Hindernisse auf dem Kapitalmarkt und verbessern die einzelwirtschaftliche Rentabilität von Investitionen. Solche Hilfen sind in der Vergangenheit im Rahmen unterschiedlicher Programme gewährt worden. Durch das ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm sowie das Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank sind 2001 allein für Windkraftanlagen Kredite in Höhe von 1,8 Mrd. Euro zur Verfügung gestellt worden.
- Vielfältige Maßnahmen haben dazu beigetragen, die Informationen über Investitionsmöglichkeiten zu verbessern und institutionelle Hemmnisse abzubauen. Mitte der 90er Jahre war für den weiteren Ausbau der Windenergie insbesondere die Änderung des § 35 des Baugesetzbuches bedeutsam.

Gegenwärtig ist die wichtigste wirtschaftliche Grundlage für den Ausbau der Windenergie in Deutschland das Erneuerbare-Energien-Gesetz aus dem Jahre 2000.⁷ Es verpflichtet die Netzbetreiber, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien an ihr Netz anzuschließen, den Strom aus diesen Anlagen vorrangig abzunehmen und mindestens die festgesetzten Vergütungssätze zu zahlen.⁸

Die Regelungen für die Mindestvergütungen des EEG enthalten vielfältige Differenzierungen, Begrenzungen und Degressionen. Für Strom aus Windkraftanlagen, die in den Jahren 2000 und 2001 errichtet worden sind, gibt es zwei Vergütungssätze: einen hohen Satz von 17,8 Pf/kWh (9,1 c/kWh) und einen geringeren Satz von 12,1 Pf/kWh (6,2 c/kWh). Bei einer späteren Inbetriebnahme (von 2002 an) vermindern sich die Sätze um 1,5 % pro Jahr. Mindestens fünf Jahre wird die jeweils hohe Vergütung gezahlt, danach die geringere. Dieser Zeitraum verlängert sich in Abhängigkeit vom tatsächlichen Ertrag in Relation zu einem Referenzertrag, so dass Strom aus Anlagen an windgünstigen Standorten im Durchschnitt von zwanzig Jahren geringer vergütet wird als Strom aus ungünstigeren Standorten.

Damit werden attraktive Anreize für den Ausbau der Windenergienutzung sowohl im Binnen- als auch im Küstenland gegeben. Für Offshore-Anlagen gilt der hohe Vergütungssatz für neun statt für fünf Jahre. Sie werden damit (wegen der deutlich höheren Kosten) gegenüber Anlagen an guten Standorten an Land begünstigt; dies gilt bisher aber nur für Anlagen, die bis Ende 2006 errichtet und in Betrieb genommen werden.

Mit dem EEG sind einige Nachteile des früheren Stromeinspeisungsgesetzes beseitigt worden, ohne

das Prinzip der Mindestvergütung aufzugeben. Für private Investoren liegt ein wesentlicher Vorteil solcher Vergütungsregelungen darin, dass ihnen mit der Preisfixierung ein hohes Maß an Planungssicherheit gewährt wird. Die Einzelregelungen, insbesondere die differenzierten Preisvorgaben, müssen bei einem solchen System naturgemäß – wie auch im EEG vorgesehen – von Zeit zu Zeit überprüft werden.

Auch zur Umsetzung der EU-Richtlinie sind in den kommenden Jahren die Erfahrungen der Mitgliedstaaten mit unterschiedlichen Fördermodellen auszuwerten und Möglichkeiten eines Gemeinschaftsrahmens für Förderregelungen zu prüfen. Dabei werden auch Alternativmodelle wie handelbare Quoten für Strom aus erneuerbaren Energien im Hinblick auf ökologische Wirksamkeit, ökonomische Effizienz und Fragen der praktischen Umsetzung zu diskutieren sein.

Stand der Windenergienutzung

Im vergangenen Jahrzehnt hat sich die Nutzung von Windenergie weltweit stark erhöht (Abbildung 1). Die installierte Leistung dürfte sich von 2 500 MW im Jahre 1991 bis Ende 2001 etwa verzehnfacht haben; dies entspricht einer durchschnittlichen Wachstumsrate von rund 25 % pro Jahr. Dabei hat sich der Anteil Europas von zunächst einem Drittel mehr als verdoppelt. Außerhalb Europas haben vor allem die USA und Indien große Anteile an der installierten Leistung, in Europa sind es nach Deutschland, das weltweit an der Spitze liegt, die Länder Spanien und Dänemark.

Die Regelungen zur Mindestvergütung haben in Deutschland im vergangenen Jahrzehnt einen besonders rasanten Ausbau der Windenergienutzung bewirkt. Im Jahre 2001 sind 11 Mrd. kWh Strom aus Windenergie erzeugt worden; das waren immerhin schon knapp 1,9 % der gesamten Bruttostromerzeugung (Tabelle 1). Trotz der im Jahre 2001 vergleichsweise ungünstigen Windverhältnisse hat sich die Windstromerzeugung gegenüber dem Vorjahr um ein Fünftel erhöht.

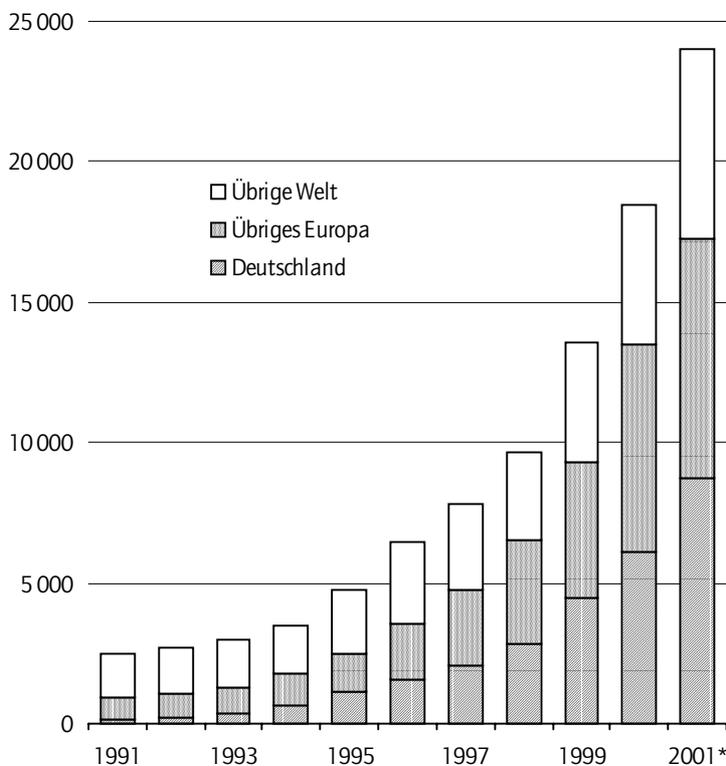
Gleichzeitig hat sich der Ausbau der Kapazitäten in Deutschland stark beschleunigt fortgesetzt: Allein im Jahre 2001 hat die Zahl der Windkraftanlagen um

⁷ Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 29. März 2000.

⁸ Eine wesentliche Neuerung gegenüber dem früheren Stromeinspeisungsgesetz stellt die bundesweite Ausgleichsregelung dar, die aus mehreren Stufen besteht: Der vorgelagerte Übertragungsnetzbetreiber muss die vom Netzbetreiber aufgenommene Energiemenge abnehmen und vergüten. Die Übertragungsnetzbetreiber müssen die Energiemengen und Vergütungszahlungen jährlich untereinander ausgleichen, bis sie gleiche Anteile an der an Letztverbraucher abgegebenen Energiemenge erreichen. An Letztverbraucher liefernde Energieversorgungsunternehmen sind ihrerseits verpflichtet, den Strom anteilig abzunehmen und zu vergüten.

Abbildung 1

Windkraftanlagen in Deutschland, Europa und der Welt
Leistung in Megawatt (MW)



* Geschätzte Werte.

Quellen: Carsten Ender: Internationale Entwicklung der Windenergienutzung mit Stand 31.12.2000. In: DEWI-Magazin, Nr. 19, August 2001, S. 44–52; Lester R. Brown: World Wind Generation Capacity Jumps 31 Percent in 2001. Earth Policy Institute, January 8, 2002-1.

DIW Berlin 2002

Kapazitäten 2001 um 44 % erhöht

2 079 oder 22 % auf 11 438 zugenommen; die installierte Leistung wurde sogar um 2 659 MW oder 44 % auf nun 8 754 MW gesteigert (Abbildung 2 und Tabelle 2). Gegenüber 1990 ist die Anlagenzahl bis Ende 2001 um den Faktor 23 gestiegen, während die gesamte installierte Leistung um den Faktor 182 zugenommen hat. Die durchschnittliche Leistung des Anlagenbestandes hat sich (von 95 kW im Jahre 1990) kontinuierlich auf 765 kW je Anlage erhöht. Die im Jahre 2001 errichteten Anlagen hatten bereits eine durchschnittliche Leistung von knapp 1,3 MW.⁹

Im Bestandszuwachs zeigt sich die besonders dynamische Entwicklung des Marktes für Windkraftanlagen. Im Jahre 2001 sind in Deutschland 40 % mehr Anlagen und eine um rund 60 % größere elektrische Leistung errichtet worden als im Jahre 2000.¹⁰ Die gesamten Investitionen in Windenergie in Deutschland dürften (einschließlich der Ausgaben für Fundamente, Netzanbindung usw.) im Jahre 2001 über 3 Mrd. Euro betragen haben.

Die regionale Verteilung der Windenergienutzung spiegelt vor allem die unterschiedlichen Windverhältnisse in Deutschland wider (Abbildung 3). So führen bei der installierten Leistung die Küstenländer Niedersachsen und Schleswig-Holstein deutlich. Allerdings weisen auch Binnenländer wie Nordrhein-Westfalen beachtliche Leistungsanteile auf. Mittlerweile entfällt auf das Binnenland rund die Hälfte der Gesamtleistung.

Die 2001 errichteten Windkraftanlagen konnten im selben Jahr naturgemäß selbst nur wenig zur Stromerzeugung beitragen, zumal der Großteil der Anlagen erst in der zweiten Jahreshälfte in Betrieb genommen wurde. Der gesamte potentielle Energieertrag der bis Ende 2001 in Deutschland installierten Windkraftanlagen (8 754 MW) wird – bezogen auf ein normales Windjahr – auf gut 16 Mrd. kWh pro Jahr geschätzt. Das wären bereits rund 3 % der Bruttostromerzeugung in Deutschland.¹¹

⁹ Die meisten dieser Neuanlagen haben einen Rotordurchmesser von über 60 m. Bei einer Nabenhöhen von etwa 65 m ergibt sich hieraus eine Gesamthöhe von rund 100 m.

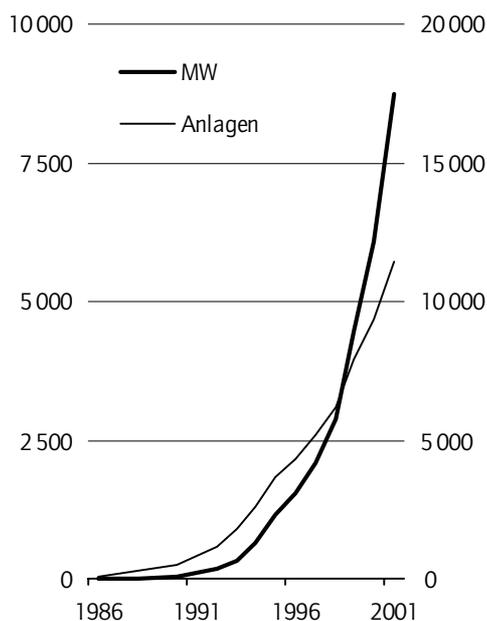
¹⁰ Die starke Zunahme vor allem am Jahresende 2001 ist nicht zuletzt auch damit zu erklären, dass nach dem EEG die Vergütung für Anlagen, die erst 2002 in Betrieb genommen werden, um 1,5 % niedriger ist.

¹¹ Es ist allerdings zu beachten, dass die einzelnen Bundesländer sehr unterschiedliche Windstromanteile aufweisen; so hat der Anteil von Windstrom am Stromverbrauch in Schleswig-Holstein bereits ein Viertel erreicht.

Abbildung 2

Leistung und Zahl der Windkraftanlagen in Deutschland

Leistung in Megawatt (MW) Zahl



Quellen: Verband der Elektrizitätswirtschaft; Deutsches Windenergie-Institut.

DIW Berlin 2002

Tabelle 2

Leistung und Zahl der Windkraftanlagen¹ in Deutschland

	Leistung		Zahl		Mittlere Anlagenleistung	
	Bestand ²	Errichtung ³	Bestand ²	Errichtung ³	Bestand ²	Errichtung ³
	Megawatt (MW)		Anlagen		kW je Anlage	
1992	183	–	1 211	–	151	–
1993	334	155	1 797	608	186	255
1994	643	309	2 617	834	246	371
1995	1 137	505	3 655	1 070	311	472
1996	1 546	428	4 326	806	357	531
1997	2 082	534	5 193	849	401	629
1998	2 875	793	6 205	1 010	463	785
1999	4 445	1 568	7 879	1 676	564	935
2000	6 095	1 665	9 359	1 495	651	1 114
2001	8 754	2 659	11 438	2 079	765	1 279
Veränderungen gegenüber dem Vorjahr in %						
1993	83	–	48	–	23	–
1994	92	100	46	37	32	46
1995	77	63	40	28	27	27
1996	36	–15	18	–25	15	12
1997	35	25	20	5	12	19
1998	38	49	19	19	16	25
1999	55	98	27	66	22	19
2000	37	6	19	–11	15	19
2001	44	60	22	39	18	15

1 Abweichungen zwischen Bestand und kumulierter Errichtung aufgrund statistischer Differenzen.

2 Bestand jeweils zum Jahresende.

3 Im jeweiligen Jahr.

Quellen: Deutsches Windenergie-Institut (DEWI-Magazin, verschiedene Jahrgänge); Berechnungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2002

Kosten der Windenergienutzung

Die Kosten für Windkraftanlagen konnten im letzten Jahrzehnt aufgrund der Technik- und Marktentwicklung wesentlich gesenkt werden. Hierzu haben nicht nur Kostendegressionen durch Massenfertigung und produktionstechnische Verbesserungen beigetragen, sondern auch die stetige Erhöhung der Anlagengröße.

Bezogen auf die Anlagenleistung liegen die Preise von Windkraftanlagen überwiegend bei 800 bis 1 200 Euro je kW.¹² Dabei zeigt sich in der Tendenz mit steigender Anlagengröße eine Zunahme der spezifischen Preise.¹³ Dies kann zum Teil darauf zurückgeführt werden, dass etwa 600-kW-Anlagen bisher in wesentlich höheren Stückzahlen produziert worden sind als 2-MW-Anlagen. Allerdings dürfte auch unter Berücksichtigung weiterer Kostendegressionen durch Serienfertigung der Anlagengrößenvorteil an Grenzen stoßen.

„Mittelgroße“ Windkraftanlagen kosten gegenwärtig durchschnittlich etwa 850 Euro je kW. Hinzu kommen weitere, standortabhängige Ausgaben für Netzanbindung, Fundamente, Planung usw., die im

Durchschnitt die Gesamtinvestition um ein Drittel erhöhen.¹⁴

Wie hoch die Betriebskosten im Durchschnitt der erwarteten Anlagenlebensdauer von zwanzig Jahren sein werden, ist gegenwärtig aufgrund der noch kurzen Betriebserfahrung vor allem mit größeren Anlagen noch recht unsicher. Die jährlichen Betriebskosten werden auf rund 5 % des Anlagenpreises geschätzt. Darüber hinaus sind für Ersatzteile insgesamt Aufwendungen in einer Größenordnung von 25 % des Anlagenpreises einzukalkulieren.

Die Stromerzeugungskosten hängen maßgeblich von den Windverhältnissen am jeweiligen Standort

12 Vgl.: Windenergie 2001. Marktübersicht. Herausgegeben vom Bundesverband Windenergie. Osnabrück, Februar 2001; Windenergie – Marktübersicht ab 500 kW. In: Sonne, Wind & Wärme 6/2000, S. 66–69; Immer weniger Anbieter (Marktübersicht der Windkraftanlagen ab 600 kW). In: Sonne, Wind & Wärme, Nr. 12/2001, S. 70–73.

13 Ein ähnliches Bild ergibt sich auch, wenn die Preise auf die Rotorfläche bezogen werden.

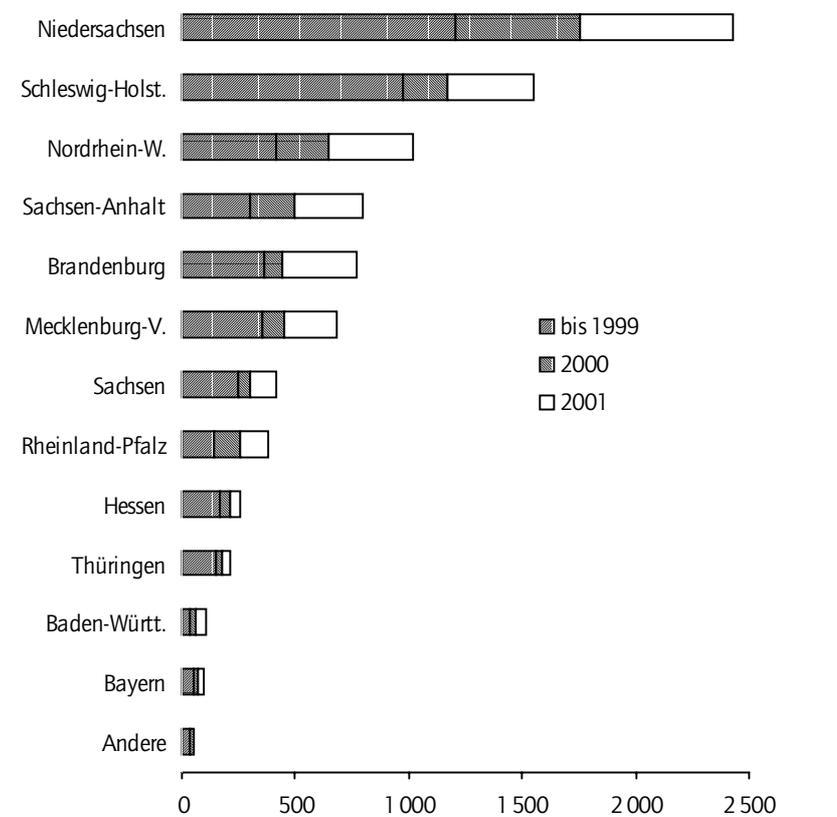
14 Deutsches Windenergie-Institut (DEWI): Studie zur aktuellen Kostensituation der Windenergienutzung in Deutschland. Studie im Auftrag des BWE bearbeitet von B. Schwenk und K. Rehfeldt. Wilhelmshaven, September 1999.

Großanlagen noch relativ teuer

Abbildung 3

Windkraftanlagen nach Bundesländern¹ 2001

Leistung in Megawatt (MW)



1 Insgesamt 8 754 MW.

Quellen: Deutsches Windenergie-Institut; Bundesverband Windenergie.

DIW Berlin 2002

Große Bandbreite der Stromerzeugungskosten

ab (Abbildung 4). Am Referenzstandort¹⁵ können die Windkraftanlagen (in Abhängigkeit von ihrer Leistungskennlinie und der Nabenhöhe) eine Jahresauslastung der Nennleistung von rund 2000 Stunden oder 23 % erreichen. Bei einem Zinssatz von 5 % ergeben sich für mittelgroße Anlagen unter diesen Annahmen im Durchschnitt Stromerzeugungskosten von gut 6 Cent je kWh. Für größere Anlagen (1,5 bis 2 MW) liegen die Kosten mit rund 7 Cent je kWh noch deutlich höher. Betrachtet man die Bandbreite der unterschiedlichen Windverhältnisse in Deutschland, dann können die Stromerzeugungskosten allerdings im Einzelfall unter 4 oder über 10 Cent je kWh liegen.¹⁶

Künftig werden die Kosten von Windstrom noch deutlich sinken. Neben realen Senkungen der Anlagenpreise dürften hierzu auch Verbesserungen bei Betriebskosten und Ersatzausgaben beitragen. Dennoch werden Windkraftanlagen in Deutschland auch längerfristig nicht ohne Förderung rentabel sein. Da die Nutzung der Windenergie aber eine effiziente Möglichkeit ist, die Emission von Treib-

hausgasen zu vermindern, ist eine solche Förderung notwendig.

Neben der Nutzung von Landflächen wird in den kommenden Jahren in Deutschland – wie bereits in einigen Projekten in Dänemark, Schweden, den Niederlanden und Großbritannien¹⁷ – auch das Meer für die Aufstellung von Windkraftanlagen genutzt werden. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die begrenzte Fläche an Land, die geeignet und unter Berücksichtigung von Natur- und Landschaftsschutz für Windkraftanlagen verfügbar ist. Außerdem sind die Windverhältnisse auf dem Meer im Allgemeinen günstiger als an Land. Allerdings ist eine solche Offshore-Nutzung mit einem höheren technischen und wirtschaftlichen Aufwand für die Errichtung der Anlagen, für die Netzanbindung und für den Betrieb verbunden. Aufgrund von besonderen Nutzungskonflikten mit Naturschutz und Schifffahrt wird in Deutschland vornehmlich eine Windkraftnutzung außerhalb der 12-Seemeilen-Zone, d. h. in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), avisiert.¹⁸ Mit zunehmender Küstenentfernung steigen jedoch die Kosten der Netzanbindung und wegen der größeren Wassertiefen auch die Aufwendungen für die Fundamente. Gerade unter solchen Bedingungen gilt es, alle Größenvorteile – sowohl hinsichtlich der Anlagenzahl pro Windpark als auch hinsichtlich der Anlagengröße – auszunutzen.

Seegeeignete Windkraftanlagen sind zwar nur geringfügig teurer als Anlagen für den Landeinsatz. Hinzu kommen aber wesentlich höhere Investitionsnebenkosten. Nach einer Studie des Deutschen Windenergie-Instituts (DEWI)¹⁹ machen diese Kosten bei einer Küstenentfernung von 30 km etwa 83 % bis 143 % der Anlagenkosten aus. Bei einer Küstenentfernung von 70 km wären es sogar 113 % bis 208 %. Im Vergleich zu den Nebenkosten an Land, die mit einem Drittel der Anlagenkosten zu veranschlagen sind, sind solche Ansätze drei bis sechs Mal so hoch. Darüber hinaus sind die jährlichen Betriebskosten (mit 7,5 %) und die Ersatzkosten (mit 35 %) der Anlagenkosten höher anzusetzen.

¹⁵ Der Referenzstandort ist nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz definiert durch eine mittlere Windgeschwindigkeit von 5,5 m/s in 30 m Höhe, eine Rayleigh-Verteilung der Windgeschwindigkeit und ein logarithmisches Höhenprofil mit einer Rauigkeitslänge von 0,1 m. Zusätzlich wird in den Modellrechnungen eine Anlagenverfügbarkeit von 97 % und ein Feldwirkungsgrad von 95 % berücksichtigt.

¹⁶ Solche Kostenangaben sind nicht unmittelbar mit Vergütungssätzen vergleichbar, da für private Investoren die jeweiligen Finanzierungsbedingungen und steuerliche Aspekte maßgeblich sind.

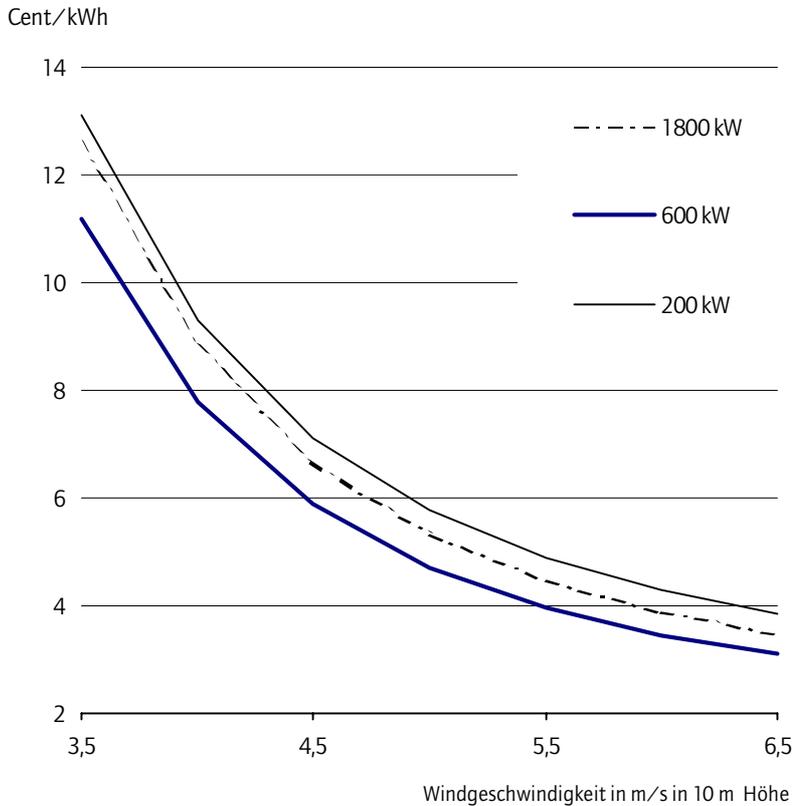
¹⁷ Von 1991 bis 2001 sind in diesen Ländern insgesamt neun Offshore-Windparks mit einer Gesamtleistung von 95 MW errichtet worden. Der bisher größte Park (Middelgrunden bei Kopenhagen) besteht aus 20 2-MW-Anlagen.

¹⁸ Vgl. Windenergienutzung auf See. Positionspapier des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich. Berlin, 25. Mai 2001.

¹⁹ Deutsches Windenergie-Institut (DEWI): Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz – Teil 1. Studie im Auftrag des BMU bearbeitet von K. Rehfeldt, G. J. Gerdes, M. Schreiber. Wilhelmshaven, April 2001.

Abbildung 4

Stromerzeugungskosten von Windkraftanlagen an Land in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit



Quellen: Bundesverband Windenergie; Deutsches Windenergie-Institut; Berechnungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2002

Offshore-Windenergie: hoher Aufwand und hoher Ertrag erwartet

Bei mittleren Windgeschwindigkeiten von 8 bis 9 m/s in 60 m Höhe sind auf dem Meer Ausnutzungsdauern von etwa 3 000 bis 3 600 Stunden pro Jahr zu erreichen, d. h. mittlere Kapazitätsauslastungen von 34 % bis 41 %. Unter Berücksichtigung der Bandbreiten für die Investitionsausgaben liegen die (wiederum mit einem Zinssatz von 5 %) errechneten Stromerzeugungskosten dann bei knapp 6 bis 10 Cent je kWh (Abbildung 5). Trotz der viel günstigeren Windbedingungen sind Offshore-Standorte wirtschaftlich betrachtet insofern eher mit denen im Binnenland als mit solchen in Küstengebieten vergleichbar. Auf längere Sicht können aber noch erhebliche Kostensenkungen erwartet werden. Dies betrifft zum einen die Kosten von großen Windkraftanlagen in großen Serien sowie die Investitionsnebenkosten von großen Windparks als auch die jährlichen Betriebskosten und die Aufwendungen für Ersatzteile. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lerneffekte erscheinen längerfristig Stromerzeugungskosten von unter 5 Cent je kWh möglich. Angesichts solcher Perspektiven und der großen Einsatzpotentiale ist die Offshore-Wind-

energienutzung eine bedeutende Option zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Langfristige Potentiale der Windenergie

Die Nutzungsmöglichkeiten der Windenergie in Deutschland hängen von einer Vielzahl meteorologischer, technischer, ökonomischer, ökologischer und rechtlicher Faktoren ab. Von entscheidender Bedeutung sind dabei nicht zuletzt gesellschaftliche Bewertungen und politische Rahmenbedingungen.

Mit der seit Anfang 1997 im Grundsatz geltenden baurechtlichen Privilegierung von Windkraftanlagen im Außenbereich ist eine wesentliche Hürde beim Ausbau der Windenergie beseitigt worden. Viele Gemeinden haben inzwischen von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, Vorrangflächen für die Windenergienutzung in ihrem Gebiet auszuweisen. Diese Flächen werden gegenwärtig oder in den nächsten Jahren bebaut; darüber hinaus stehen neue Flächen nur noch in geringerem Maße zur Verfügung. Längerfristig wird eine weitere Zunahme der Gesamtleistung im hohen Maße auf dem Ersatz von Altanlagen durch leistungsstärkere Anlagen beruhen (Repowering).²⁰ Bis zum Jahre 2030 erscheint vor diesem Hintergrund eine Gesamtleistung an Land von bis zu 24 000 MW möglich. Hiermit könnten jährlich rund 40 Mrd. kWh erzeugt werden (Abbildung 6).

Über die Offshore-Potentiale der Windenergienutzung liegen sowohl hinsichtlich der Windverhältnisse als auch hinsichtlich der Flächenverfügbarkeit bisher noch keine ausreichenden Studien vor. Bei der Ermittlung von nutzbaren Meeresflächen sind Verkehrswege oder -zonen, militärische Sperrgebiete, Abstände zu Pipelines, Seekabeln, Plattformen und nicht zuletzt aus Gründen des Naturschutzes auszuschließende Gebiete zu berücksichtigen. Dennoch sind grundsätzlich beträchtliche Aufstellflächen im Meer vorhanden.

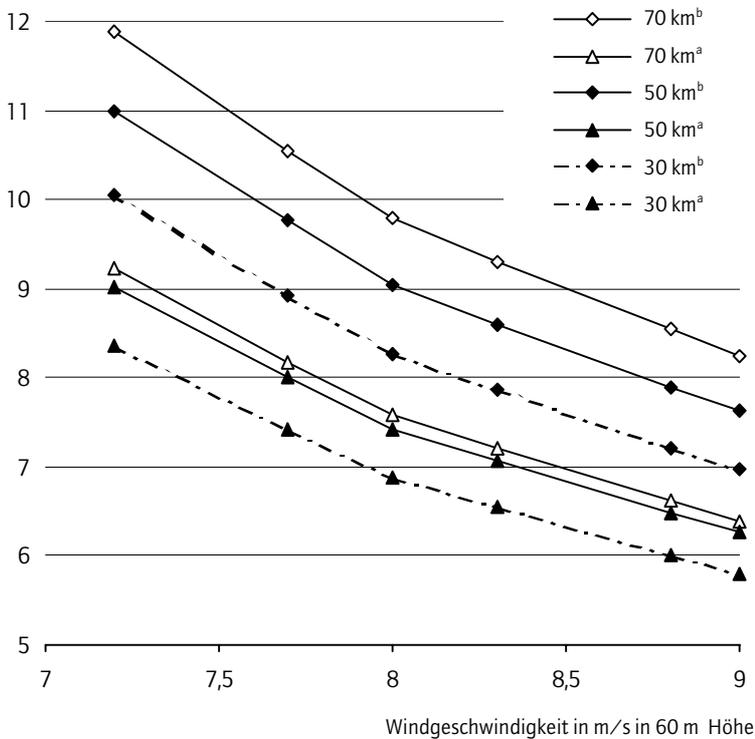
Im Positionspapier des BMU zur Windenergienutzung auf See vom Mai 2001 wurde auf Basis der DEWI-Studie ein „optimistisch verhaltenes Szenario“, in dem bis 2030 eine Offshore-Leistung von 20 000 MW errichtet wird, und ein „optimistisches Szenario“ mit einer Offshore-Leistung von 25 000 MW betrachtet.²¹ Bei einer durchschnittlichen Ausnutzungsdauer von 3 500 Stunden könnten damit

²⁰ Hierbei können u. U. auch bestehende Standorte im Rahmen von Bereinigungen durch geeignetere Flächen ausgetauscht und Einzelanlagen durch größere Windparks ersetzt werden.

²¹ Nach dem Strategiepapier der Bundesregierung vom Januar 2002 sind „langfristig, d. h. bis 2025 bzw. 2030, ... bei Erreichen der Wirtschaftlichkeit etwa 20 000 bis 25 000 Megawatt installierter Leistung möglich (Küstenmeer und AWZ)“.

Abbildung 5

Stromerzeugungskosten von Windkraftanlagen auf See in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit und der Küstenentfernung



a: untere Grenze der Investitionsnebenkosten.

b: obere Grenze der Investitionsnebenkosten.

Quellen: Deutsches Windenergie-Institut; Berechnungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2002

jährlich 70 bis 87 Mrd. kWh oder 12,5 % bis 15,5 % des bisherigen Bruttostromverbrauchs in Deutschland erzeugt werden.

Nach dem Stufenplan der Bundesregierung sind zunächst Voruntersuchungen zu geeigneten Standorten, umwelt- und naturschutzbezogene Forschungsarbeiten und erste Genehmigungen von Pilot-Windparks vorgesehen. In einer ersten Ausbauphase (2007 bis 2010) sollen dann weitere Windparks in ausgewiesenen Eignungsgebieten genehmigt werden.

Für die Windenergienutzung auf See müssen die rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen sowie die Abstimmungen zwischen Bund und den Küstenländern verbessert werden. Ein Schritt hierzu sind die vom Bundestag am 15. November 2001 beschlossenen Neuregelungen im Bundesnaturschutzgesetz und in der Seeanlagenverordnung zur Ausweisung von Schutzgebieten und zur Festlegung von besonderen Eignungsgebieten für Windkraftanlagen in der Ausschließlichen Wirtschaftszone.²²

Verbesserung der Rahmenbedingungen erforderlich

In der politischen Diskussion ist zu Recht besonders betont worden, dass die Nutzung von Windkraftanlagen auch auf dem Meer erhebliche Effekte auf den Naturhaushalt haben kann und dass generell die Umweltverträglichkeit solcher Projekte geprüft werden muss.²³ Allerdings darf bei einer Gesamtbewertung nicht vernachlässigt werden, dass die Erzeugung von Strom mit Windkraftanlagen erheblich dazu beitragen kann, die Emission von Schadstoffen und von Treibhausgasen zu vermindern. Aspekte des Umweltschutzes, des Klimaschutzes und des Naturschutzes sind deshalb im Zusammenhang zu würdigen.²⁴

Fazit

Die Nutzung der Windenergie hat in den vergangenen Jahren insbesondere als Folge der gesetzlichen Mindestvergütungen kräftig zugenommen. Nach dem Rekordzuwachs beim Kapazitätsausbau von 2 659 MW im Jahre 2001 können gegenwärtig im Durchschnitt rund 3 % des Bruttostromverbrauchs in Deutschland pro Jahr durch Windenergie gedeckt werden.

Mit dem weiteren Ausbau der Windenergienutzung werden sich die spezifischen Investitionskosten noch vermindern. Die Kosten für Betrieb und Ersatz sind zwar gegenwärtig vergleichsweise hoch, werden sich aber durch die Nutzung von Lerneffekten reduzieren. Der Ausbau der Nutzung von Windkraft an Land wird durch die Zahl geeigneter Standorte begrenzt. Der künftige Leistungszuwachs wird daher mehr und mehr durch „Repowering“ getragen werden müssen, also durch den Ersatz von kleineren durch größere Anlagen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich in Deutschland nun die Frage, ob zusätzlich Windenergie auch auf See erzeugt werden soll.²⁵ Die Erfahrungen bisheriger Offshore-Projekte, insbesondere in Dänemark und Schweden, sind allerdings nur bedingt auf Deutschland übertragbar, zumal wenn sich hier der Ausbau aus Gründen des Umweltschutzes und der Akzeptanz auf Großparks in küstenfernen Gebieten mit entsprechenden Wassertiefen konzentriert. Bei

²² Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften (BNatSchGNeuregG). Deutscher Bundestag, Drucksache 14/7469 vom 14.11.2001.

²³ BMU, DEWI (Hrsg.): Offshore. Windenergienutzung und Umweltschutz. Integration von Klimaschutz, Naturschutz, Meeresschutz und zukunfts-fähiger Energieversorgung. Tagungsband, 14./15. Juni 2001.

²⁴ In der Novelle des Bundesnaturschutzgesetzes wird der Klimaschutz explizit als Ziel des Naturschutzes genannt: „Beeinträchtigungen des Klimas sind zu vermeiden; hierbei kommt dem Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung insbesondere durch zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien besondere Bedeutung zu.“ (BNatSchGNeuregG, Artikel 1, § 2)

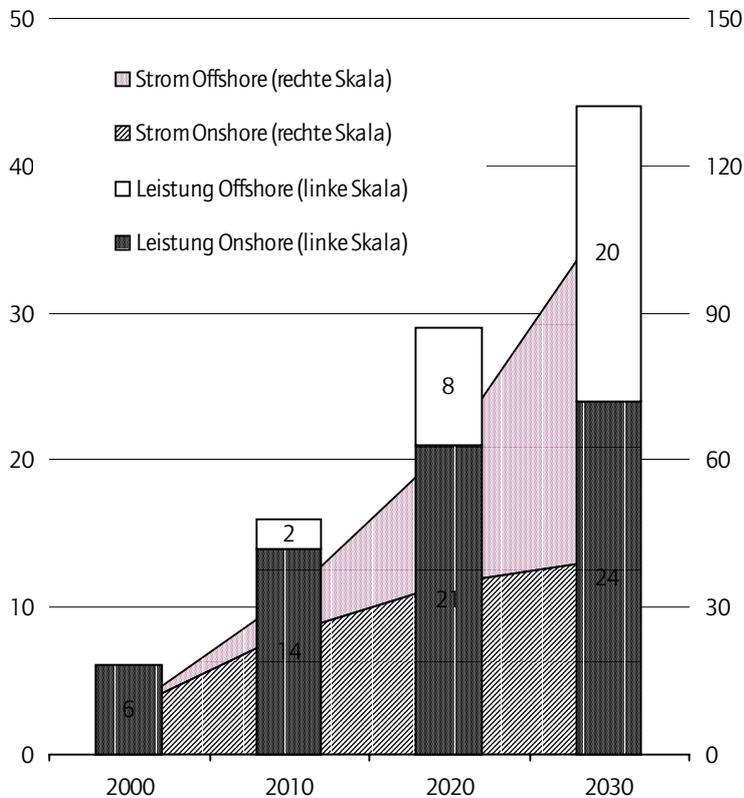
²⁵ Allein für Gebiete in der AWZ von Nord- und Ostsee lagen im Januar 2002 insgesamt 29 Windparkanträge mit einer Leistung von 6 500 MW in der ersten Baustufe und 63 100 MW im Endausbau vor; vgl. Strategiepapier der Bundesregierung vom Januar 2002.

Abbildung 6

Potential der Windenergie in Deutschland

Leistung in 1 000 Megawatt

Strom in Mrd. kWh pro Jahr



Quelle: Schätzungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2002

der Diskussion möglicher Konflikte der Nutzung von Wasserflächen für Windkraftanlagen mit Naturschutz, Tourismus und Schifffahrt geht es nicht zuletzt auch um ein politisches Abwägen solcher Be-

reiche mit anderen Zielen des Umwelt- und Klimaschutzes. Wenn eine großtechnische Windenergienutzung in Nord- und Ostsee erfolgen soll, müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen verbessert werden. Zu überprüfen sind auch die energiepolitischen Vorgaben für den Offshore-Bereich, wie die bisherige zeitliche Beschränkung der Sonderregelung im EEG.

Die künftigen Perspektiven der Offshore-Windenergie lassen sich gegenwärtig nur mit erheblichen Unsicherheiten einschätzen. Diese betreffen die Technik geeigneter Windkraftanlagen, der Fundamente und der Netzanbindung, den wirtschaftlichen Aufwand für Investition, Betrieb und Ersatz während der Lebensdauer, die unterschiedlichen ökologischen Auswirkungen der Errichtung und des Betriebs der Anlagen sowie die Windverhältnisse und Standortpotentiale auf dem Meer.

Windstrom aus Offshore-Anlagen wird auch längerfristig teurer sein als Windstrom von Anlagen auf windgünstigen Landflächen. Dies liegt vor allem an dem höheren Aufwand für Fundamente und Netzanbindung, aber auch an den hohen laufenden Kosten während des Anlagenbetriebs. Durch technische Entwicklung und Lerneffekte können diese Kosten gesenkt werden.

Für die Nutzung der Windenergie bestehen in Deutschland noch beträchtlich Potentiale. Diese lassen sich aber nur nutzen, wenn die Politik auch künftig der Nutzung von Windenergie einen hohen Stellenwert einräumt. Selbst in einem verhalten optimistischen Szenario könnten Windkraftanlagen an Land und auf See in Deutschland im Jahre 2030 insgesamt eine elektrische Energie von über 100 Mrd. kWh bzw. rund einem Fünftel des bisherigen Stromverbrauchs erzeugen.



Neuerscheinung aus den Veröffentlichungen des DIW Berlin

Internationale Entwicklungstendenzen nationaler Steuersysteme – von der direkten zur indirekten Besteuerung?

Seit den 80er Jahren gibt es in mehreren europäischen Ländern eine leichte Belastungsschiebung in Richtung der indirekten Besteuerung. Auch für Deutschland ist diese Tendenz zu beobachten.

Die Studie bietet einen Überblick über die Entwicklungstendenzen der Steuersysteme für ausgewählte OECD-Länder im Verlauf der letzten beiden Jahrzehnte. Die Entwicklung in diesem Zeitraum wird anhand diverser OECD-Statistiken illustriert. In Kapiteln für die einzelnen Länder werden die jeweilige Steuerpolitik nachgezeichnet sowie deren Konzepte und Motivationen herausgearbeitet. Ferner werden die theoretischen Diskussionen einbezogen sowie Hypothesen zu den Perspektiven künftiger Steuerpolitik formuliert.

Die Steuerreformen in den meisten Ländern waren vor allem darauf gerichtet, die direkte Besteuerung der Einkommen und Gewinne wirtschaftlich neutraler zu gestalten und die Leistungsanreize zu erhöhen. Eine Verminderung der Steuersätze und Verbreiterung der Bemessungsgrundlagen waren nahezu überall die Rezepte. Die Veränderungen im deutschen Steuer- und Abgabensystem in den letzten Jahren passen sich gut in dieses internationale Umfeld ein.

Eine systematische Aushöhlung oder ein Bedeutungsverlust der direkten Steuern ist im Vergleich der wichtigen Industrieländer nicht zu erkennen. Es gibt auch keine grundlegenden theoretischen oder empirischen Hinweise darauf, dass Veränderungen des Verhältnisses von direkter und indirekter Besteuerung nennenswerte Wirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung haben. Insgesamt spricht vieles dafür, dass auch künftig die direkten Steuern einen wichtigen Platz im Steuersystem einnehmen werden. Mehrwertsteuer oder Verbrauchsbesteuerung sind der Einkommensbesteuerung nicht grundsätzlich überlegen. Längerfristig sind jedoch weitere Anhebungen der Mineralölsteuer sowie eine höhere Umweltbesteuerung zu erwarten.

Sonderheft 172

Internationale Entwicklungstendenzen nationaler Steuersysteme – von der direkten zur indirekten Besteuerung? Von Stefan Bach, Wolfgang Scheremet, Bernhard Seidel, Dieter Teichmann. 270 S. 2001. (3-428-10718-7) Euro 74,- / sFr 128,-.

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr. Klaus F. Zimmermann (Präsident)
Dr. Gustav A. Horn
Dr. Kurt Hornschild
Wolfram Schrettl, Ph. D.
Dr. Bernhard Seidel
Prof. Dr. Gert G. Wagner
Dr. Hans-Joachim Ziesing

Redaktion

Kurt Geppert
Dörte Höppner
Jochen Schmidt
Dieter Teichmann

Pressestelle

Dörte Höppner
Tel. +49-30-897 89-249
presse@diw.de

Verlag

Verlag Duncker & Humblot GmbH
Carl-Heinrich-Becker-Weg 9
12165 Berlin
Tel. +49-30-790 00 60

Bezugspreis

Jahrgang Euro 108,- / sFR 182,-
Einzelnummer Euro 10,- / sFR 18,-
Zuzüglich Versandkosten
Abbestellungen von Abonnements
spätestens 6 Wochen vor Jahresende

ISSN 001 2-1304

Bestellung unter www.diw.de

Druck

Druckerei Conrad GmbH
Oranienburger Str. 172
13437 Berlin