

Informationspaket

Nutzung der Windenergie

5., erweiterte und vollständig überarbeitete Auflage

Siegfried Heier

LESEPROBE

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**

 **SOLARPRAXIS**

 **BINE**
Informationsdienst

Der BINE Informationsdienst bietet Kompetenz in neuen Energietechniken. Der intelligente Umgang mit knappen, wertvollen Energieressourcen, insbesondere in Gebäuden und der Gebäudetechnik, sowie die Nutzung erneuerbarer Energien sind die BINE-Kernthemen. Zu diesen Inhalten vereinen wir vielfältiges Know-how aus Forschung, Technik und Anwendung. Eine Übersicht über unser komplettes Produkt- und Dienstleistungsangebot finden Sie unter www.bine.info. Gerne senden wir Ihnen die Informationen auch zu.

BINE ist ein Informationsdienst von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Für weitere Fragen steht Ihnen zur Verfügung:

Uwe Milles (Redaktion)

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn

Kaiserstr. 185–197, 53113 Bonn

Tel.: 0228 / 92379-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Verlag: Solarpraxis AG

Zinnowitzer Straße 1, 10115 Berlin

Tel.: 030 / 726296300, E-Mail: verlag@solarpraxis.de, www.solarpraxis.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Inhalte dieses Werkes werden von Verlag, Herausgeber und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden. Gleiches gilt auch für Websites, auf die verwiesen wird. Es wird betont, dass wir keinerlei Einfluss auf die Inhalte und Formulierungen dieser Seiten haben und auch keine Verantwortung für sie übernehmen.

Grundsätzlich gelten die Wortlaute der Gesetzestexte und Richtlinien und die einschlägige Rechtsprechung.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-934595-63-7

© by FIZ Karlsruhe, 2007

Gestaltung: Solarpraxis AG

Titelfoto: GE Energy

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen vom Autor.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
1 Stand und Perspektiven der Windenergienutzung	7
1.1 Technik und Rahmenbedingungen in Deutschland	8
1.2 Stand der Technik von marktbeherrschenden Anlagen	10
1.3 Prototypen der 5-MW-Klasse	11
1.4 Anlagenmarkt	12
1.5 Windenergie und Stromnetze	13
1.6 Standorte	14
1.7 Wirtschaftliche Auswirkungen	16
1.8 Arbeitsplätze	17
1.9 Gute Gründe für die Windenergie	18
2 Windenergie international	20
2.1 Situation in Europa	20
2.2 Nordamerika	22
2.3 Südamerika	26
2.4 Asien	27
2.5 Afrika	30
2.6 Australien-Pazifik-Region	31
3 Der Wind – seit 3.000 Jahren im Dienste der Menschheit	33
3.1 Historische Anfänge der Windkraft	33
3.2 Pumpen und Mühlen im Mittelmeerraum und in angrenzenden Gebieten	34
3.3 Bock- und Holländerwindmühlen in Nordwesteuropa	37
3.4 Massenfertigung von „Westerrädern“	40
3.5 Begründung der Aerodynamik in der Windkrafttechnik	41
3.6 Neue Windkrafttechnologie	42
4 Meteorologische und physikalische Grundlagen	46
4.1 Bewegungsabläufe in der Erdatmosphäre	46
4.2 Gebiete zur Windenergienutzung	50
4.3 Energie aus dem Wind	53

5	Bauformen von Windkraftanlagen und Systemen am Markt	60	
5.1	Anlagen mit vertikaler Achse	60	
5.2	Anlagen mit horizontaler Achse	63	
5.3	Sonderbauformen	66	
5.4	Merkmale von Standardanlagen	68	
5.5	Anlagen am Markt	69	
6	Komponenten und Technik von marktgängigen Anlagen	72	
6.1	Turbine	72	
6.2	Triebstrangausführungen	78	
6.3	Generatorsysteme	79	
6.4	Maschinenhausausführungen	85	
6.5	Windrichtungsnachführung	87	
6.6	Turm	88	
6.7	Regelung und Betriebsführung	89	
6.8	Sicherheitssysteme und Überwachungseinrichtungen	97	
6.9	Betriebserfahrungen	100	
6.10	Entwicklungstendenzen	103	
4	7	Windparks	104
	7.1	Parkeffekte	104
	7.2	Parkausführungen	105
	8	Netzintegration	106
	8.1	Anforderungen der Netzbetreiber	106
	8.2	Netzeinwirkungen und Abhilfemaßnahmen	106
	8.3	On- und Offshore-Windparks	109
	8.4	Auswirkungen eines starken Windenergieausbaus	111
	9	Inselsysteme	113
	9.1	Besonderheiten von Inselsystemen	114
	9.2	Einsatz in Deutschland	114
	9.3	Einsatz in netzfernen Gebieten	115
	10	Planung, Ausbau und Repowering von Windkraftanlagen	118
	10.1	Standortfragen	118
	10.2	Planung und Bau von Anlagen	121
	10.3	Repowering	124

11	Betrieb von Windkraftanlagen	125
11.1	Organisationsmodelle	125
11.2	Kosten	126
12	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	130
12.1	Entwicklung und Trends der Einspeisevergütung	130
12.2	Stromgestehungskosten	131
12.3	Betriebswirtschaftliche Berechnungsmethoden	132
13	Ökobilanz	135
14	Windenergieforschung und -entwicklung	138
14.1	Grundlagen- und Anwendungsforschung	138
14.2	Neuentwicklungen und Großanlagen	140
15	Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis	144
15.1	Zitierte Literatur	144
15.2	Abbildungsverzeichnis	151
16	Forschungsvorhaben der Bundesregierung	152
16.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	152
16.2	Forschungsberichte	155
17	Weiterführende Literatur	157
17.1	Technik und Nutzung	157
17.2	Offshore-Nutzung	158
17.3	Marktübersichten	159
17.4	Datenbanken	159
17.5	BINE Informationsdienst	159
18	Zum Autor	160

Vorwort

Die Nutzung der Windenergie in Deutschland ist eine Erfolgsgeschichte. Die Strommenge, die eine Anlage 1990 in einem Jahr erzeugte, erbringt die durchschnittliche 2006er-Anlage an einem Tag. Im selben Zeitraum stieg der Beitrag der Windenergie zur Stromversorgung in Deutschland von einigen Promille auf 6,5 Prozent (%) im Jahr 2005 mit weiter steigender Tendenz. 1990 hat die Stahlindustrie die Windenergiefirmen als Kunden kaum wahrnehmen können, heute sind sie der zweitgrößte Stahlabnehmer nach der Automobilindustrie. Wollte man einmal alle direkten und indirekten Beschäftigten der deutschen Windenergiefirmen in Deutschland an einem Ort versammeln, dann hätte 1990 eine Turnhalle gereicht, während man heute ein großes Sportstadion füllen könnte. Aus den damaligen Start-up-Firmen ist eine mittelständische Industrie entstanden.

Windenergie ist Hightech. Die Entwicklung und Optimierung der Anlagen war und ist bis heute ein sehr forschungsintensiver Bereich, in dem sich die Bundesregierung mit der Energieforschung vielfach engagiert hat. Gefördert wurden nicht nur die Entwicklung innovativer Anlagen und Komponenten, sondern auch Grundlagen wie z. B. eine optimierte Netzintegration, die verbesserte Leistungsprognose, die Fehlerfrüherkennung, der Blitzschutz und die ökologische Begleitforschung. Grundlegende Erfahrungen hat auch das „250-MW-Wind-Programm“ erbracht, in dessen Rahmen Anlagen über Jahre auf Zuverlässigkeit, Langlebigkeit und Fehlerursachen beobachtet wurden. Auch das – durch die verschiedenen Gesetze zur Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen geschaffene – wirtschaftlich kalkulierbare Vergütungssystem hat den Windboom in Deutschland ermöglicht.

Windenergie wächst international. Immer mehr Länder intensivieren den Auf- und Ausbau der Windenergienutzung. Dieses bietet Chancen für Windenergiefirmen aus Deutschland. Bereits heute werden 60 % der nationalen deutschen Produktion exportiert. Diese internationale Entwicklung bestätigt auch, dass die Fördermittel der Energieforschung für die Windenergie gut angelegt waren. Windenergie ist auch eine Erfolgsgeschichte der Energieforschung.

Das BINE-Informationspaket „Nutzung der Windenergie“ zeichnet wichtige Stationen dieser Entwicklung nach. Das Hauptgewicht liegt auf der aktuellen Technik von Komponenten und Anlagen sowie deren Planung und Ausbau. Jeweils ein Kapitel beschäftigt sich mit der ökonomischen und ökologischen Bilanz der Windenergie. Abschließend werden aktuelle industrielle und öffentlich geförderte Forschungsaktivitäten vorgestellt.

1 Stand und Perspektiven der Windenergienutzung

Steigende Umweltbelastungen und zunehmend zu beobachtende Klimaveränderungen, die in hohem Maße durch Prozesse zur Energieumwandlung hervorgerufen werden, erfordern eine Reduzierung der größer werdenden umweltschädigenden Emissionen. Bei der Elektrizitätserzeugung lassen sich insbesondere durch die Nutzung erneuerbarer Energien nennenswerte Entlastungen erreichen. Dabei kommen, neben der weltweit genutzten Wasserkraft, den immensen Potenzialen der Sonnen- und Windenergie große Bedeutung zu. Ihre Angebote sind allerdings – stärker als die Wasserkraft – den zeitlichen Abläufen der Natur unterworfen [1]. Für ihre Nutzung notwendige Anlagen befinden sich in der Anfangsphase einer großtechnischen Anwendung. Um diese in einem Markt mit sehr hohem technischem Standard etablieren zu können, sind insbesondere für die umweltverträgliche Technik angemessene Entwicklungs- und Einführungszeiträume notwendig. Zum Ende des Jahres 2005 waren weltweit 60 Gigawatt (GW) installiert. In diesem Jahr wuchs der Wert um 10 GW (23%). Das Marktvolumen der Windkraftindustrie lag damit bei 10 Mrd. €. Etwa die Hälfte davon erwirtschaftete die deutsche Windindustrie (BWE, VDMA-Pressemitteilung am 17.01.2006).

Bei der Nutzung regenerativer Energien ist – neben der etablierten Wasserkraft – die Windenergie technisch am weitesten vorangeschritten und dem wirtschaftlichen Durchbruch am nächsten. Die Windenergie vermag aufgrund der vorhandenen Potenziale weltweit einen gewichtigen Anteil zur Elektrizitätserzeugung beizusteuern. In vielen Ländern der Erde übersteigen die technisch und wirtschaftlich nutzbaren Windenergiepotenziale den Elektrizitätsverbrauch bei Weitem. In Deutschland werden etwa 6,5% des Stromes aus Windkraftanlagen eingespeist [2]. Mitte 2003 hat der Anteil der Windenergie bei der Elektrizitätserzeugung in Deutschland die Beiträge der Wasserkraft überstiegen.

Im Folgenden werden die Technik und die Rahmenbedingungen in Deutschland umrissen. In Kapitel 2 folgen die Situation in Europa und weltweite Bestrebungen. Dazu sollen bereits hier einige begriffliche Festlegungen vorausgeschickt werden. Wasser-, Kohle-, Gas-, Öl- und Kernkraftwerke etc. stehen als feste Begriffe für Energieumwandlungsanlagen in der konventionellen Stromversorgungstechnik.

Um auch im Bereich der erneuerbaren Energien die Nomenklatur beizubehalten, sollen im Weiteren

- **Windkraftanlagen**
als Systeme für die Elektrizitätserzeugung stehen.
- **Windturbinen oder Windräder**
hingegen beschreiben die Umwandlung der Strömungsenergie der Luft in mechanische Rotationsenergie.
- **Windenergieanlagen,**
eine Bezeichnung, die in Normen, Richtlinien usw. angewandt und festgelegt ist, soll in den weiteren Ausführungen allgemeine Wandlungssysteme beschreiben, die mechanische (Mühlen), hydraulische (Pumpen) oder thermische (Wärme) und elektrische Energie (Strom) „erzeugen“ können.

1.1 Technik und Rahmenbedingungen in Deutschland

8

Wissenschaftlich fundierte und innovative Ansätze sowie großtechnische Pläne in der Windkrafttechnik haben in Deutschland große Tradition. Erste Ansätze zur Stromerzeugung mit Windkraftanlagen wurden bereits Anfang des letzten Jahrhunderts unternommen. Entscheidende Impulse gingen von theoretischen Erkenntnissen in den zwanziger Jahren aus. Bereits in den dreißiger und vierziger Jahren folgten großtechnische Pläne zur Stromerzeugung aus Windenergie. Neuartige technologische Ansätze wurden in den vierziger und fünfziger Jahren bei kleineren Einheiten erfolgreich umgesetzt. Bereits Anfang der 60er-Jahre sind diese Anstrengungen, insbesondere durch Niedrigstpreise konventioneller Energieträger, zunichtegemacht und Erfolg versprechende Entwicklungen wieder abgebrochen worden.

Ende der 70er-, Anfang der 80er-Jahre wurde die moderne Windkrafttechnologie erneut aufgegriffen. Dabei war die Entwicklung zunächst auf Großanlagen der Megawattklasse ausgerichtet. Dazu mussten Berechnungsgrundlagen entwickelt und Lastannahmen getroffen werden, um eine Technologie zu beherrschen, die z. B. die Dimension von Großflugzeugen bis heute bei Weitem übertrifft.

Im Schatten der Großprojekte entstanden Kleinanlagen mit hohem Innovationsgrad. Ihre Entwicklung führte – von Anlagen der 50-kW-Klasse Anfang der 80er-Jahre ausgehend – knapp zwei Jahrzehnte später zu serienreifen Konvertern der Leistungsgröße von 500 bis 2.500 kW. 3- bis 5-MW-Anlagen werden momentan noch in den Markt eingeführt (Abb. 1).

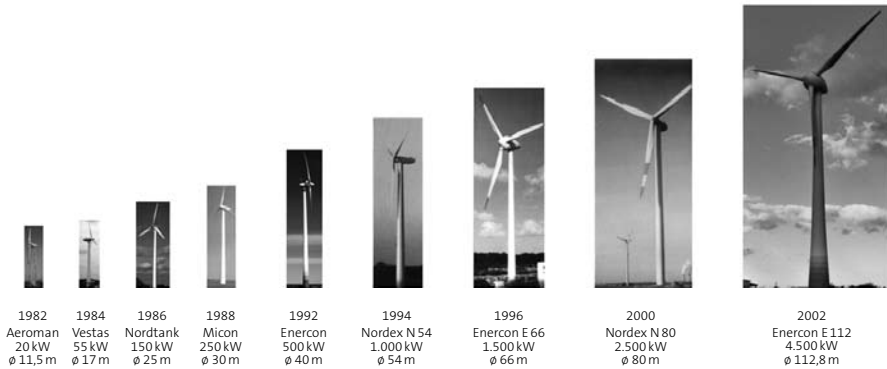


Abb. 1: 20 Jahre Entwicklung der Windkraftanlagentechnik

Bei der Entwicklung bis zur 2-MW-Klasse wurden erfolgreiche Konzepte und Innovationen von kleinen und mittleren Anlagen auf größere Einheiten übertragen. Dies führte zu einer stark verbesserten Zuverlässigkeit. Die technische Verfügbarkeit erreicht heute Durchschnittswerte von ca. 98%. Darüber hinaus konnte der wirtschaftliche Einsatz enorm gesteigert werden. Dadurch hat die Windenergie einen kaum für möglich gehaltenen Aufschwung genommen. Mit ca. 17.600 Anlagen sind in Deutschland etwa 18,5 GW Windkraftanlagenleistung installiert. Dies sind rechnerisch gut 75% der momentan aufgebauten Kernkraftwerksleistung. Dabei erreichen die Windkraftanlagen jährlich an Land im Durchschnitt etwa 2.000, an der Küste ca. 3.000 und auf See werden 4.000 Volllaststunden erwartet. Grundlastkraftwerke kommen auf 5.000 bis 7.000 Volllaststunden pro Jahr. Die Auslastung von Mittellastkraftwerken liegt bei ca. 4.000 Stunden und Spitzenlastkraftwerke bleiben meist unter 1.000 Stunden im Jahr.

Neben der Technologie der marktführenden Systeme und der Pilotanlagen bilden die Standortqualität und Netzeinspeisemöglichkeiten sowie der wirtschaftliche Erfolg die Basis für diese Entwicklung, auf die im Weiteren kurz eingegangen werden soll.

LESEPROBE

1.2 Stand der Technik von marktbeherrschenden Anlagen

In Deutschland ist momentan etwa die Hälfte der in Europa bzw. ein Drittel der weltweit installierten Windkraftanlagenleistung aufgebaut (Abb. 2). Die Basis dieses Erfolges konnte durch eine mehr als 20 Jahre dauernde, intensive technische Entwicklung geschaffen werden, der vor 15 Jahren die notwendigen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zum Durchbruch verholfen haben.

Dem Trend der letzten 20 Jahre folgend, lösten meist neue, größere Anlagen nach ihrer Markteinführung und Konsolidierung die Systeme der Vorgängergeneration nach und nach ab. Die Erkenntnisse und Innovationen bei der Weiterentwicklung der größeren Einheiten wurde jedoch vielfach auch zum „Re-Design“, d. h., zur Überarbeitung und Verbesserung kleinerer Anlagen genutzt.

Eine marktführende Position nehmen heute die Einheiten der 600-kW- bis 3-MW-Klasse ein. Die meisten der neu installierten Windkraftanlagen haben zwischen 60 und 90 m Turbinendurchmesser mit einer Nennleistung von 1 bis 3 MW. Sie nehmen nach [2] im Jahr 2005 einen Marktanteil von 98,4% ein. Diese Anlagen sind allerdings für einen Offshore-Einsatz noch zu klein.

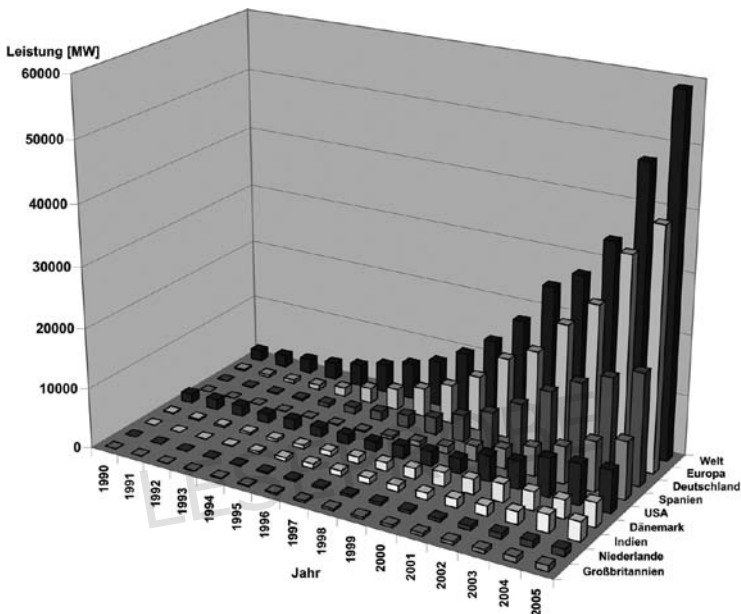


Abb. 2: Spitzenstellung Deutschlands bei der Windenergienutzung: weltweit, in Europa und in den wichtigsten Ländern installierte Windkraftanlagenleistung

Nach [2] speisen in Deutschland die Anlagen mit einer Leistung zwischen 1.500 und 3.100 kW, die zahlenmäßig mit 6.328 Windturbinen einen Anteil von 37,6% ausmachen, etwa zwei Drittel der aus Wind generierten elektrischen Energie in das Netz ein. In der Leistungsklasse der 310- bis 750-kW-Anlagen ist mit 5.847 Einheiten nahezu die gleiche Anzahl errichtet worden. In der „Königsklasse“ über 3.100 kW waren bis Anfang 2005 sieben Windkraftanlagen aufgebaut.

1.3 Prototypen der 5-MW-Klasse

Obwohl dänische Hersteller weltweit Marktführer waren, konnte in Deutschland bei einigen Anlagenproduzenten bereits schon weit unterhalb der MW-Klasse ein Trend zu technisch aufwändigen und innovativen Systemen beobachtet werden. Diese weisen u. a. Blatteinstellwinkelregelung und drehzahlvariables Turbinen-Generatorsystem mit einer Netzeinspeisung über Umrichter auf und führen zu einer wesentlichen Entlastung in den Komponenten – von den Rotorblättern bis zum Triebstrang. Diese ist für sehr große Anlagen von entscheidender Bedeutung, um insbesondere die Kräfte und Momente der Bauteile abzumindern und sicher beherrschen zu können.

Mit dem Windangebot in der Nordsee könnte der gesamte europäische Stromverbrauch etwa 4-fach abgedeckt werden. Mit den heute üblichen Anlagengrößen im 2-MW-Bereich ist dies allerdings wirtschaftlich nicht darstellbar. Deshalb ist die Entwicklung von Windkraftanlagen der 5-MW-Klasse, die zu großen Windparks zusammengeschlossen werden können, insbesondere durch die in Europa erwarteten Offshore-Perspektiven, angestoßen worden.

11

Aus den oben genannten Gründen spielt Deutschland eine Vorreiterrolle beim Bau von Großanlagen der 5-MW-Klasse. Diese wurden bisher nur hier hergestellt und aufgebaut. Dabei kamen drei verschiedenartige Generator- bzw. Anlagenkonzepte für die weltweit größten Turbinen zum Einsatz (vgl. Kap. 5.5). Ihre Generator- und Umrichtersysteme ermöglichen eine gezielte Führung der Turbinendrehzahlen, die zwischen ca. 7 und 15 Umdrehungen pro Minute variieren.

Mit den Anlagen der Multi-MW-Klasse konnte das Leistungsvermögen im Vergleich zu kleineren Systemen enorm gesteigert werden. Mit einer Einheit dieser Größe können etwa 15.000 Menschen mit Strom versorgt werden. Dadurch wird in Zukunft der Ersatz älterer, kleiner Anlagen durch neue Großturbinen, ein sogenanntes Repowering, besonders interessant, wenn die Umgebungsbedingungen dies erlauben. Somit kann einerseits das Landschaftsbild durch wenige, langsam drehende Großturbinen wesentlich beruhigt und der Energieertrag erheblich (z. B. um den Faktor 3) gesteigert werden.

1.4 Anlagenmarkt

Während der 80er- bis in die 90er-Jahre dominierten Windkraftanlagen nach dem sogenannten „Dänischen Konzept“ weitgehend den Markt, d.h. Turbinen mit Stallregelung, Getriebe und direkt an das Netz gekoppelte Asynchrongeneratoren. Nach wie vor dominieren heute noch Konzepte mit Getrieben. Mit zunehmender Anlagenleistung setzt sich jedoch ein deutlicher Trend zur Blatteinstellwinkelregelung in Kombination mit drehzahlvariablem Triebstrang fort. Die Netzankopplung erfolgt bei diesen Einheiten über Umrichtersysteme.

In der Klasse über 80 m Turbinendurchmesser sind 63 % der aufgestellten Anlagen mit Blatteinstellwinkelregelung und variabler Drehzahl [2] sowie 37 % mit Aktive-Stall-Regelung ausgeführt. Auch in der darunterliegenden Größenklasse ist der Trend zur blatteinstellwinkelgeregelten Turbine mit variabler Drehzahl erkennbar. Getriebelose Konzepte werden bisher weitgehend nur von einem Hersteller (Enercon) vertreten. Dieser konnte allerdings die größten Marktanteile in Deutschland erringen. Abb. 3 und 4 verdeutlichen die marktführende Position von Enercon vor Vestas. Mit wesentlich kleineren Anteilen folgen GE Energy (ehemals Tacke), Nordex, Siemens Wind Power, REpower Systems, DeWind, Fuhrländer und Gamesa. 2005 lieferten deutsche Hersteller etwa die Hälfte der rund um den Globus neu installierten Windkraftanlagen und erwirtschafteten etwa 5 Mrd. Euro.

12

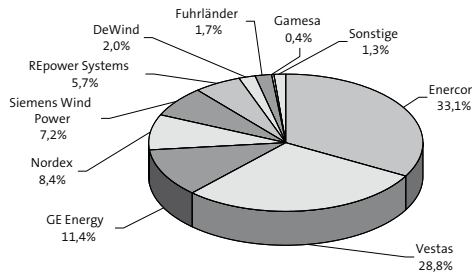


Abb. 3: Anteile der Anbieter an der gesamten in Deutschland installierten Windkraftanlagenleistung seit 1982, in % (DEWI – 8/2006 [2])

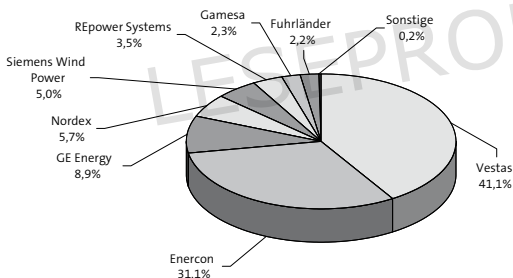


Abb. 4: Anteil der Anbieter an der gesamten im ersten Halbjahr 2006 in Deutschland installierten Windkraftanlagenleistung, in % (DEWI [2])

1.5 Windenergie und Stromnetze

Grundlage des Erfolges der Windenergie in Deutschland war das 1991 eingeführte Stromeinspeisegesetz, das die Pflicht zum Netzanschluss erneuerbarer Energien und z. B. bei Windenergie eine Einspeisevergütung von 90 % des Durchschnittstarifs der Endverbraucher festlegte. Dieses wurde im Jahr 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst. Mit der Novellierung des EEG wurde 2004 die zukünftige Vergütung der eingespeisten Energie aus Windkraftanlagen fortgeschrieben. Die hier gesetzlich geregelten Einspeisetarife erschweren allerdings eine Erschließung windschwacher Binnenland-Standorte. Durch diese Regularien und aufgrund der zunehmenden Erschließung windhöffiger Küsten-Standorte ist mit weiterhin sinkenden Aufstellungszahlen zu rechnen. Die Entwicklung in den Jahren 2004/2005 belegt dies.

Die bisherigen Übertragungs- und Verteilungsnetze sind auf traditionelle Kraftwerkeinspeisungen und Verbraucheranforderungen ausgerichtet. Die Einspeisung der Windenergie kann daher nur bis zu einem gewissen Grad in die vorhandenen Netze erfolgen. Um die angestrebten Ausbauziele von heute 18 GW auf etwa 25 GW im On- und ca. 25 GW im Offshore-Bereich etwa 2025 erreichen zu können, wird deshalb ein Netzausbau erforderlich werden. Dabei müssen die hierzu notwendigen, überaus langen Planungs- und Genehmigungsphasen zur Umsetzung berücksichtigt werden. Mit dieser Windenergieeinspeisung sollen ca. 10 % des Stromes an Land und etwa 15 % auf See erzeugt werden.

Erstmalig haben sich 2004 sowohl die Windenergieverbände als auch die Netzbetreiber unter Federführung der Deutschen Energie-Agentur (dena) zur Durchführung einer umfangreichen Netzstudie entschlossen. Hierbei wurden insbesondere die Auswirkungen eines weiteren Ausbaus der Windkraft unter Berücksichtigung der geplanten Offshore-Windparks und der hierfür erforderliche Netzausbau untersucht. Darüber hinaus werden in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben die Möglichkeiten und Betriebsführungs- sowie Regelungsstrategien zur Zusammenführung und Übertragung der elektrischen Energie aus Offshore-Windparks sowie die Einkopplung in bestehende und neu aufzubauende Netze an Land eingehend betrachtet.

Die Netzanbindung von Windkraftanlagen wurde bisher durch die Netzanschlussregeln so gestaltet, dass bei Netzunregelmäßigkeiten (z. B. Frequenz- oder Spannungsschwankungen) ein sofortiges Trennen der Anlagen vom Netz verlangt worden war. Aufgrund der hohen Installationszahlen wurde diese Forderung geändert, um bei Netzfehlern großräumige Netzausfälle zu vermeiden. Heute wird verlangt, dass neu installierte Windkraftanlagen kurze Netzausfälle im Sekundenbereich überbrücken

und dadurch die Netze stützen müssen. Anlagen mit starr am Netz geführten Generatoren und Leistungsbegrenzung über aerodynamischen Stall-Betrieb haben somit bei einem weiteren Windenergieausbau in Deutschland keine Zukunftsperspektiven mehr.

1.6 Standorte

Die regionale Verteilung der Windenergienutzung in Deutschland ist in Abb. 5 wiedergegeben. Danach hat Niedersachsen mit 4.510 Windkraftanlagen (WKA) bzw. 4.907 MW WKA-Leistung die meisten Einheiten und die größte Leistung installiert. Die durchschnittliche Leistung pro Windturbine beträgt 1.088 kW/WEA. Mit nur 2.033 Windkraftanlagen nimmt Brandenburg mit 2.620 MW installierter Leistung Platz zwei in Deutschland ein. Die durchschnittliche Anlagengröße beträgt hier nahezu 1.289 kW.

Schleswig-Holstein und das bevölkerungsreichste Bundesland Nordrhein-Westfalen folgen auf Platz 3 und 4. Sie haben mit 2.740 bzw. 2.393 Windkraftanlagen 2.275 bzw. 2.225 MW etwa die gleiche Windkraftanlagenleistung installiert.

Sachsen-Anhalt hat mit 1.648 Anlagen enorme 2.193 MW Windkraftanlagenleistung den fünfgrößten Anteil in Deutschland aufgebaut. Hier erreicht die mittlere Anlagenleistung mit 1.331 kW den höchsten Wert. In Bezug auf die installierte Windkraftleistung folgen Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Hessen und Thüringen sowie die wenig windbegünstigten süddeutschen Länder Baden-Württemberg und Bayern, das kleinste Flächenland Saarland sowie die Stadtstaaten Bremen und Hamburg.

Neben der installierten Windkraftanlagenleistung nehmen die Energieerträge bzw. die Jahresenergieeinspeisungen im Verhältnis zum Stromverbrauch eine bedeutende Rolle ein. Abb. 6 zeigt den Nettostromverbrauch (im Jahr 2005), den potenziellen Jahresenergieertrag aus den Windkraftanlagen sowie dessen prozentualen Anteil am Elektrizitätsverbrauch in den einzelnen Bundesländern und in Deutschland. Dabei wird der Jahresenergieertrag auf der Basis der installierten Leistung zum 30.06.2006 bei einem 100% Windjahr (Basis IWET V03) berechnet.

LESEPROBE

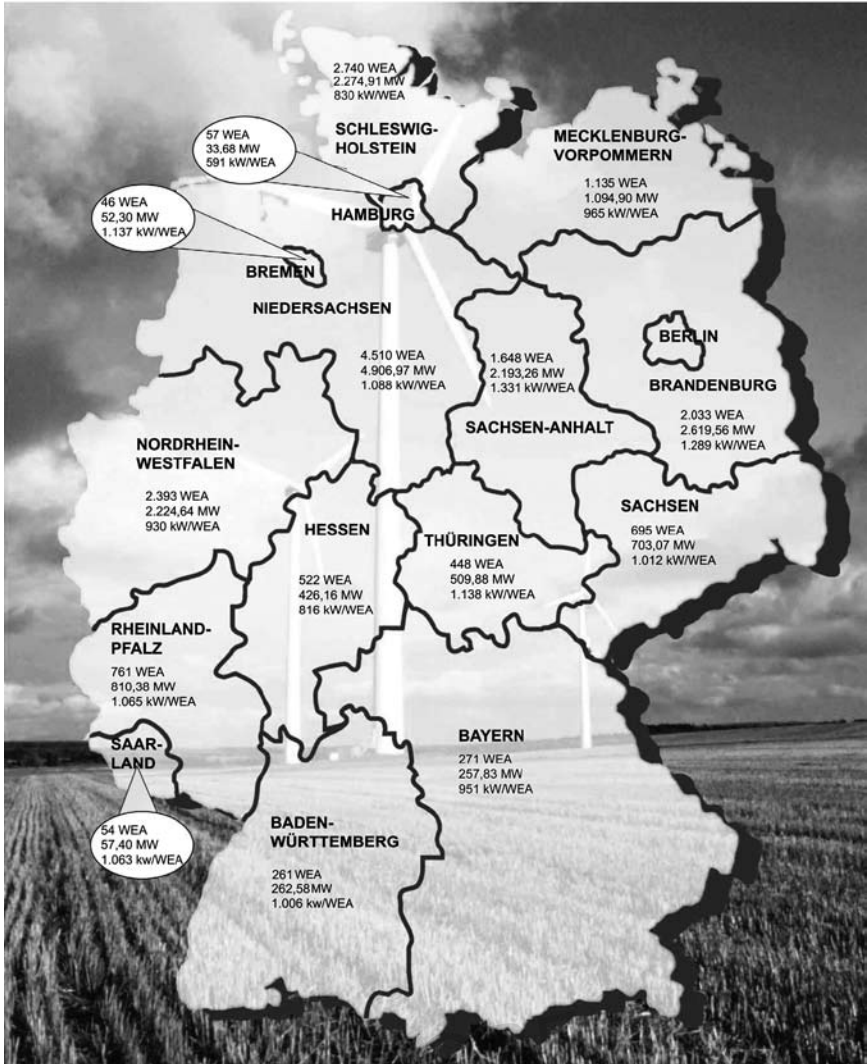


Abb. 5: Regionale Verteilung der Windenergienutzung in Deutschland [3]

Bundesland <i>Federal State</i>	Installierte Leistung bis 30.06.2006 <i>Installed Capacity until 30.06.2006</i> MW	Potenzieller Jahres- energieertrag <i>Potential Annual Energy Yield</i> GWh	Nettostrom- verbrauch 2005 [3] <i>Energy Consump- tion 2005 [3]</i> GWh	Anteil am Netto- stromverbrauch <i>Share on the Energy Consumption</i> %
Sachsen-Anhalt	2.282,71	4.574	13.078	34,98
Schleswig-Holstein	2.289,76	4.733	13.636	34,71
Mecklenburg-Vorpommern	1.119,40	2.049	6.509	31,48
Brandenburg	2.863,46	4.913	18.426	26,66
Niedersachsen	5.089,17	9.612	50.679	18,97
Thüringen	565,88	1.033	10.983	9,41
Sachsen	724,22	1.258	18.788	6,70
Rheinland-Pfalz	882,78	1.453	26.714	5,44
Nordrhein-Westfalen	2.317,24	4.079	130.455	3,13
Hessen	440,96	694	37.314	1,86
Bremen	52,30	93	5.542	1,68
Saarland	57,40	100	7.729	1,29
Bayern	308,33	431	74.727	0,58
Hamburg	33,68	59	14.488	0,40
Baden-Württemberg	272,18	312	77.351	0,40
Berlin	0,00	0	13.381	0,00
Gesamte Bundesrepublik <i>Total Germany</i>	19.299,47	35.393	519.800	6,81

Abb. 6: Nettostromverbrauch, potenzieller Jahresenergieertrag aus Windkraftanlagen und dessen Anteil am Nettostromverbrauch in den einzelnen Bundesländern und in Deutschland (DEWI [2])

Abb. 6 verdeutlicht die Spitzenstellung von Sachsen-Anhalt beim Windenergieanteil am Nettostromverbrauch von 35%. Es folgen Schleswig-Holstein (34,7%), Mecklenburg-Vorpommern (31,5%), Brandenburg (26,7%) und Niedersachsen (19%). Diese Darstellung zeigt weiterhin, dass Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen (NRW) vergleichbare Windenergieerträge aufweisen. Beim direkten Vergleich sind dies jedoch in dem neuen Bundesland ein Drittel, in dem deutschen Industriezentrum NRW nur 3% des Nettostromverbrauchs.

1.7 Wirtschaftliche Auswirkungen

Die Elektrizitätsversorgung wird momentan mit ca. 60% von fossilen und mit etwa 30% von nuklearen Energieträgern dominiert. Der Anteil der erneuerbaren Energien hat sich in den letzten Jahren durch die Windenergiesteigerungen von etwa 5% auf ca. 10% mehr als verdoppelt. Mit längerfristigen Perspektiven der Windenergie, die in der Größenordnung der momentanen Kernenergieanteile zu erwarten sind, wird die weitere Entwicklung der Windenergiekosten die Stromversorgung zunehmend beeinflussen. Entscheidende Faktoren sind dabei die Investitions- und die Betriebskosten sowie ihr Verhältnis zu den Energieerträgen bzw. die weiteren Kostendegressionen.

Eine Basis für die Kostenentwicklung stellen sogenannte Lernkurven dar [4]. Bei ihnen kommt der Effekt zum Ausdruck, wie mit zunehmender Anzahl von produzierten und betriebenen Anlagen die relativen Herstellungs- sowie die Energieerzeugungskosten zu Preisveränderungen führen. Dabei werden auch Inflationseinflüsse berücksichtigt.

Daraus folgt eine Reduzierung der Stromerzeugungskosten. Diese müssen allerdings unter dem Wert der Vergütung liegen, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen.

Abb. 7 zeigt, dass aufgrund der Vergütungsdegression von Windkraftanlagen und dem Anstieg der Erzeugungs- und Bezugskosten ab dem Jahr 2015 die Windenergie günstiger als konventionelle Stromerzeugung sein wird.

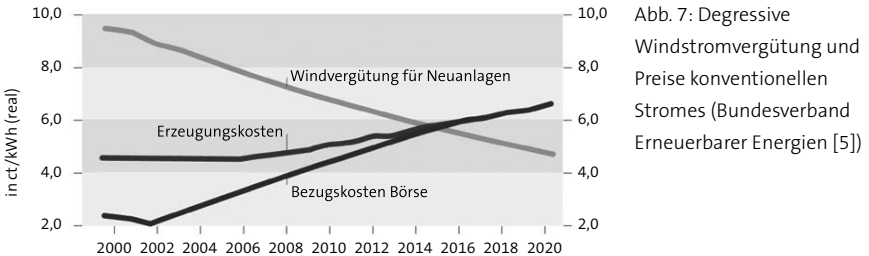


Abb. 7: Degressive Windstromvergütung und Preise konventionellen Stromes (Bundesverband Erneuerbarer Energien [5])

1.8 Arbeitsplätze

Die Windenergienutzung ist in Deutschland nach dem Boom der letzten 15 Jahre in eine Konsolidierungsphase eingetreten. Diese hat bereits ein Ausmaß erreicht, das sich grundlegend sowohl auf die Wirtschaft als auch auf den Arbeitsmarkt auswirkt. So hat sich die Windenergieindustrie inzwischen nach den Automobilherstellern zum zweitgrößten Stahlabnehmer in Deutschland entwickelt. Damit sind insgesamt etwa 70.000 Beschäftigte im Windbereich tätig. Davon arbeiten ca. 60.000 direkt oder indirekt in der Produktion. Mehr als 10.000 sind in der Planung, im Betrieb und der Wartung der Anlagen tätig [6].

Besonders die klassischen Branchen der Elektroindustrie sowie der Anlagen- und Maschinenbau konnten neue Aufgabenfelder erschließen. Diese liegen in der Herstellung von Getrieben, Generatoren sowie von Steuerungs- und Regelungstechnik. Zudem sind neue Arbeitsbereiche im Turmbau, der Rotorblatffertigung etc. entstanden. Neue Ausbildungs- und Dienstleistungsbereiche, z.B. für Service und Planung, wurden ebenfalls notwendig.

Die Arbeitsplatzeffekte im Bereich der Windenergienutzung sind – wie bei allen erneuerbaren Energien – wesentlich höher als in der konventionellen Energietechnik. Im Vergleich zur Stromerzeugung aus Kohle sind etwa 4-mal mehr Arbeitskräfte erforderlich, um die gleiche Energieproduktion zu erzeugen. Im Verhältnis zum Strom aus Kernenergie kann sogar mit ca. dem 10-fachen Faktor gerechnet werden.

Der gravierende Unterschied bei den Arbeitsplatzauswirkungen kann auf verschiedene Rahmenbedingungen und Effekte zurückgeführt werden. Im Vergleich zu Großkraftwerksanlagen mit GW-Systemen bilden Windkraftanlagen auch im MW-Bereich nur sehr kleine Einheiten, die relativ große Abmessungen aufweisen. Diese sind notwendig, um die verhältnismäßig kleine Energiedichte des Windes nutzen zu können. Daher ist der Bau- und Betriebsaufwand für diese Anlagen hoch und arbeitsintensiv.

Der Energieträger „Wind“ steht jedoch kostenlos zur Verfügung. Dadurch entfallen die hohen Kosten für Energieimporte (Öl, Gas, Kohle, Kernenergie), die bei konventionellen Versorgungen notwendig sind. Die Wertschöpfung erfolgt direkt am Aufstellungsort der Windkraftanlagen und Arbeitsplätze entstehen zusätzlich. Da gute Windstandorte meist in strukturschwachen Gebieten Deutschlands an der Küste und im Binnenland anzutreffen sind, bieten sich hier gute berufliche Perspektiven. Es wird erwartet, dass diese Arbeitsplätze dauerhaft gesichert werden können.

1.9 Gute Gründe für die Windenergie

In den letzten Jahren war festzustellen, dass einige betroffene Bürger bzw. aktive Verbände die Installation und den Betrieb von Windkraftanlagen als störend empfinden. Die Hauptargumente sind Eingriffe in das Landschaftsbild, Schattenwurf bei tief stehender Sonne und Lärmerzeugung. In zunehmendem Maße spielt dabei auch die Tag- und Nachtkennzeichnung der Anlagen eine Rolle; 2004 wurde erstmals für alle Bundesländer einheitlich eine Richtlinie zur Kennzeichnung von Windkraftanlagen vom Bundesrat verabschiedet.

Die oben genannten Kritikpunkte gegen die Windenergienutzung gehen vielfach auf alt hergebrachte Vorurteile und Überlieferungen aus Fehlern bzw. falschen Einschätzungen in den Anfangsjahren der Entwicklung zurück. Intensivste Anstrengungen machten es möglich, diese Technologie innerhalb weniger Jahre von den „Kinderkrankheiten“ zu befreien und an den überaus hohen Standard der elektrischen Energieversorgung heranzuführen. Heute ist die Windkrafttechnik in vielen Bereichen wie der Umrichtertechnik etc. technologischer Motor und Schrittmacher. Langfristig überwiegen die positiven Aspekte einer Windenergienutzung bei Weitem.

LESEPROBE

11 gute Gründe für die Windenergie

1. Die weltweiten Vorräte an Öl, Gas und Uran sind in etwa 50 Jahren erschöpft, die Reichweite der Kohle beträgt ca. 200 Jahre. Derzeitige Fördermengen sind darüber hinaus nicht beliebig steigerbar. Erneuerbare Energien sind dagegen unerschöpflich.
2. Die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas setzt Kohlendioxid, Staub und andere Schadstoffe in der Atmosphäre frei, belastet damit die Umwelt und beeinflusst das Klima. Vermehrt auftretende Wetterkatastrophen sind die Folge. Die Entsorgung nuklearer Reststoffe aus Kernkraftwerken ist noch nicht gelöst. Die Herstellung, der Aufbau, der Betrieb und das Recycling von Windkraftanlagen haben sich dagegen zu einer eingrenzbaeren und sicheren Technologie entwickelt.
3. Bei der „Verstromung“ von Braunkohle werden 2- bis 3-fach größere Flächen benötigt und total verändert, als für die gleiche Elektrizitätsmenge pro Jahr aus 3- bis 5-MW-Windenergieanlagen erforderlich wäre. Dabei würden bei Windturbinen nur etwa 10 % der Fläche für Anlagen, Zuwege und Infrastruktur belegt. Der Rest kann weiterhin z. B. landwirtschaftlich genutzt werden.
4. Allein die Sonnenstrahlung auf die Erde übertrifft den momentanen Energiebedarf etwa 15.000-fach. Wasser- und Windkraft sind Teil dieser Energie. Sie haben große Tradition in unseren Kulturlandschaften.
5. Eine 1,5-MW-Windkraftanlage versorgt rund 1.000 Haushalte mit Elektrizität. Bis 2020 lassen sich in Deutschland mit dem Einsatz moderner Turbinentechnologie an Land knapp 10 % und im Meer gut 15 %, also zusammen etwa ein Viertel des Strombedarfs, decken.
6. Windkraftanlagen benötigen zur Gewinnung der für ihre Produktion und Entsorgung erforderlichen Energie etwa 3 bis 8 Monate, d. h., sie „ernten“ etwa 25- bis 100-fach mehr Energie, als für ihre Herstellung etc. notwendig ist.
7. Elektrizität aus Windenergie trägt erheblich zu der von der Bundesregierung angestrebten Kohlendioxid-(CO₂)-Reduzierung bei. Bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern werden hingegen je Kilowattstunde (kWh) 2 bis 3 kWh Primärenergie verbraucht.
8. Windkraftanlagen wurden bisher hauptsächlich von Privatpersonen installiert und betrieben. Dadurch und aufgrund der hohen Zukunftserwartungen ist die Akzeptanz in der Bevölkerung überwiegend positiv.
9. Durch die Windenergie sind in der Hersteller- und Zulieferindustrie etwa 70.000 Arbeitsplätze entstanden. Die Arbeitsplatzeffekte sind im Vergleich zum Kohlestrom etwa 4-fach und im Vergleich zum Atomstrom ca. 10-mal höher.
10. Fossile und nukleare Energieversorgungen basieren auf Importen. Bei der Windenergie nimmt hingegen die regionale Wertschöpfung einen hohen Stellenwert ein. Dadurch ergeben sich insbesondere für den ländlichen Bereich neue zukunftsträchtige Perspektiven. Landwirte werden zu Energiewirten.
11. Deutsche Windkrafttechnologie hat am Weltmarkt einen Spitzenplatz erreicht. Um diesen behaupten zu können, müssen einerseits der Industrie und andererseits den Betreibern die erforderlichen Rahmenbedingungen gegeben werden, um große Exportmärkte erschließen zu können.

2 Windenergie international

Der Ausbau und die Nutzung der Windenergie, ihre Vergütungs- und Förderstrategien sowie ihre Entwicklungsmöglichkeiten sollen für Europa und die wichtigsten Länder der bevölkerten Kontinente Amerika, Asien und Australien im Folgenden ausgeführt werden. Unbevölkerte Arktis- bzw. Antarktis-Bereiche, die zwar hohe Windenergiepotenziale aufweisen, momentan allerdings kaum Nutzungsmöglichkeiten bieten, sollen außer Acht gelassen werden. Die europäischen und weltweiten Betrachtungen erschöpfend auszuführen, würde den Rahmen dieses Kapitels bei Weitem sprengen. Eingehende Darstellungen sind in [7] und weiteren Literaturangaben in diesem Kapitel wiedergegeben.

2.1 Situation in Europa

Der Anlagenmarkt wird europaweit von den dänischen und deutschen Herstellern dominiert. Deutsche bestimmen allerdings klar die Großanlagentechnik. Produkte aus den Traditionsländern der Windmühlen, Niederlande und Großbritannien, konnten sich trotz großer Anstrengungen nicht am Markt etablieren. Auch spanischen Eigenentwicklungen gelang dies nicht. Allerdings hat ein spanischer Hersteller über Lizenzverträge mit dem dänischen Weltmarktführer in den letzten Jahren große Marktanteile in Europa erringen können. Andere europäische Länder konnten nur nationale bzw. singuläre Erfolge erringen und blieben im Schatten der Marktführer weit zurück.

• Nationale Vergütungs- und Förderstrategien

Die Einspeisevergütung für Windenergie basiert in Europa im Wesentlichen auf drei Modellen, die sich in ihrem Erfolg grundlegend unterscheiden. Da der „deutsche Weg“ bei der Einführung der Windenergie den größten Erfolg erzielt hat, folgen immer mehr Staaten diesem Beispiel. In den weiteren Ausführungen sollen die hauptsächlich angewandten Möglichkeiten zur Vergütung kurz dargestellt werden.

• **Renewable Energy Feed in Tariffs (REFIT)** schreiben Netzbetreibern vor, dass sie die Produzenten von Ökostrom bei ihrer Einspeisung mit einem festgesetzten Mindestpreis pro kWh entschädigen müssen. In Deutschland und Dänemark war diese sogenannte Mindestpreisregelung die Basis für die Windenergieerfolge in den 90er-Jahren. Spanien, Österreich und Italien folgten. In diesen Ländern sind demzufolge auch die 24 großen Windturbinenhersteller angesiedelt. Dänemark hat allerdings seit dem Regierungswechsel 2001 diese Regelung geändert und damit die Installationsraten im Land 2004 weitgehend zum Erliegen gebracht.

- Beim **Ausschreibungssystem** reichen Stromanbieter im freien Wettbewerb ihren Strompreis bei einer staatlichen Stelle ein. Den günstigsten Anbietern wird vom Staat ein festes Kontingent zur Stromerzeugung durch Windenergie gegeben. In Ländern wie Großbritannien, Irland und Frankreich (ist nach Redaktionsschluss zu REFIT übergegangen), die sich durch besonders hohe Windenergiepotenziale auszeichnen, scheint die Windenergieentwicklung durch dieses System allerdings gebremst zu werden. In diesen Ländern sind bis heute nur etwa 500 MW Windkraft installiert und lediglich zwei nennenswerte Hersteller anzutreffen. Hintergrund ist, dass sich nur finanzstarke Großkonzerne ein Engagement unter diesen Bedingungen leisten könnten. Mit einer langfristige angelegten Strategie lassen sich dann allerdings Markt und Preise beherrschen.

- **Green Certificates** verpflichten Energieversorgungsunternehmen, einen bestimmten Prozentsatz ihres Stromangebotes aus erneuerbaren Energien zu beziehen und durch grüne Zertifikate zu belegen. Der Prozentsatz ist variabel angesetzt. Er wird in vorgegebenen Perioden festgelegt und kann auf dem freien Markt gehandelt werden. Dieses System wird lediglich in den Niederlanden angewandt. Andere Länder diskutieren bzw. erproben ähnliche Regelungen.

- **Ausbauzustand und Entwicklungsrahmen in Europa**

Die Unterschiede in der Gesetzgebung und der Förderung zur Einführung der erneuerbaren Energien haben in Europa zu großen Unterschieden bei der Nutzung der Windenergie geführt. Die Länder an der Spitze sind Deutschland, Spanien und Dänemark. Die Niederlande, Großbritannien, Italien, Österreich und Portugal folgen.

Die installierte Windkraftanlagenleistung steigt in Europa jährlich um etwa 6 GW. Sie erreichte Ende 2005 ca. 40 GW [8]. Davon sind nahezu die Hälfte in Deutschland (18 GW) und ein Viertel in Spanien (10 GW) aufgebaut. Dänemark deckt mit knapp 3,2 GW Windanlagenleistung über 30% seines Strombedarfs. Österreich, das auf große Wasserkrafttradition in der Elektrizitätsversorgung verweisen kann, kommt mit nahezu 0,9 GW Windkraft auf etwa den halben Stromanteil (3%) von Deutschland.

In den nächsten Jahren muss mit starken Veränderungen bei der Versorgungssicherheit und den Brennstoffpreisen auf dem Energiemarkt in Europa gerechnet werden. Weiterhin kristallisieren sich klimatische Veränderungen und damit verbundene Folgeprobleme, die es für Europa und seine Mitgliedsstaaten zu lösen gilt, als eines der Kernthemen heraus. Bei stagnierendem ökonomischem Wachstum und rückläufigen Beschäftigungszahlen im Produktionsbereich wird sich europa- und weltweit ein zunehmend stärkerer globaler Wettbewerb entwickeln, der sich auch auf den Energiesektor auswirken wird. Diesen zukunftsfähig bzw. nachhaltig zu gestalten wird eine der wichtigsten Aufgaben der kommenden Jahre sein.

• Ziele der Europäischen Union (EU)

Die Windenergie-Ausbauziele in der EU wurden in den letzten Jahren immer wieder nach oben korrigiert. 1991 hielten Optimisten eine installierte Anlagenleistung von 25 GW bis zum Jahr 2010 für realisierbar. Bereits 1997 wurde die Zielgröße auf 40 GW, 2001 auf 60 GW und schon 2003 auf 75 GW korrigiert. Momentane Prognosen kommen für 2010 sogar auf 100 GW und für 2020 auf 230 GW Windanlagenleistung [9]. Diese beruhen auf Analysen der Technologieentwicklung der Windenergieindustrie, den Rahmenbedingungen bei der Förderung sowie dem anhaltenden politischen Willen auf lokaler, regionaler und globaler Ebene zur großtechnischen Nutzung der Windenergie. Europaweit würden damit 22 % des Stromes aus erneuerbaren Energien abgedeckt.

2.2 Nordamerika

Die folgenden Ausführungen über Nordamerika konzentrieren sich hauptsächlich auf die Vereinigten Staaten von Amerika (USA). Dabei fällt besonders Kalifornien die Vorreiterrolle zu. Weiterhin werden Besonderheiten anderer Bundesstaaten hervorgehoben. Kanada soll abschließend kurz Erwähnung finden.

22

• Vereinigte Staaten von Amerika

Das „Battelle Pacific Northwest Laboratory“ begann Ende der 70er-Jahre mit Unterstützung der Energiebehörde, das Windenergiepotenzial der USA zu ermitteln. Erste Ergebnisse wurden bereits 1981 veröffentlicht. Unter Berücksichtigung eines Klassifizierungssystems und Bereichen mit Konfliktpotenzial berechnete das „National Renewable Energy Laboratory“ (NREL) einen Windenergieertrag von 700 Terrawattstunden pro Jahr (TWh/a) aus mehr als 300 GW Anlagenleistung. Dies entspricht etwa 27 % des Strombedarfs bzw. 10 % des Gesamtenergieverbrauchs [10]. Momentan sind landesweit 16.800 Windkraftanlagen mit 6,6 GW Nennleistung installiert, die über 13 TWh Jahresenergieertrag liefern.

Anfang der 80er-Jahre setzte in den USA ein Windenergieboom ein, der in Kalifornien besonders stark ausgeprägt war. Ein kontinuierlicher Aufbau der Windenergienutzung konnte sich daraus jedoch nicht entwickeln, da eine stabile Gesetzgebung nicht vorhanden war.

Zwischen den einzelnen Bundesstaaten bestehen große Unterschiede in klimatischer und meteorologischer Hinsicht einerseits sowie in politischen Zielsetzungen andererseits. Somit konnte sich eine Anwendung der Windenergie auch nicht bundesweit gleichmäßig entwickeln. Grundsätzlich hat sich die Windenergienutzung auf den westlichen Teil konzentriert. Nachfolgend werden somit neben Kalifornien, Hawaii und Alaska auch die Bundesstaaten im mittleren und nördlichen Westen sowie Texas

und New Mexico im Süden kurz betrachtet. Der „Production Tax Credit“ (PTC) ist bundesweit geregelt und sieht 1,5 Dollar-Cent pro kWh vor. Dieser wurde 1992 eingeführt und ist seitdem bereits 3-mal ausgelaufen [8].

Kalifornien

Energieengpässe machten Anfang der 80er-Jahre im wirtschaftlich boomenden Kalifornien einen Ausbau der Stromversorgung notwendig. Große Umweltprobleme in den Ballungszentren, die unter anderem in Verbindung mit der Energieversorgung bereits bestanden, ermöglichten keinen weiteren Zubau von fossil befeuerten Kraftwerken. Kernkraftwerke konnten in der Erdbebenregion am San Andreas Graben ebenfalls keine Abhilfe schaffen. Erneuerbare Energien sollten daher Vorrang erhalten. Dazu wurden entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen. Sie umfassten sowohl bevorzugte Netzeinspeisebedingungen als auch hohe Abschreibungsmöglichkeiten bei Investitionen in erneuerbare Energiesysteme (Tax Credits). Dies führte Anfang bis Mitte der 80er-Jahre zu einem enormen Aufschwung in der Windenergie. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten waren anfangs im Wesentlichen nur Anlagen der 50-kW-Klasse einsetzbar (Abb. 8). Ihre Weiterentwicklung zu seriengefertigten Einheiten größerer Leistung (Abb. 9) mit höherer Verfügbarkeit nahm eine stürmische Entwicklung.

Durch gesetzliche Änderungen kam es jedoch für den neu geschaffenen Absatzmarkt bereits Mitte der 80er-Jahre zu einem starken Einbruch. In der Zwischenzeit hat sich der Markt stabilisiert. Mit ca. 16.000 Windkraftanlagen wurden in relativ kurzer Zeit in den 80er-Jahren etwa 1,5 GW installiert, die nahezu 2 TWh Windstrom pro Jahr in das Netz einspeisten. Kalifornien hat sich so zum Pionierstaat der Windenergie entwickelt. Dieser Stand konnte bis in die 90er-Jahre gehalten werden.



Abb. 8: Windfarm in Kalifornien mit Anlagen der 50-/100-kW-Klasse



Abb. 9: Windfarm in Kalifornien mit 250-kW-Anlagen

Heute sind in Kalifornien 12.000 Windkraftanlagen mit 2 GW Gesamtleistung installiert. Hauptstandorte sind Tehachapi, Altamont und San Geronio. Weitere Anlagen sind in Solano und Pacheco aufgestellt. Ziel ist es, in den nächsten 5 Jahren die Leistung zu verdoppeln [11]. Allein in Tehachapi sollen bis 2015 zusätzlich 4 GW installiert werden.

Hawaii

Die Hawaii-Inseln im Pazifischen Ozean weisen an einigen exponierten Standorten relativ hohe Windgeschwindigkeiten auf. Sie haben daher in der modernen Windenergie-technik ebenfalls eine große Tradition. 1980 bis 1982 wurde eine von vier MOD-OA-Windkraftanlagen-Prototypen mit 200 kW Nennleistung in Kahnku betrieben. Auch die MOD-5B mit 97 m Rotordurchmesser und 3,2 MW Nennleistung wurde auf der bevölkerungsreichsten Hawaii-Insel Oahu an der Nordküste gemeinsam mit 15 weiteren 600-kW-Westinghouse-Turbinen 1987 installiert. Etwa zur gleichen Zeit wurden an der Südspitze von Big Island 37 Mitsubishi-MWT-250/250 kW in Betrieb genommen. Momentan sind auf den Hawaii-Inseln 132 Anlagen mit 11 MW Windkraftanlagenleistung installiert [7]. Einzelanlagen und Windparks mit einer Gesamtleistung von 24 MW werden gebaut oder sind in der letzten Planungsphase [12]. Auf der Insel Maui sind 30 MW und auf Big Island 10 MW geplant. Für Oahu wird ein weiteres Projekt mit 39 MW untersucht [13].

Alaska

Der nördlichste US-Bundesstaat zeichnet sich einerseits durch hohe Windgeschwindigkeiten aus und ist andererseits von extremen klimatischen Bedingungen geprägt. In der polaren Region machen sich daher von der Fundamentierung bis zum Betrieb von Windkraftanlagen deutliche Unterschiede zum Einsatz in gemäßigten oder warmen Gebieten bemerkbar. In Bereichen ewigen Eises muss durch „Wärmeableitung“ das „Eisfundament“ bei genügend tiefer Temperatur gehalten werden. Weiterhin sind z. B. Sicherheitseinrichtungen und Rotorblätter vor Vereisung zu schützen sowie Getriebe und Hydrauliksysteme bei Stillstand durch Heizung der Öle gangbar zu halten.

Hauptstandorte von kleineren Windparks mit Anlagen der 10- bis 100-kW-Klasse sind Kotzebue nördlich und Wales direkt an der Beringstraße, der Meerenge zwischen Alaska und Sibirien, sowie die Insel St. Paul mitten im Beringmeer gelegen. Wie im Großteil des Staates bestehen an diesen Orten keine Straßenverbindungen. Schiffsverkehr ist nur wenige Monate im Jahr möglich. Flugaanbindung ist überall üblich. Somit gestaltet sich der Brennstofftransport schwierig und kostenintensiv. Die Nutzung der Windenergie ist daher an diesen entlegenen Orten auch aus wirtschaftlicher Sicht sehr interessant, da hier mit etwa 50 Dollar-Cent pro kWh Stromerzeugungskosten gerechnet wird. Momentan sind in Alaska ca. 1,3 MW Windkraftanlagenleistung installiert. Weitere 0,7 MW sind geplant [14]. Nach [7] erreichen die für heutige Verhältnisse sehr kleinen Anlagen mit etwa 40 kW Durchschnittsleistung immerhin 3.000 Volllaststunden pro Jahr.

Mittlerer und nördlicher Westen

Im mittleren Westen sind Iowa und Minnesota führend.

	Windkraftanlagenleistung [MW]	
	installiert	geplant
Iowa	632	302
Minnesota	615	223
Kansas	114	180
Illinois	78	46
Wisconsin	53	200
South Dakota	45	50
Nebraska	14	60

Michigan und Ohio liegen hingegen unter 10 MW. Auch in den nördlichen Rocky Mountains ist die Windenergienutzung nicht sehr verbreitet [15].

In Wyoming wurden bereits Anfang der 80er-Jahre Untersuchungen zur Kombination von Wind- und Wasserkraft durchgeführt. Ziel war, im Winter vorwiegend die Wind- und im Sommer die Wasserkraft zu nutzen. Dazu wurden 1982 eine MOD-2B von Boeing mit 91 m Rotordurchmesser und 2,5 MW Nennleistung sowie eine schwedisch-amerikanische Gemeinschaftsproduktion WT S4 mit 80 m Rotor und 4 MW Leistung als Testanlagen in der Nähe von Medicine Bow aufgebaut.

Momentan sind in der Nähe dieses Standortes Windkraftanlagen mit nahezu 45 MW Leistung installiert. Insgesamt sind 285 Anlagen mit nahezu 300 MW aufgebaut, die etwa 650 GWh pro Jahr in das Netz liefern. Colorado und Oregon kommen mit jeweils ca. 190 Anlagen und 230 bzw. 260 MW Nennleistung auf 490 bzw. 520 GWh Jahresertrag. Im Staat Washington speisen 320 Turbinen bei 240 MW Leistung 530 GWh elektrische Energie in das Netz [7].

Texas und New Mexico

Der Ölstaat Texas weist mit 1.400 Anlagen und 1,3 GW nach Kalifornien die zweitgrößte Windleistung auf und liefert jährlich 2,9TWh Stromertrag. New Mexico erzielt mit 200 Windkraftanlagen und 270 MW über 450 GWh Elektrizität.

• Kanada

Kanada hat eine Fläche von etwa 10 Mio. Quadratkilometern und nur knapp 33 Mio. Einwohner. 62% des Stromes kommt aus der Wasserkraft. Die installierte elektrische Leistung beträgt 105 GW. Große Teile des Landes haben ein sehr hohes Windenergieangebot. Zur Unterstützung der Windenergie bestehen nationale Anreizprogramme sowohl zur Elektrizitätserzeugung als auch im Steuerrecht. Momentan sind 450 MW Windkraftanlagen aufgebaut. Langfristig existieren sehr gute Chancen für eine großtechnische Windenergienutzung.

2.3 Südamerika

Die Darstellungen über den südamerikanischen Teilkontinent werden sich im Folgenden auf die beiden größten Staaten mit hohem Windenergiepotenzial, Brasilien und Argentinien, beziehen.

• Brasilien

Brasilien ist 20-mal größer als Deutschland, hat über doppelt so viele Einwohner, aber nur etwa drei Viertel der bei uns installierten Kraftwerksleistung. Das Land bezieht über 70% seiner elektrischen Energie aus Wasserkraft. Eine verstärkte Windenergienutzung könnte dies gut ergänzen. Dazu wurden landesweit bereits intensive Potenzialuntersuchungen durchgeführt. Weiterhin sind die momentanen Kraftwerksanlagen veraltet und neigen daher vermehrt zu Störungen. Ein Ausbau der Einspeisesysteme für die Windenergie ist daher unumgänglich.

Brasilien bietet somit beste Voraussetzungen für eine großtechnische Nutzung der Windenergie. Das Land hat momentan unter allen südamerikanischen Ländern die größte Bedeutung, obwohl derzeit nur 29 MW Windkraft-Anlagenleistung installiert ist. Diese soll durch das 2004 eingeführte „Renewable Energy Incentive Program“ (PROINFA) in naher Zukunft gesteigert werden. Es sieht vor, die Installation von erneuerbaren Energieanlagen mit einer Leistung von insgesamt 3.300 MW bis Ende 2006 zu unterstützen. Davon entfallen 1.100 MW auf Windkraftanlagen. In diesem Zeitraum wird mit 1.350 MW gerechnet. Genehmigungen liegen bereits über 3.000 MW vor. In einer zweiten Phase sollen in 20 Jahren etwa 10% der Elektrizität aus Wind-, Biomasse- und kleinen Wasserkraftanlagen abgedeckt werden [16].

• Argentinien

Im Süden Argentiniens sind weltweit wohl mit die höchsten Windgeschwindigkeiten anzutreffen. Eigentlich ideale Voraussetzungen zur Anwendung der Windenergie. Allerdings ist die Region Patagonien nur sehr dünn besiedelt. Der größte Teil der in Argentinien betriebenen 26 MW Windkraftanlagenleistung ist daher auch im Süden von Patagonien installiert. Für Überlegungen zur großtechnischen Anwendung der Windenergie, die eine „Erzeugung“ in Gebieten mit höchsten Ertragspotenzialen und Energietransport über weite Strecken in Bevölkerungs- und in Industriezentren vorsehen [17], bietet diese Region beste Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung. Langfristig könnte der Ausbau der Windenergie in Argentinien größte Bedeutung erlangen.

Der elektrische Energiemarkt ist bereits seit 1992 liberalisiert und somit in die drei Bereiche „Erzeugung“, „Übertragung“ und „Verteilung“ der Elektrizität untergliedert. Somit haben im Prinzip alle Stromerzeuger freien und gleichen Zugang zum Netz.

Die „Argentine Wind Energy Association“ hat ein Programm entwickelt, das Wasserkraft als Back-up-System für Windkraft vorsieht. Damit haben Windstromeinspeiser die Möglichkeit, nicht nur Energie, sondern auch gesicherte Leistung anbieten zu können. Argentinien deckt 39% seines Strombedarfs aus Wasserkraft.

In einem Gesetz (Ley Nacional No 25019) ist die Stromerzeugung aus Solar- und Windanlagen zum nationalen Interesse deklariert worden. Es spezifiziert Subventionen und steuerliche Vorteile. Die Subventionen beinhalten 0,01 argentinische Pesos pro kWh, die über 15 Jahre bezahlt werden. Dies entspricht etwa 0,0026 €/kWh. Provinzgesetze sehen zusätzlich 0,005 argentinische Pesos pro kWh vor [7].

2.4 Asien

In Asien soll der Ausbau der Windenergie in den beiden bevölkerungsreichsten Ländern Indien und China, die nahezu die halbe Erdbevölkerung beherbergen, kurz vorgestellt werden. Weiterhin werden die Industrieländer Japan, Südkorea sowie das Inselreich Indonesien kurz angesprochen.

• Indien

Der indische Subkontinent mit 9-facher Fläche und 12-facher Bevölkerung von Deutschland hat etwa die gleiche installierte elektrische Leistung. 26% des Stromes trägt die Wasserkraft bei. Mit 3,6 GW Windkraftanlagenleistung ist Indien fünftgrößter Windenergieproduzent der Welt. Große Windenergiepotenziale sind vor allem in den Küstenregionen anzutreffen. Das Ministerium für Nichtkonventionelle Energie hat sich zum Ziel gesetzt, bis März 2007 eine Windkraftleistung von 5 GW zu erreichen. Dazu sind Vorzugstarife für die Einspeisung und Vergünstigungen bei der Einkommensteuer vorgesehen [7].

Der große Windenergiemarkt hat in Indien dazu geführt, dass in die Windindustrie investiert wird. Bei der Herstellung von Windkraftanlagen werden bis zu 80 % im Land produziert. Importe sind damit weitgehend überflüssig. Bis 2012 sollen 10 % der durch die Industrialisierung benötigten Energie aus erneuerbaren Energien bezogen werden [8].

• China

Im bevölkerungsreichsten Land der Erde leben 1,3 Mrd. Menschen auf einer Landfläche von 9,6 Mio. Quadratkilometern. Die installierte elektrische Leistung beträgt 440 GW. Mit 108 GW werden etwa 25 % der Elektrizität aus Wasserkraft gedeckt. Der Strommarkt wurde 2003 liberalisiert. Prinzipiell haben alle Elektrizitätserzeuger freien Zugang zum Netz. Dieser unterliegt jedoch der Regierungskontrolle. Die Stromerzeugung ist für Investoren geöffnet. Die Einspeisetarife werden von den Preisbüros der Provinzen geprüft [7].

Berechnungen des Meteorologischen Instituts von China ergaben ein Windpotenzial an Land von 253 GW und auf See von 750 GW. Die windreichsten Regionen sind an der Südküste, der inneren Mongolei, in Xingjiang, der Gansu-Provinz und im tibetischen Qinghai-Plateau anzutreffen. Momentan beträgt die Windkraftanlagenleistung etwa 1 GW. Die Windkraftindustrie in China wächst ebenfalls. Bisher werden Anlagen unterhalb der MW-Klasse hergestellt. Die Produktion größerer Anlagen ist jedoch in Planung. Bis 2010 sollen 20 Windparks mit je 100 MW gebaut werden. Im Reich der Mitte sollen bis zu den Olympischen Spielen u. a. von den Olympiastätten in Peking aus, rotierende Windturbinen deutlich sichtbar Zeichen sauberer Energieproduktion setzen. Bis 2020 sind 20 bis 30 GW Windleistungsinstallation geplant [8].

• Japan

Das Reich der aufgehenden Sonne hat bei geringfügig größerer Landfläche als Deutschland etwa eine um die Hälfte größere Bevölkerung und mit 268 GW eine mehr als doppelt so hohe installierte elektrische Leistung. 17 % des Stromes werden aus Wasserkraft gedeckt. Die momentan installierte Windkraftanlagenleistung beträgt etwa 1 GW [7].

Die Ankündigungen der japanischen Regierung, den Anteil erneuerbarer Energien zu steigern, haben in den letzten Jahren zu einer Weiterentwicklung der japanischen Windindustrie geführt. Diese wurde durch Zahlungen für die Energieeinspeisung und Kapitalzuschüsse vorangetrieben. Energie-Verkaufs-Verträge (power purchase agreements) mit 17 Jahren Laufdauer geben dabei den Investoren Sicherheit. Die Einführung des „Renewable Portfolio Standard“ (RPS) im April 2003 sollte den Markt beleben. Bis 2010 werden 1,35 % vom Gesamtenergiebedarf aus erneuerbaren Energien erwartet. Auf die Windenergie sollen bis 2010 also 3 GW und bis 2020 etwa 12 GW installierte Leistung entfallen [8].

• Südkorea

Südkorea ist mit 99.000 Quadratkilometern und 46 Mio. Einwohnern doppelt so dicht besiedelt wie Deutschland. Die installierte elektrische Leistung beträgt etwa 55 GW. Nur 1,7 % davon entfallen auf Wasserkraft [7]. Die installierte Windleistung beträgt 72 MW [18]. Ein „National Basic Plan for Energy“ sieht vor, den Versorgungsanteil erneuerbarer Energien an der Primärenergie von 3 auf 5 % bzw. am Stromverbrauch von 2,4 auf 7 % zu erhöhen [19].

Im Rahmen des „Renewable Energy R & D Basic Plans“ wurde Ende 2003 in Südkorea das Ziel formuliert, bis 2011 eine Windkraftanlagenleistung von 2.250 MW zu installieren [20]. Davon sollen möglichst große Anteile der Anlagen im Land produziert werden. Dazu werden momentan Windkraftanlagenentwicklungen vorangetrieben.

• Indonesien

Das Inselreich zwischen dem Indischen und dem Pazifischen Ozean hat eine Ost-West- bzw. Nord-Süd-Ausdehnung von etwa 5.000 x 3.000 km mit weit über 13.000 Inseln, von denen 10.000 besiedelt sind. 220 Mio. Menschen bewohnen eine Landfläche von knapp 2 Mio. Quadratkilometern. Die installierte elektrische Leistung ist mit weniger als 22 GW nur 20 % unseres Elektrizitätsaufkommens. Somit ist der Strombedarf insbesondere auf kleineren Inseln noch sehr hoch. Die jährliche Steigerungsrate liegt zwischen 8 und 10 %. Allerdings nehmen die nationalen Ölreserven rapide ab. Der Zwang zur Nutzung erneuerbarer Energien ist also groß.

Erste Windenergie-Aktivitäten gehen bereits auf den Beginn der 80er-Jahre bei der Luft- und Raumfahrtbehörde LAPAN zurück. Bisher wurden allerdings nur etwa 0,5 MW Windkraftanlagenleistung installiert. Die höchste Tarifkategorie 1 ist für Energieversorgung mit Wind-, Solar- und Miniwasserkraftanlagen vorgesehen. Die niedrigste Kategorie 4 wurde für Gas, Kohle und Öl festgelegt. Der staatliche Elektrizitätsversorger PLN plant, im Rahmen eines sog. PSKSK-Programmes von kleinen privaten Energieerzeugern Strom zu kaufen, die kein Öl als Energieträger verwenden.

Von LAPAN und anderen staatlichen Stellen werden Windenergie- Potenzialuntersuchungen durchgeführt, Nutzungsgebiete definiert und ein Windatlas für das Land erstellt. Damit werden wichtige Voraussetzungen für eine Verbreitung der Windenergie in Indonesien geschaffen. Dabei kommt einer Ausbreitung auf bisher nicht elektrifizierten Inseln große Bedeutung zu, um ein Abwandern besonders junger Menschen in die Slums der Ballungszentren zu vermeiden. Im Gegensatz zu den meisten anderen Ländern werden hier vorwiegend kleinere Windkraftanlagen zum Einsatz kommen.

2.5 Afrika

Auf dem afrikanischen Kontinent sollen für die drei nördlichen Staaten Marokko, Libyen und Ägypten sowie für Südafrika die Rahmenbedingung zur Windenergienutzung aufgezeigt werden.

• Marokko

Das Königreich mit einer sehr ausgedehnten Küste am Atlantik und westlichen Mittelmeer ist etwa doppelt so groß wie Deutschland, es hat aber nur ein Drittel unserer Bevölkerung. Die installierte elektrische Leistung beträgt ganze 4,7 GW. Davon basieren 27 %, also 1,3 GW, auf Wasserkraft und 65 MW trägt momentan die Windkraft bei [7].

Marokko verfügt über hervorragende Windbedingungen, die stellenweise sogar Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit von 11 m/s und mehr erreichen. Das nutzbare Windenergiepotenzial überschreitet den elektrischen Energiebedarf bei Weitem. Langfristig bieten sich aufgrund der hohen Windenergieerträge und der großen zur Verfügung stehenden Landflächen gute Perspektiven zum Elektrizitätstransport in die EU [17]. Momentan steht jedoch in dem rohstoffarmen Land die Sicherung der eigenen Energieversorgung im Vordergrund des Interesses.

30

Die marokkanische Regierung plant, bis 2010 einen Windenergiebeitrag von 4 % zu erreichen [21]. Anteile von 5 % erscheinen jedoch durchaus realistisch. Bereits 2006 sollen zwei Windparks mit 200 MW fertiggestellt werden [22].

Bei der internationalen Bonner Renewables Konferenz 2004 präsentierte Marokko einen ambitionierten Ausbauplan. Bis 2020 sollen 20 % des Stroms aus „grüner Energie“ gedeckt werden. Hierfür sollen 1,5 Mrd. US-Dollar investiert werden. Bei der Finanzierung setzt Marokko auf internationale Unterstützung und auf Mechanismen für umweltverträgliche Entwicklung (CDM). Dadurch sollen die Abhängigkeit von Ölimporten um 20 Mio. Barrel pro Jahr verringert und 11.000 neue Arbeitsplätze geschaffen werden [22].

• Libyen

In dem Ölland Libyen hat in den letzten Jahren ein Umschwung stattgefunden. Vor dem Hintergrund endlicher Ölreserven sollen in Zeiten hoher Erdölkonjunktur neue Energiequellen erschlossen werden. Ein erstes Windenergieprojekt wird gerade umgesetzt. Zwischen Tobruk und Benghazi wird zurzeit von dem staatlichen Stromversorger „General Electricity Company of Libya (GECOL)“ eine 25-MW-Windfarm gebaut. Laut GECOL sollen in naher Zukunft 200 MW installiert werden. Ziel ist es, 6 % des libyschen Energiebedarfs durch regenerative Energien zu decken [23].

• Ägypten

Der Wüstenstaat zwischen Mittelmeer und Rotem Meer mit der Lebensader Nil beherbergt auf einer Fläche von 1 Mio. Quadratkilometern 78 Mio. Menschen, also nahezu die gleiche Bevölkerung wie Deutschland. Die installierte elektrische Leistung beträgt bescheidene 17,6 GW, also weniger als 15% des deutschen Wertes. Immerhin 16% trägt die Wasserkraft bei [7].

Ende 2005 sollte der endgültige Windatlas für Ägypten fertiggestellt sein, um Projektplanungen zu verbessern. Bei momentan etwa 300 MW installierter Windkraftleistung werden 800 bis 850 MW bis 2010 und 3.000 MW bis 2020 erwartet [7]. 2010 soll die Windenergie 3% zur Stromversorgung beitragen [24]. Bis 2020 ist geplant, 24% des ägyptischen Energiebedarfs aus regenerativen Energien zu decken [25].

• Südafrika

In dem Land zwischen dem Atlantischen und Indischen Ozean bewohnen 47 Mio. Einwohner eine Fläche von 1,2 Mio. Quadratkilometern. Die installierte elektrische Leistung beträgt 40 GW. Wasserkraftanlagen machen mit 600 MW 1% aus [7]. Derzeit betriebene Windkraftanlagen haben nur eine Gesamtleistung von 3 MW, obwohl Windenergieanlagen zum Wasserpumpen am Kap der Guten Hoffnung große Tradition haben. Neben einem bereits fortgeschrittenen 5-MW-Projekt wurden Überlegungen zur Errichtung einer 20-MW-Windfarm angestellt. Weiterhin wird die Anwendung von kleinen Windkraftanlagen untersucht, die in Kombination mit Photovoltaik- oder Dieselanlagen bzw. an Mininetzen betrieben werden [21]. Am Primärenergieaufkommen sind im Wesentlichen durch die traditionelle Biomasse, d.h. Feuerholz zum Kochen und Heizen, die erneuerbaren Energien mit 10% vertreten. Bis 2020 soll dieser Anteil auf 20% verdoppelt werden [26].

2.6 Australien-Pazifik-Region

Auf dem fünften Kontinent kommen die beiden überaus windreichen und dünn besiedelten Staaten Australien und Neuseeland in Betracht. Exotische Inselreiche dieser Region, die zum Teil hervorragende natürliche Ressourcen sowie sehr große Entfernungen zu fossilen Energielieferanten aufweisen, bieten für regenerative Energieversorgungen ideale Voraussetzungen. Sie sollen hier jedoch nicht angesprochen werden.

• Australien

Auf 7,7 Mio. Quadratkilometern Landfläche wohnen nur 20 Mio. Menschen, d.h., auf mehr als der 21-fachen Fläche Deutschlands wohnt weniger als ein Viertel der Bevölkerung. Die installierte elektrische Leistung macht mit 43 GW ein Drittel des deutschen Wertes aus. Die Wasserkraft hat mit 7,3 GW immerhin einen Anteil von 17%. Etwa 0,5 GW Windkraftanlagen sind aufgebaut [7].

Sehr hohe Windangebote und große verfügbare Flächen bieten hervorragende Bedingungen für eine großtechnische Windenergienutzung in den nächsten Jahren. Bisher war die Entwicklung aber nur schleppend vorangekommen. Die Eröffnung einer Produktionsstätte des größten dänischen Herstellers löste beträchtliche Erwartungen an den australischen Windenergiemarkt aus.

Bis 2010 soll eine Installation von 5 GW erreicht werden, wodurch 22.000 Arbeitsplätze in der Windindustrie entstehen könnten. 2020 wird mit 13 GW installierter Windleistung gerechnet [8]. Das „Australien Greenhouse Office“ rechnet bis 2010 mit 9,5 TWh Stromeinspeisung pro Jahr aus den Regenerativen. Es ist zuständig für nationale Programme, die finanzielle Anreize zur Produktion und Nutzung erneuerbarer Energien betreffen. Weitere staatliche Programme unterstützen die Erneuerbare-Energien-Industrie sowie kleine, innovative Hersteller und die Elektrifizierung entlegener Gebiete etc. [7].

• Neuseeland

Den Inselstaat mit 286.000 Quadratkilometern Fläche bevölkern nur 4,1 Mio. Einwohner. Die installierte elektrische Leistung beträgt 8,5 GW. Über 61 % basieren auf Wasserkraft und 6,5 % auf Geothermie. Etwa 170 MW Windkraft sind aufgebaut [7]. Neuseeland hat sich bereits 1986 zur nuklearfreien Zone erklärt.

Durch das demografische und wirtschaftliche Wachstum steigt der Energieverbrauch in Neuseeland bis zu 6 % pro Jahr [27]. Gleichzeitig gehen die Vorräte des größten Öl- und Gasfeldes zu Ende und die Ölpreise auf dem Weltmarkt steigen. Dadurch werden Versorgungsengpässe befürchtet. Eine Überlastung der Elektrizitätsnetze, die vor allem im Nordteil der Südinself bereits auftreten, lassen in zunehmendem Maße Komplikationen in der Energieversorgung erwarten.

Verschiedene Regionen der dichter besiedelten Nordinsel haben Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit zwischen 9 und 10 m/s [7]. So hervorragende Windverhältnisse sind weltweit nur an wenigen Standorten anzutreffen. Windkraftanlagen erreichen damit durchaus 4.500 Volllaststunden pro Jahr. Das sind Ausnutzungsdauern, die im konventionellen Energieversorgungsbereich an die Werte von Mittellastkraftwerken herankommen, die bei 4.000 bis 6.000 Volllaststunden im Jahr liegen.

Das technisch nutzbare Windenergiepotenzial von etwa 100 TWh pro Jahr ist hier 2,5-mal größer als der momentane Elektrizitätsbedarf. Bisher wurden keine speziellen Richtlinien für die Windenergie in Neuseeland eingeführt, sie sind jedoch in den Gesetzen für Elektrizitätswirtschaft enthalten. Diese ist seit 1998 in die Bereiche „Netz“ und „Energiehandel“ mit unterschiedlichen Eigentümern untergliedert. Seit 2000 fördert die Regierung die erneuerbaren Energien.