

# 100% Erneuerbare Energien – Mögliche Beiträge der Windenergie

Von Dr. Eberhard Waffenschmidt, 9.6.2007

Den wichtigsten Beitrag zur Stromerzeugung leistet heute die Windenergie. Sie liefert schon rund 6% des jährlichen Strombedarfs und damit mehr als jede andere erneuerbare Energiequelle. Der Strombedarf ist in [1] detailliert aufgelistet. Er betrug 500.3 TWh im Jahr 2002 und hat sich bis heute nur wenig geändert. Der Anteil der Windenergie an der Stromversorgung kann noch deutlich wachsen. Dieser Text soll die Möglichkeiten der Windenergie beleuchten.

Dabei wird hier nur die gesamte erzeugte Energiemenge betrachtet. Inwieweit die Erzeugung zeitgerecht zum Bedarf erfolgt, soll in einem weiteren Beitrag diskutiert werden. Es ist bei dieser Diskussion aber zu berücksichtigen, dass die Windenergie als ein Teil im Mix von unterschiedlichen Energieformen zur Energieversorgung beitragen wird. Des Weiteren ist zu bemerken, dass schon im Jahr 2003 rund 40% der erzeugten Windenergie in Form von „gesicherter Leistung“ mit 99% Versorgungssicherheit erzeugt wurde [2], unter anderem durch eine großräumige Verteilung von Windanlagen auch und gerade im Binnenland. Eine weitere Diskussion dazu ist in [3] zu finden.



Bild 1: Windpark in Aachen-Vetschau.

Tabelle 1 liefert eine Übersicht über die derzeitige Nutzung der Windenergie. Bild 2a visualisiert diese Übersicht. Die Daten beziehen auf das Jahr 2005 als Basis für die Hochrechnung auf die Zukunft. Ende 2005 gab es 17574 Windräder [4]. Aus der gesamten installierten Spitzenleistung von 18428 MW [4] ergibt sich derzeit eine durchschnittliche Generatorgröße von 1.05 MW für alle bestehenden Windräder. Diese Windräder können jährlich 33.8 TWh (Mrd. kWh) erzeugen [4]. Dabei liefern Windräder im Binnenland ähnliche Beiträge zur Stromerzeugung wie Windräder in Küstenländern, denn Windräder im Binnenland sind an die dortigen Windverhältnisse angepasst. Näheres dazu ist in einem ausführlichen Artikel zu diesem Thema zu finden [3].

Neu errichtete Windräder hatten im Jahr 2006 eine installierte Leistung von bis zu rund 2.8 MW im Mittel pro Windanlage [5]. Windräder bis 3 MW und mehr Leistung sind heute schon „von der Stange“ zu kaufen [6] [7]. Die Firma Enercon hat schon im Jahr 2005 die ersten Windanlagen mit 6 MW Spitzenleistung vom Typ E-112, errichtet [8] [9]. In nächster Zukunft werden 3 MW Windanlagen Standard sein.

Wenn alle bestehenden Windräder durch solche mit einer Generatorgröße von 3 MW, wie sie bei neuen Windrädern aktuell ist, ersetzt werden, so ergibt sich rund die dreifache installierte Spitzenleistung von 52722 MW. Nimmt man den derzeitigen Nutzungsgrad von im Mittel 22% (Tabelle 1) an den vorhandenen Standorten an, so erhält man 101 TWh als erzeugte Energie pro Jahr.

Durchaus akzeptabel sollte es sein, alle Binnenländer auf das Maß schon jetzt gut mit Windkraft ausgestatteter Bundesländer im Binnenland aufzurüsten. Insbesondere südlich der Main-Linie ist die Windkraft nur wenig ausgebaut, denn in Bodennähe sind dort geringere Windgeschwindigkeiten vorhanden als in den nördlicheren Bundesländern. Mit etwas größeren Rotoren oder größeren Nabenhöhen lässt sich allerdings auch dort die Windkraft sinnvoll nutzen, wie Hr. Rorig, ISET, Kassel, bei einem Vortrag auf Nachfragen bestätigen konnte [10]. Tabelle 2 zeigt die Übersicht über ein solches Szenario und Bild 2b stellt das Szenario bildlich dar.

Als typisches Bundesland für den Ausbau der Windenergie könnte zum Beispiel Nordrhein-Westfalen (NRW) ausgewählt werden. NRW hat eine hohe Bevölkerungsdichte, aber auch weite Gebiete wie Eifel und Rothaargebirge, die mit vielen Naturparks wenig zur Windenergieerzeugung beitragen können. Trotzdem hat NRW im Vergleich zu anderen Binnen-Bundesländern eine hohe Dichte an Windrädern, die von der Mehrheit der Bevölkerung akzeptiert werden. Deshalb kann NRW als Beispiel dienen. Hier beträgt die Dichte an Windrädern 7 Windräder pro 100 km<sup>2</sup> (siehe Tabelle 1, ermittelt aus Daten in [11] und [4]). Wenn alle Bundesländer mindestens auf diese Dichte aufrüsten, so können in Deutschland 28056 Standorte für Windräder existieren. Da in einigen Bundesländern (insbesondere den Küstenländern) die Windraddichte schon

jetzt höher als 7/100km<sup>2</sup> ist, ergibt sich dann im Mittel ein Wert von 7.86/100km<sup>2</sup>. Wenn dabei alle Standorte (bestehende und neue) mit modernen 3 MW Windrädern besetzt werden, so können in Deutschland sogar 149.2 TWh, das sind 29.8% des elektrischen Endenergieverbrauchs, mittels Windkraft an Land erzeugt werden. Bei dieser Rechnung sind die Nutzungsgrade in den jeweiligen Bundesländern individuell berücksichtigt (siehe Tabelle 2).

Einen weiteren Beitrag können Offshore-Windparks liefern. Eine aktuelle Infobroschüre des BMU [12] gibt das Potential dafür mit 110 TWh pro Jahr bei 30 GW installierter Spitzenleistung an (siehe auch Tabelle 2).

Insgesamt lassen sich dann mittels Windkraft (Offshore und ausgebautes Inland) pro Jahr 259 TWh elektrischer Energie pro Jahr erzeugen. Dies entspricht 51.8% des jährlichen Stromverbrauchs in Deutschland.

Tabelle 3 listet noch drei weitere Szenarien, deren Realisierung derzeit weniger wahrscheinlich erscheinen. Sie listen auf, wie die Optionen aussähen, den gesamten elektrischen Energieverbrauch oder den gesamten Endenergieverbrauch mittels Windkraft an Land zu decken, sowie die Option, den elektrischen Energieverbrauch an Land und mittels Offshore zu decken. Letzteres Szenario würde eine mehr als doppelt so hohe Dichte an Windrädern von 19.1 Stck/100km<sup>2</sup> im Binnenland wie jetzt in NRW notwendig machen. Auch das ist nicht gänzlich unvorstellbar. Immerhin ist die Dichte an Windrädern in Schleswig-Holstein, welches die höchste Windraddichte hat, mit 17.4 Stck/100km<sup>2</sup> schon jetzt fast so hoch.

*Fazit:* Angenommen, alle Binnenländer rüsten auf die Windraddichte von Nordrhein-Westfalen auf, bestehende Windräder werden durch derzeit aktuelle ersetzt und das Potential an Offshore-Windparks wird ausgeschöpft. Damit lässt sich mehr als die Hälfte des heutigen Stromverbrauchs erzeugen.

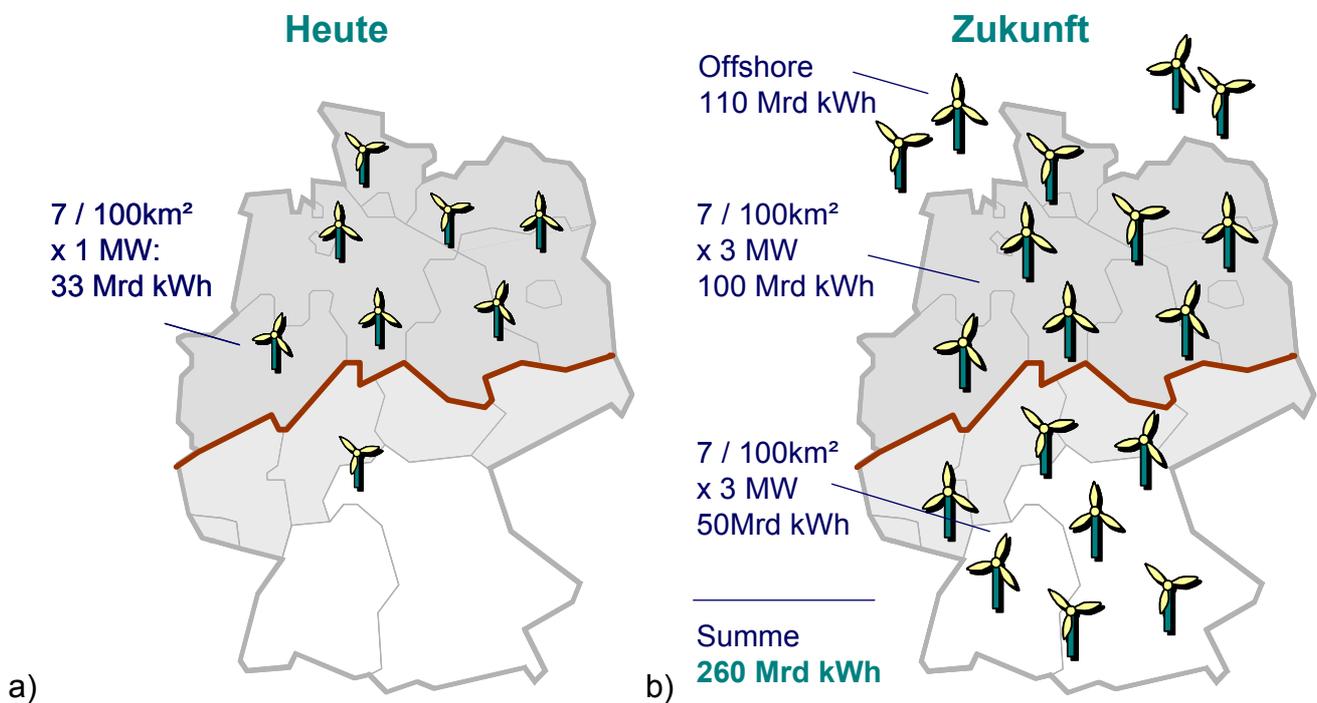


Bild 2: Mögliches Szenario zum Ausbau der Windenergie in Deutschland: Vergleich von heute (2005) und Zukunft.

Tabelle 1: Status Windenergie 2005.

<b>2005</b>									
Bundesland	Ende 2005 installierte Leistung / MW	in 2005 neu installiert / MW	Im Jahres- mittel inst. Leistung / MW	Potentieller Jahres- ertrag / GWh	Aus- nutzungs- grad / %	Anzahl Wind- räder Ende 2005	Mittlere inst. Leistung pro Windrad / MW	Landes- fläche / km <sup>2</sup>	Anzahl Windräder pro Fläche / Anz/100km <sup>2</sup>
Baden-Württemberg	262.58	13.6	255.8	302	13.5	261	1.01	35 752	0.73
Bayern	257.83	33.6	241.0	357	16.9	271	0.95	70 549	0.38
Berlin	0.00	0.0	0.0	0	0.0	0	0.00	892	0.00
Brandenburg	2 619.56	440.4	2 399.4	4 492	21.4	2 033	1.29	29 478	6.90
Bremen	52.30	5.2	49.7	93	21.4	46	1.14	404	11.38
Hamburg	33.68	0.0	33.7	59	20.0	57	0.59	755	7.55
Hessen	426.16	24.9	413.7	670	18.5	522	0.82	21 115	2.47
Mecklenburg- Vorpommern	1 094.90	77.0	1 056.4	2 004	21.7	1 135	0.96	23 179	4.90
Niedersachsen	4 905.27	442.6	4 684.0	9 262	22.6	4 508	1.09	47 620	9.47
Nordrhein-Westfalen	2 226.34	174.3	2 139.2	3 913	20.9	2 395	0.93	34 084	7.03
Rheinland-Pfalz	810.4	106.6	757.1	1 335	20.1	761	1.06	19 853	3.83
Saarland	57.40	0.6	57.1	100	20.0	54	1.06	2 569	2.10
Sachsen	703.07	36.6	684.8	1 222	20.4	695	1.01	18 415	3.77
Sachsen-Anhalt	2 201.26	347.2	2 027.7	4 407	24.8	1 652	1.33	20 446	8.08
Schleswig-Holstein	2 274.91	100.9	2 224.5	4 697	24.1	2 740	0.83	15 763	17.38
Thüringen	501.88	4.4	499.7	914	20.9	444	1.13	16 172	2.75
Festland: Summe, Mittelwert	18427.52	1 807.8	17 523.6	33 827	22.0	17 574	1.05	357 046	4.92
Offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe, Mittelwert</b>	<b>18 428</b>	<b>1 808</b>	<b>17 524</b>	<b>33 827</b>	<b>22.0</b>	<b>17 574</b>	<b>1.05</b>	<b>357 046</b>	<b>4.92</b>
Lit. Quelle	DEWI 2005	DEWI 2005		DEWI 2005		DEWI 2005		Stat. Bundes- amt	

*kursive* Zahlen sind Ausgangsdaten, alle anderen sind davon abgeleitet

Tabelle 2: Übersicht zum Windenergie-Potential.

Zukunft								
Bundesland	Mindest Anzahl pro Fläche Anz/100km <sup>2</sup>	Anzahl Windräder pro Fläche / Anz/100km <sup>2</sup>	Anzahl Windräder	Mittlere Leistung pro Windrad / MW	Inst. Leistung / MW	Aus-nutzungs-grad /%	Potentieller Jahresertrag / GWh	Anteil an der Windstrom-erzeugung
Baden-Württemberg	7.0	7.0	2 503	3	7 508	13.5	8 870	3.4%
Bayern	7.0	7.0	4 938	3	14 815	16.9	21 956	8.5%
Berlin	7.0	7.0	62	3	187	21.4	351	0.1%
Brandenburg	7.0	7.0	2 063	3	6 190	21.4	11 596	4.5%
Bremen	7.0	11.4	46	3	138	21.4	258	0.1%
Hamburg	7.0	7.5	57	3	171	20.0	300	0.1%
Hessen	7.0	7.0	1 478	3	4 434	18.5	7 185	2.8%
Mecklenburg-Vorpommern	7.0	7.0	1 622	3	4 867	21.7	9 239	3.6%
Niedersachsen	7.0	9.5	4 508	3	13 524	22.6	26 757	10.3%
Nordrhein-Westfalen	7.0	7.0	2 395	3	7 185	20.9	13 150	5.1%
Rheinland-Pfalz	7.0	7.0	1 390	3	4 169	20.1	7 356	2.8%
Saarland	7.0	7.0	180	3	539	20.0	945	0.4%
Sachsen	7.0	7.0	1 289	3	3 867	20.4	6 905	2.7%
Sachsen-Anhalt	7.0	8.1	1 652	3	4 956	24.8	10 778	4.2%
Schleswig-Holstein	7.0	17.4	2 740	3	8 220	24.1	17 367	6.7%
Thüringen	7.0	7.0	1 132	3	3 396	20.9	6 216	2.4%
Festland: Summe, Mittelwert	7.0	7.86	28 056	3	84 168	22.0	149 228	57.6%
Offshore	-	-	?	?	30 000	41.8	110 000	42.4%
<b>Summe, Mittelwert</b>					<b>114 168</b>	<b>25.9</b>	<b>259 228</b>	<b>100.0%</b>
	Annahme: Wie NRW 2005			Annahme	BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen	wie heute, Berlin = Branden- burg	BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen	

*kursive* Zahlen sind Ausgangsdaten, alle anderen sind davon abgeleitet

Tabelle 3: Weitere Szenarien.

Szenario: Parameter	Gesamter elektr. Verbrauch		Gesamter Endverbrauch		Ges. el. Verbr. abzgl. Offshore Zahlenwert
	Zahlenwert	Quelle	Zahlenwert	Quelle	
Anzahl Windräder	87 323		447 416		68 123
Windräder pro Fläche / [Stck/100km <sup>2</sup> ]	24,46		125,31		19,08
Installierte Nennleistung / [GW]	262,0		1342		204,4
Erzeugte Windenergie pro Jahr / [TWh]	500,3	AG Energiebilanzen	2563,3	AG Energiebilanzen	390,3
Anteil Windenergie am elektr. Verbrauch	100,0%				78,0%
Anteil Windenergie am ges. Verbrauch	19,5%		100,0%		15,2%

*kursive* Zahlen sind Ausgangsdaten, alle anderen sind davon abgeleitet.

## Literaturhinweise

- [1] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.,  
„Energiebilanz der Bundesrepublik 2002“, Excel-Datei,  
<http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/inhalt1.php#>
- [2] „Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020“, Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena),  
<http://www.deutsche-energie-agentur.de/page/index.php?id=2764&type=5>
- [3] E. Waffenschmidt,  
„12 Argumente für die Windkraft“,  
Solarbrief 4/05 des Solarenergie-Fördervereins Deutschland, Aachen, 12.12.2005. Auch im Internet unter:  
<http://www.sfv.de/lokal/mails/sj/sbrf0405.htm>
- [4] Pressemitteilung "Jahresbilanz Windenergie 2005", Deutsches Windenergie-Institut GmbH (DEWI),  
[http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=66&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=6&tx\\_ttnews\[backPid\]=47&cHash=5e7009496f](http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=66&tx_ttnews[tt_news]=6&tx_ttnews[backPid]=47&cHash=5e7009496f)
- [5] „Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2006“, Deutsches Windenergie-Institut GmbH (DEWI),  
Folien zur Pressemitteilung, Jan 2007.  
[http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.06/Statistik\\_2006\\_Ende\\_06\\_PK.pdf](http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.06/Statistik_2006_Ende_06_PK.pdf)
- [6] Vestas, Datenblatt V90-3,0MW,  
[http://www.vestas.de/html\\_ls/v90\\_3.0.htm](http://www.vestas.de/html_ls/v90_3.0.htm)
- [7] Enercon Produktübersicht,  
[http://www.enercon.de/www/de/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/95BBD95599625504C1257194002816F0/\\$FILE/ENERCON\\_Produktübersicht\\_D.pdf](http://www.enercon.de/www/de/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/95BBD95599625504C1257194002816F0/$FILE/ENERCON_Produktübersicht_D.pdf)
- [8] Pressemitteilung zur Enercon E-112, 26.8.2005,  
<http://www.enercon.de/www/de/pressemitteilungen.nsf/0e8952c9caac21f0c1256eb60051fa70/f477aa8f98d63f64c125706900290734?OpenDocument>
- [9] Wikipedia, Stichwort Enercon,  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Enercon>
- [10] Kurt Rohrig, „Ausbau der Windenergienutzung im Binnenland: Technische Voraussetzungen und Perspektiven“, Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) Verein an der Universität Kassel e.V., Vortrag an der Katholischen Akademie, Aachen, 11.11.2006.
- [11] Statistisches Bundesamt,  
<http://www.destatis.de/>
- [12] "Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung",  
Info des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Mai 2006,  
[http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare\\_energien/downloads/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf)