

Energieerzeugungskosten aus Windenergie in Deutschland

Energy Generation Costs from Wind Energy in Germany

Schwenk, Bärbel; Veltrup, Martin*; Keuper, Armin; DEWI, *jetzt Vestas, Husum

Summary

The costs of electric energy generation from wind energy in Germany have been reduced considerably during the last years. Depending on infrastructure costs, legal tariff structure and based on ten years operation time which guarantees at the moment 0.1693 DM/kWh (about 0.10 US\$/kWh), it is possible to benefit from a 500 kW wind turbine at sites with wind speeds above 5.8 m/s measured at 10 m height without any subsidies. Including subsidies of 17 % of the total project investment the necessary site wind speed may be reduced to 5.4 m/s. In the present situation the 500 and 600 kW turbines are the most economic compared to the smaller sizes from 100 kW to about 300 kW. For a continuous development of wind energy it is necessary to guarantee the tariff structure for the future and to grant public subsidies for sites with wind speeds lower than 5.8 m/s.

1. Einleitung

Die stürmische Entwicklung der Windenergie in den letzten Jahren hat erhebliche Auswirkungen auf den Markt der Anlagen gehabt. Eine vermehrte Anzahl von Anbietern mit daraus resultierendem, steigenden Konkurrenzdruck und der Einstieg in die Serienfertigung haben Bewegung in die Preisgestaltung der Anlagenhersteller gebracht. Strom aus Wind kann heute deutlich kostengünstiger als früher produziert werden.

Aufgrund dieser schnellen Veränderungen verstärken sich natürlich die Diskussionen um die weitere wirtschaftliche Entwicklung des Energieträgers Wind. Viele Argumente sind zu hören. Die einen sprechen von der Windenergienutzung als einer Goldgrube, mit der erforderlichen Konsequenz einer Reduktion oder gar Einstellung der Förderung für die Windenergie, und einer Rücknahme des Energieeinspeisegesetzes, die anderen sprechen von der Unrentabilität der Windenergie. Um zur Diskussion konstruktiv beizutragen, haben wir im folgenden die aktuellen Kosten der Windenergie in Bezug auf die erzeugten kWh während der gesamten Nutzungsdauer errechnet. Wie immer ist dies eine Momentbetrachtung und auf bestimmte Musterbedingungen bezogen, aber als Anhalts- und Vergleichsgrößen eignen sich die gewonnenen Zahlen recht gut.

2. Berechnungsgrundlagen

Grundlage der hier durchgeführten Berechnungen sind Daten und Preise, die wir Ende 1993 und im ersten Halbjahr 1994 aus öffentlich zugänglichen Informationsmaterialien sowie eigenen Befragungen gewonnen haben.

Das Ergebnis der Berechnung war jeweils der Preis pro kWh in Bezug auf die in den Grafiken angegebene Nutzungsdauer. Als Kostenbasis für die Gesamtinvestition wurde zu den Listenpreisen der Windkraftanlagen von Ende 1993, die im wesentlichen auch noch im ersten Halbjahr 1994 ihre Gültigkeit hatten, die Nebenkosten mit 25 % des Listenpreises (Fundament 10 %, Netzanschluß 10 %, Geländeerschließung 3 %, Planungskosten 2 %) addiert. Die laufenden jährlichen Kosten wurden aus den Betriebskosten mit 2 % der gesamten Investition und dem Kalkulationszinssatz von 8 % für die notwendigen Kredite gebildet. Desweiteren wurden in die Kostenberechnungen die jährlichen Abschreibungen und ein jährlicher Inflationssatz von 3 % aufgenommen. Bei der Ermittlung der Jahresenergieerträge wurden die Anlagen mit einer einheitlichen Nabenhöhe von 40 m angenommen. Als Windverteilung diente die Rayleigh-Verteilung, für die Höhenkorrektur eine Rauheitslänge von 0,05 m.

Mehrere Einflußparameter wurden untersucht. Dazu gehören verschiedene Anlagengrößen (100 kW, 300 kW, 500 kW), verschiedene Nutzungsdauern (10 oder 20 Jahre), der Einfluß der Nebenkosten im Hinblick auf die Aufstellung in Windparks und als Einzelanlagen sowie staatliche Förderung. Als Entscheidungskriterium für die Wirtschaftlichkeit wurden die gesamten Energieerzeugungskosten in DM je eingespeister kWh im Vergleich zur momentan gültigen Einspeisevergütung herangezogen, die daher auch in den Grafiken jeweils als Bezugslinie eingetragen ist.

3. Die Nutzungsdauer

Einen wesentlichen Einfluß in Bezug auf den wirtschaftlichen Erfolg eines Windenergieprojekts besitzt die Nutzungsdauer, von der ein Betreiber ausgehen muß. Unter der Nutzungsdauer ist hier die technische Verfügbarkeit zu verstehen. Wirtschaftlich am günstigsten ist es, wenn eine Anlage 20 Jahre genutzt, also die von den Herstellern angegebene Lebensdauer voll ausgeschöpft werden kann. Dennoch empfiehlt es sich bei der Planung eines Windenergieprojekts nur eine Nutzungsdauer von 10 Jahren anzusetzen. Durch mögliche Reparaturen und andere Unwägbarkeiten, die im Verlauf der Nutzung einer Windkraftanlage auftreten können, ist ein möglicherweise auch deutliches Abweichen von der 20-jährigen Nutzungsdauer nicht auszuschließen, zumindest liegen heute zu wenig belastbare Erfahrungen für einen Betrieb über 10 Jahre hinaus vor. Eine sicherheitsorientierte Wirtschaftlichkeitsanalyse sollte daher nicht über die 10-jährige Nutzungsdauer hinausgehen. In den folgenden Abschnitten wird nur mit einer 10-jährigen Nutzungsdauer kalkuliert. Jede Verlängerung der tatsächlichen Nutzungsdauer wirkt sich zugunsten des Betreibers aus. In Abb. 1 ist für die Anlagengröße 500 kW die 10- und 20-jährige Nutzungsdauer im Vergleich zueinander aufgetragen. Das sehr positive Ergebnis der 20-jährigen Nutzungs-

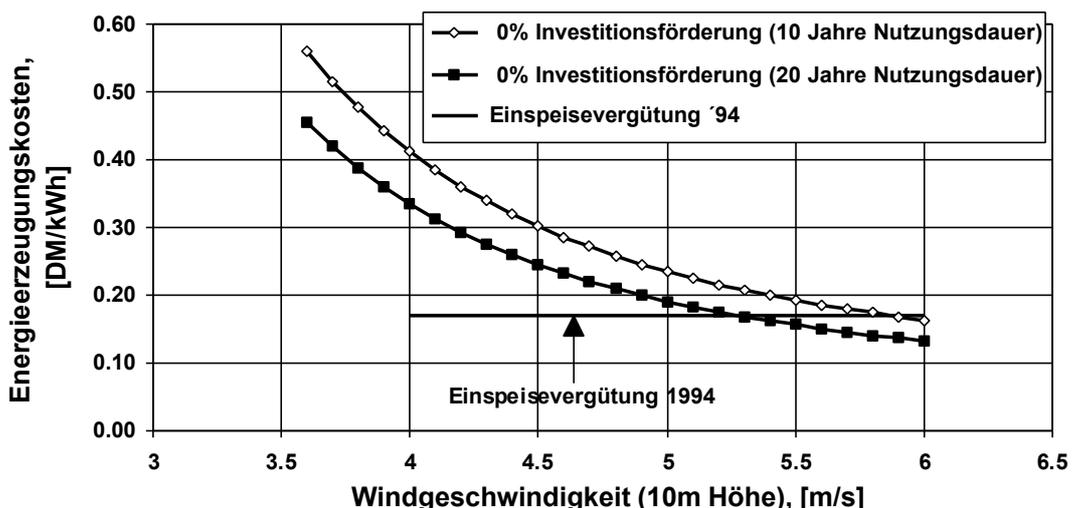


Abb. 1: Energieerzeugungskosten einer 500 kW WKA (40 m Rotordurchmesser) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei 10- bzw. 20-jährige Nutzungsdauer ohne staatliche Förderung.

Fig. 1: Energy generation costs of a 500 kW wind turbine (40 m rotor diameter) depending on annual wind speed for a 10 or 20 years use without public subsidies.

dauer fällt auf, ist aber mit all den oben genannten betrieblichen Unsicherheiten belastet. Dagegen wird bei der realistischeren 10-jährigen Betrachtungsweise deutlich, daß in Bezug auf die momentan gültige

Einspeisevergütung erst bei einer Windgeschwindigkeit von rund 5,8 m/s über Grund ein wirtschaftlicher Betrieb ohne Förderung möglich ist.

4. Verschiedene Anlagengrößen

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der im Vorfeld eines Windenergieprojekts behandelt werden muß, ist die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Anlagengrößen. In Abb. 2 sind im Vergleich eine 100 kW, eine 300 kW und eine 500 kW-Windenergieanlage mit ihren Energieerzeugungskosten aufgetragen. Wie deutlich aus der Grafik abzulesen ist werden die Energieerzeugungskosten mit steigender Anlagengröße günstiger. Aber es ist auch abzulesen, daß 100 kW und 300 kW Windenergieanlagen ohne Förderung heute kaum wirtschaftlich betrieben werden können und wie oben schon erwähnt, es auch für den wirtschaftlichen Betrieb von 500 kW Anlagen nur relativ wenige Standorte in Deutschland gibt, die die Bedingung von 5,8 m/s mittlerer Jahreswindgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund erfüllen. Im weiteren werden die Betrachtungen daher auf die 500 kW Anlagen konzentriert.

5. Die Nebenkosten

Wesentlichen Einfluß darauf, ob ein Windkraftanlagenprojekt wirtschaftlich erfolgreich sein wird, haben die Nebenkosten. Aufgrund von Umfragen unter einigen Betreibern von Windkraftanlagen konnten Daten für die mittleren Werte sowie die Spannweiten dieser Nebenkosten gewonnen werden. Eine genauere Betrachtung über die Höhe der Nebenkosten ist bei [1], [2] und [3] zu finden.

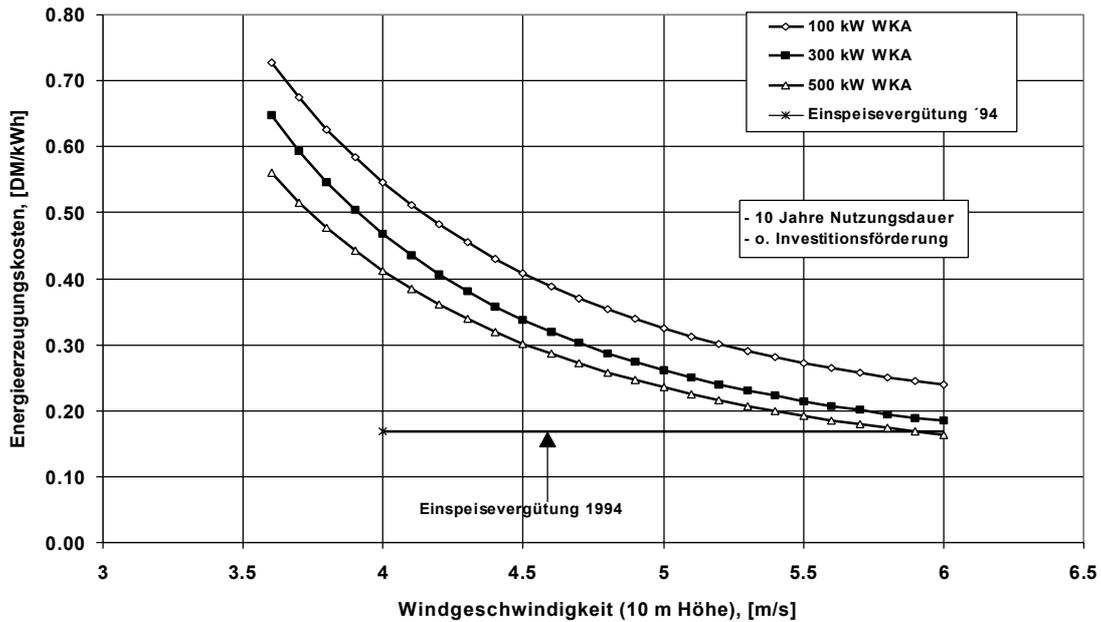


Abb. 2: Energieerzeugungskosten einer 100 kW, einer 300 kW und einer 500 kW Windkraftanlage in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für eine 10-jährige Nutzungsdauer ohne staatliche Förderung.

Fig. 2: Energy generation costs of a 100 kW, a 300 kW and a 500 kW wind turbine depending on annual wind speed for a 10 years use without public subsidies.

Der von [3] in einer nicht repräsentativen Umfrage erhobene Mittelwert der Nebenkosten beträgt 24,14 % des Listenpreises der Windkraftanlagen. Er deckt sich damit fast mit unserem allgemeinen Ansatz von 25 %.

In Abb. 3 sind neben dem Mittelwert auch die aufgetretenen Extremwerte der Nebenkosten mit 14,33 % und 39,76 % des Listenpreises als Parameter für die Energieerzeugungskosten eingegangen. Bei den niedrigen Nebenkosten sinkt die für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderliche mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf 5,6 m/s, dagegen steigt sie bei den hohen Nebenkosten auf rund 6,3 m/s.

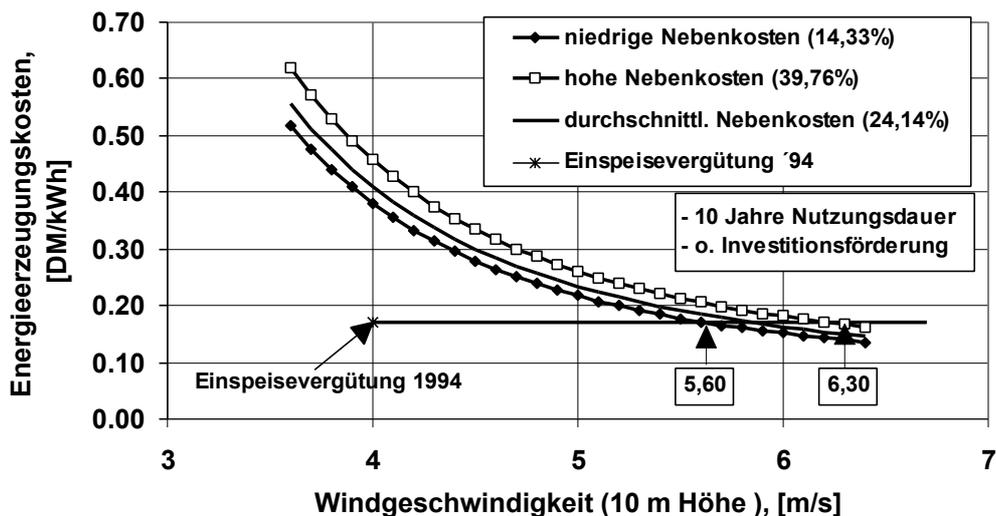


Abb. 3: Energieerzeugungskosten einer 500 kW WKA (40 m Rotordurchmesser) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei 10-jährige Nutzungsdauer, ohne staatliche Förderung, bei unterschiedlichen Nebenkosten.

Fig. 3: Energy generation costs of a 500 kW wind turbine (40 m rotor diameter) with respect to different additional costs depending on annual wind speed for a 10 years use without public subsidies.

6. Windpark oder Einzelanlage

Aus den Ergebnissen des vorherigen Abschnitts läßt sich aber auch eine weitere Frage sehr schnell beantworten, nämlich die, ob es wirtschaftlich sinnvoller ist, eine Einzelanlage zu betreiben oder sich an einem Windpark zu beteiligen.

Wie aus anderen Untersuchungen [3] bekannt ist, liegen die Nebenkosten pro Windenergieanlage in einem Windpark, bezogen auf den Listenpreis, bei durchschnittlich 20 %, während sie für Einzelanlagen bei durchschnittlich 24 % liegen. Bei der Errichtung von Windparks werden oft von den Herstellern Preisnachlässe bei der Abnahme mehrerer Anlagen gewährt, die im Regelfall zwischen 5 und 15 % liegen und in Extremfällen sogar bis zu 20 % reichen. Bei einem 10 %igen Preisnachlaß für die einzelne Anlage gegenüber dem Listenpreis ergeben sich zusammen mit dem mittleren Wert von 20 % für die Nebenkosten pro Anlage in Windparks nur noch Mehrkosten für das Gesamtprojekt von rund 10 % pro Anlage gegenüber dem Listenpreis. Selbst unter Berücksichtigung eines Parkwirkungsgrads von 88-92 % bleibt immer noch ein klarer wirtschaftlicher Vorteil der Windparkanlage im Vergleich zur Einzelanlage. Vor diesem Hintergrund sind, ökonomisch gesehen, Windparks zu bevorzugen. Allerdings sei darauf hingewiesen, daß sich im Einzelfall durch günstige Infrastrukturbedingungen für Einzelanlagen die wirtschaftliche Vorteilhaftigkeit umkehren kann.

7. Die Förderung

Die bisherigen Ergebnisse wurden ohne jegliche Investitionsförderung berechnet. Unter Einbeziehung der aktuellen Obergrenzen der niedersächsischen Förderpraxis (max. 17 % der Investitionssumme an der Küste und max. 25 % in Schwachwindgebieten) ergibt sich eine Verschiebung der Wirtschaftlichkeitsgrenze in Bezug auf die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Grund von 5,8 m/s auf 5,4 m/s bei einer 17 %igen Förderung und auf 5,2 m/s bei einer 25 %igen Förderung (Abb. 4). Damit werden zusätzliche Standorte weiter im Binnenland für eine wirtschaftliche Nutzung der Windenergie gewonnen, eine wichtige Voraussetzung um die heute erreichte Marktgröße zu erhalten. Die staatliche Förderung sollte nur in dem Maß zurückgeschraubt werden, wie sichergestellt ist, daß die erforderlichen Standortwindgeschwindigkeiten in genügendem Umfang vorhanden sind, um den Markt in seiner Größe und damit seiner kostensenkenden Effektivität aufrechtzuerhalten.

8. Ausblick und Notwendigkeiten

Die Windenergie ist heute an einem Punkt angelangt, in dem sie zum einen an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit steht und zum anderen dabei ist, einen echten Beitrag zur Reduktion des Schadstoffausstoßes und der Ressourcenschonung zu leisten. Um diesen für das Überleben auf unserem Planeten wichtigen Beitrag weiter forciert auszubauen, sind bestimmte Voraussetzungen notwendig, die das Überleben der Windenergie garantieren. Zum einen ist es auf Jahre hinaus unabdingbar, daß das Energieeinspeisegesetz nicht zurückgenommen wird und daß zumindest mittelfristig auch eine Förderung zum Ausbau der Windenergie gewährt wird. Die Rücknahme des Energieeinspeisegesetzes

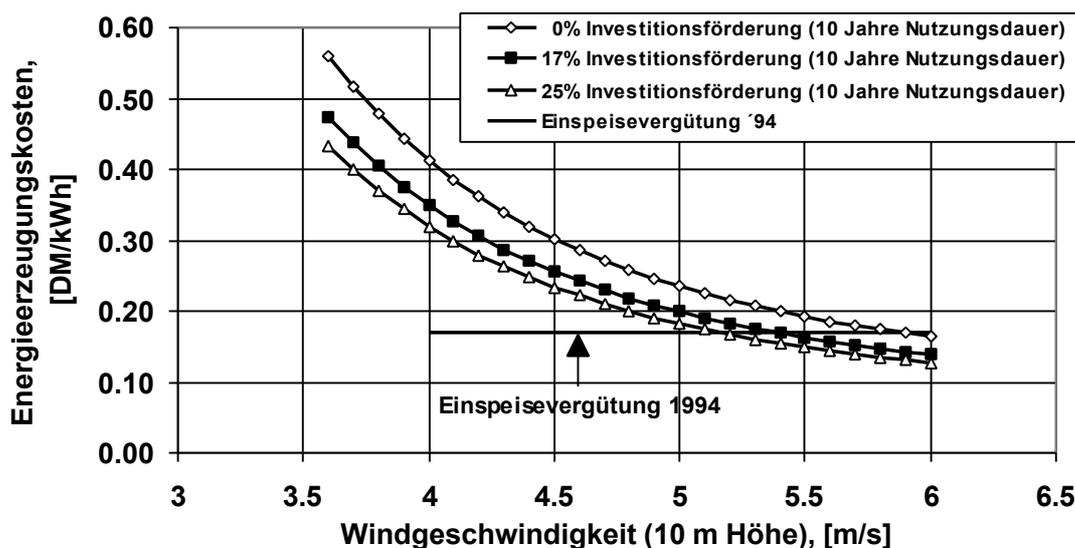


Abb. 4: Energieerzeugungskosten einer 500 kW WKA (40 m Rotordurchmesser) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei 10-jähriger Nutzungsdauer und bei unterschiedlich hohen staatlichen Investitionsförderungen.

Fig. 4: Energy generation costs of a 500 kW wind turbine (40 m rotor diameter) depending on annual wind speed for a 10 years use without public subsidies and with respect to varying public subsidies.

oder das Streichen der Windenergieförderung würden dazu führen, daß der Windenergiemarkt zusammenbricht. Die Abkehr von einer zukunftsorientierten Energiepolitik würde unübersehbaren ökologischen und ökonomischen Schaden hervorrufen. Zum einen würde damit eine Maßnahme zur CO₂-Reduktion, die ja nach politischem Bekunden bis zum Jahr 2005 25-30 % betragen soll, wegfallen, mit allen daraus resultierenden negativen Folgen für Umwelt und Natur und damit zum Schaden der Volkswirtschaft. Zum anderen würde einem gerade an Boden gewinnenden zukunftsorientierten Wirtschaftszweig die Existenzgrundlage entzogen, und dies zu einem Zeitpunkt wo die Beschäftigungs- und Umsatzzahlen in der Windenergie an erheblicher Bedeutung gewonnen haben und weiter ansteigend sind [4]. Es ist außerdem zu erwarten, daß die positive Entwicklung der Wirtschaftlichkeit mit den in der Entwicklung befindlichen 1-MW-Windkraftanlagen weitergeht und damit der Anteil der Windenergie an der Energieversorgung wächst.

Derzeit ist zu erwarten, daß sich die rapide Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Windenergie fortsetzen wird, erste Preissenkungen für das Jahr 1995 sind bereits angekündigt. Berechnungen wie die vorliegende haben damit den Charakter einer befristet gültigen Momentaufnahme. Außerdem beziehen sie sich auf typische durchschnittliche Projekte. Aufgrund der im Einzelfall immer unterschiedlichen Voraussetzungen erscheint es dringend geboten, zur Vermeidung eines späteren unliebsamen Erwachens, die individuellen Planungsparameter vorsichtig anzusetzen und auch immer eine wenn möglich unabhängige Wirtschaftlichkeitsanalyse einzuholen.

9. Literatur

- [1] Everding, H.; Keuper, A.; Veltrup, M.: Der steinige Weg zur eigenen Windkraftanlage -Ergebnisse der DEWI-Betreiberumfrage. In: DEWI Magazin (1993), Nr. 3, S. 5-39.
- [2] Veltrup, M.; Schwenk, B.: Möglichkeiten zur ökonomischen Optimierung von Windparks. DEWEK '94 Tagungsband (1994), In Druck.
- [3] Schwenk, B.: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei Windparkinvestitionen. - Diplomarbeit, 1994., Fachhochschule Wilhelmshaven, Fachbereich Wirtschaft,
- [4] Keuper, A., Schmidt, A., Veltrup, M.: Die Windenergieindustrie in Deutschland - Umsatz und Beschäftigung. In: DEWI Magazin (1994), Nr. 5, S. 21-26.