

Einsatzbereiche von Windenergieturbinen

von Dr. Horst Selzer

Wie bei vielen neuen Produkten ist auch bei den Windanlagen eine Vielzahl von unterschiedlichen Größen zu beobachten. Die zu erwartenden Anwendungsgebiete sind aus Abb. I zu entnehmen, wobei natürlich die Grenzen fließend sind. Im Prinzip hängt die gewählte Rotorgröße von dem Energiebedarf ab, da dieser aber stark schwanken kann, muß ein Windrotor immer im Verbund mit anderen Energiequellen – z.B. Netz oder Dieselgenerator – betrachtet werden. Deshalb wird der sich allmählich abzeichnende Markt noch weiterhin stark von den äußeren Randbedingungen abhängen, von denen insbesondere die Anlagekosten und die Tarife für die Stromspeisung ins Netz zu nennen sind.

In zwei Fällen der ausschließlichen Netzeinspeisung sind die Tendenzen bereits jetzt deutlich erkennbar:

- die Windfarmen in den USA begannen vor 5 Jahren mit Klein-WEK und verschoben den Schwerpunkt der Anlagengröße allmählich in die 100-300 kW-Klasse, nachdem diese verfügbar geworden war

- die Energieversorgungsunternehmen in Europa werden im Falle einer großtechnischen Anwendung der Windenergie die Großanlagen im Megawattbereich bevorzugen.

Die Gründe für diese Entwicklung lassen sich anhand der Kostenvergleiche leicht verständlich machen.

- Gesamtkosten einschließlich der Kosten für Infrastruktur, d.h. Zuwegung, Netzanschluß, Betriebsgebäude, Zaun usw. Unter Umständen müssen auch die Grundstückskosten einbezogen werden.

Eine relativ gesicherte Aussage läßt sich bei Klein-Anlagen „ab Werk“ machen. Abb. II zeigt die Abhängigkeit von der Rotorgröße. Für dänische Anlagen wurden den Katalogen auch die entsprechenden Kosten incl. Installation entnommen, d.h. eine Zunahme um ca. 30 % gegenüber „ab Werk“-Basis.

Die meisten Anlagen im Bereich 100 bis 300 kW haben gerade den Status der Kleinserien-Produktion erreicht und sind daher noch nicht in Preislisten aufgenommen worden. Die „ab Werk“-Kosten wurden dennoch eingetragen, um die Tendenz auszunutzen. Die entsprechenden Aufschläge für die Installation fehlen, sie werden aber von den Herstellern mit 15 % bis 30 % genannt.

Für die Stromerzeugungskosten sind letztlich aber die Gesamtkosten maßgeblich, für die noch größere Unsicherheiten bestehen, da die örtlichen Rand-

Kosten

Beim Vergleich von Kosten muß man drei verschiedene Bezugsgrößen beachten:

- Maschinenkosten ab Werk,
- Maschinenkosten einschließlich Transport, Fundament und Montage (d.h. installiert),

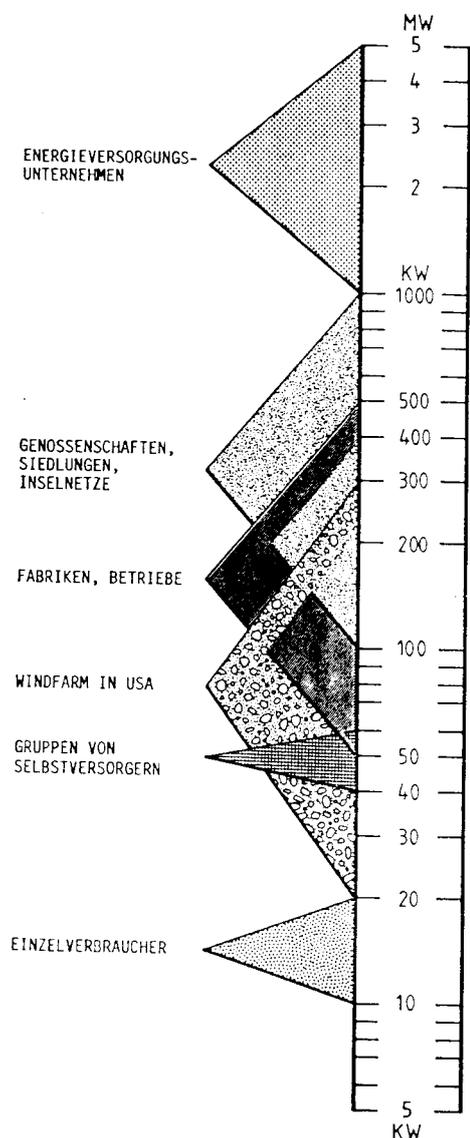


Abb. I Größen und Einsatzbereiche von Windenergieanlagen

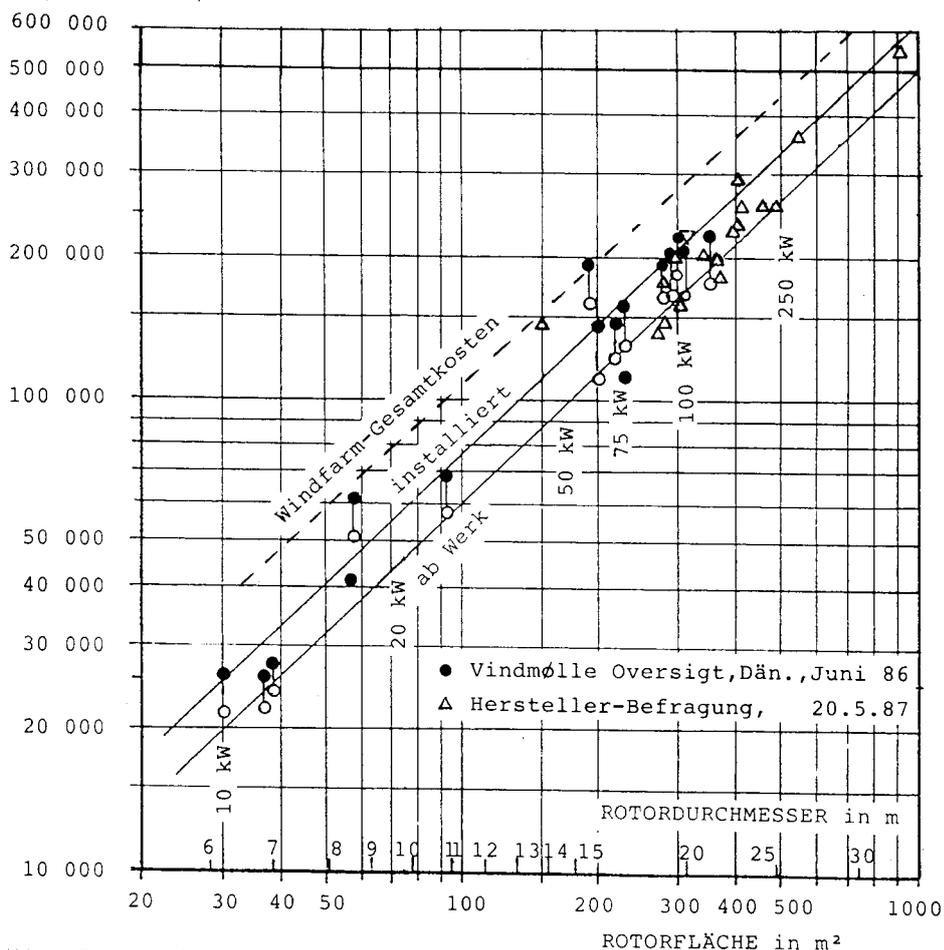


Abb. II Preise von Windenergiekonvertern aus Serienproduktion
Stand: 1. 6. 86 (1 DM = 3,60 Dkr = 1,10 Hf)

bedingungen sehr stark variieren können. Um wenigstens einen tendenziellen Anhalt geben zu können, seien folgende Richtwerte genannt:

- Leistungsklasse 20 - 50 kW: Zusatzkosten bis zu 100 % auf „ab Werk“-Kosten, wie Kaliforniens Windfarmen gezeigt haben
- Leistungsklasse um 250 kW: Zusatzkosten zwischen 60 % und 100 % nach telefonischer Aussage der Hersteller
- Leistungsklasse Megawatt: Zusatzkosten im Bereich von 10 % bis 20 % nach Aussagen der Energieversorgungsunternehmen in Dänemark und Schweden.

In der öffentlichen Diskussion werden meistens nur die Lieferkosten der Maschinen betrachtet und miteinander verglichen, wodurch u.U. falsche Schlüsse gezogen werden. Eine Bewertung der Kosten erfolgt am besten auf der Basis der spezifischen Kosten. Hier interessieren als Bezugsbasis

- die installierte Leistung, Abb. III
- die jährliche Energieproduktion in einem Referenzstandort, Abb. IV
- die Rotorfläche, Abb. V

Die Abb. III enthält sowohl Werte aus einer 1981/82 erarbeiteten EG-Studie als auch ganz neue Daten. Das Kostenminimum liegt bei 200 - 300 kW installierter Leistung. Da die Nennleistung jedoch bei verschiedenen Anlagen nicht bei der gleichen Windgeschwindigkeit erreicht wird, erlaubt dieser Wert durch Wahl eines u.U. zu großen Generators eine gewisse Schöpfung der Kosten. Wesentlich diskussionsfreier stellt sich die Tendenz in Abb. IV dar, aus der aber ebenfalls das Kostenminimum um 200 kW Leistung mit ca. 0,75 DM/Jahres-kWh in einem guten Standort der deutschen Nordseeküste (Rauhigkeitsklasse 1 der dänischen Klassifikation) resultiert. Aus diesem Wert - Kosten pro Jahreskilowattstunde - können die tatsächlichen Kapitalkosten pro kWh errechnet werden.

Im Vergleich zu diesen mittelgroßen Anlagen liegen für die 3 MW-Anlagen die entsprechenden Kostenerwartungen bei 1,70 DM/Jahres-kWh in 100er Serie.

Auf diese Zahlen müssen dann noch die jeweiligen Infrastrukturkosten aufgeschlagen werden, um die Gesamtkosten zu erhalten.

Die dritte Darstellungsart - Kosten bezogen auf die Rotorfläche - ergibt in der Abb. V ein überraschendes Ergebnis. Diese spezifischen Kosten erlangen ebenfalls bei ca. 25 m Rotordurchmesser ein Minimum und steigen dann wieder an. Die Bewertung dieser Ergebnisse wird aber durch den Umstand verfälscht, daß wegen der Höhenabhängigkeit des Windprofils die Turmhöhe eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt, und daß Großanlagen daher auch höhere flächenspezifische Kosten aufweisen dürfen. Trotz verschiedener interessanter Aspekte, die sich aus der Abb. V herauslesen lassen, bleibt die energie-spezifische Darstellung in Abb. IV für die weitere Diskussion die beste Grundlage.

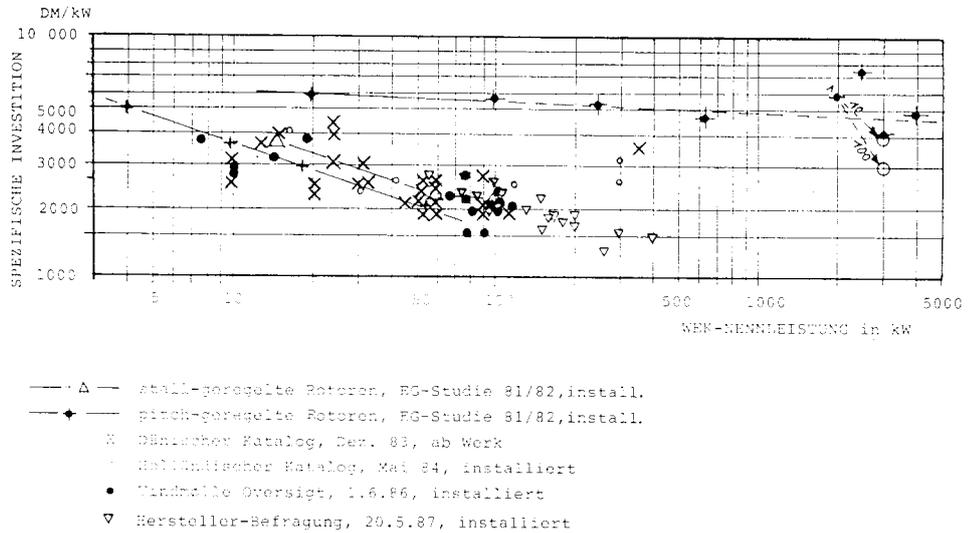


Abb. III Spezifische Investitionen von Windenergiekonvertern

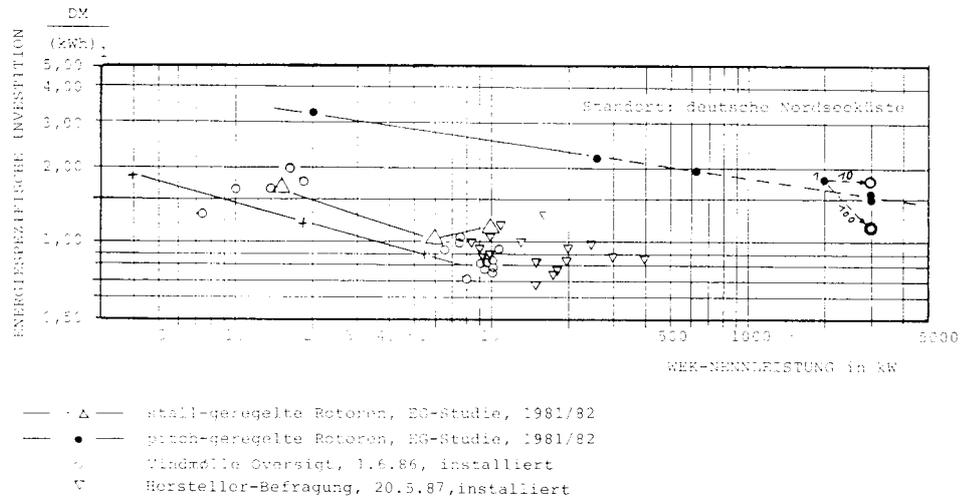


Abb. IV Spezifische Kosten für die Energieproduktion eines Jahres

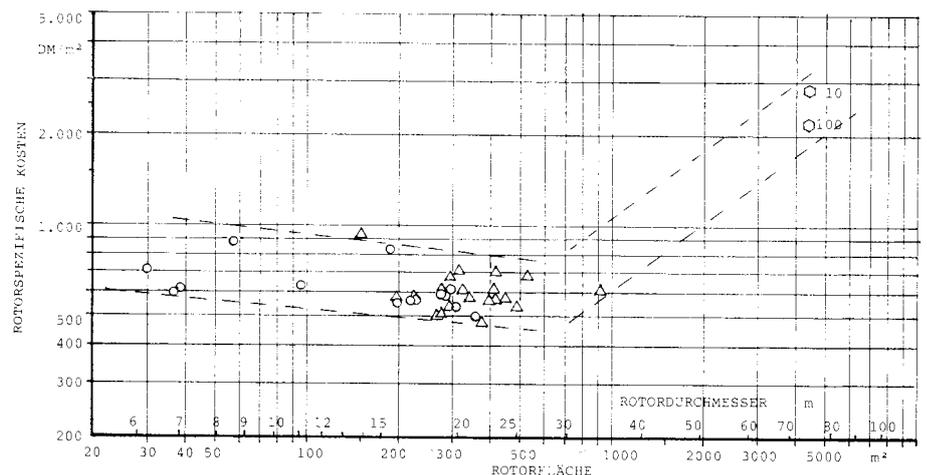


Abb. V Vergleich der flächenbezogenen Kosten von Windturbinen; Preis ab Werk

Kostenvergleich Klein-/Groß-WEK

Oft hört man die Aussage, kleine bzw. mittelgroße WEK seien preiswerter als große. Auf den ersten Blick hin unterstreichen die Diagramme diese Feststellung.

In der folgenden Tabelle wird ein zahlenmäßiger Vergleich unter Einbeziehung des Zinsdienstes durchgerechnet:

Das Ergebnis dieser Vergleichsrechnung zeigt deutlich, daß Groß-WEK trotz der höheren spezifischen Kosten kommerziell mit den gegenwärtig preiswertesten Anlagen um 200 kW konkurrieren können. Hierbei muß natürlich der Umstand bedacht werden, daß die Kosten für 200 kW-Anlagen relativ gut abgesichert sind, während sie für 3 MW-Anlagen noch Prognosen darstellen. Weiterhin sollte man auch bedenken, daß aufgrund des Entwicklungsstandes eine weitere Kostensenkung bei der 200 kW-Klasse nur noch in geringem Maße zu erwarten ist und somit die Konkurrenzfähigkeit der Megawattklasse im wesentlichen davon abhängt, ob sie den Durchbruch zu einer Serienproduktion schafft. Dieser Zusammenhang wird in dem Diagramm der Abb. VI gut veranschaulicht, aus der auch die in wenigen Jahren erzielten Fortschritte zu entnehmen sind.

Diskussion

Die Analysen und Vergleiche weisen die 200 kW-Klasse als die momentan preiswerteste Rotorgröße aus. Wegen des Prinzips der Stall-Regelung sind kostengünstigere Vergrößerungen des Rotors ebenso wenig zu erwarten wie weitere erhebliche Kostensenkungen durch Serienproduktion, da diese bereits angelaufen ist. Auf der anderen Seite kann man auch einen großen Bedarf für lokale Stromerzeugung in der Welt erkennen, so daß hieraus mit Wahrscheinlichkeit ein Beitrag in der Elektrizitätswirtschaft weltweit erwartet werden kann.

Die Groß-WEK sind gegenwärtig im Vergleich noch erheblich teurer und weniger erprobt. Die Anlagen in Schweden haben aber bewiesen, daß diese Rotorgröße um 75 m Durchmesser technisch sicher beherrscht werden kann und daß in Zukunft bei Serienfabrikation mit Kosten zu rechnen ist, die zu niedrigeren Stromerzeugungskosten als durch die 200 kW-Klasse führen. Fragen der Landnutzung werden außerdem in den dichtbesiedelten Industrienationen wie z.B. der Bundesrepublik einen Ausschlag zugunsten der Großanlagen geben. Deshalb kann ein nennenswerter Beitrag zur zentralen Stromversorgung in der Bundesrepublik nur durch Groß-WEK gesehen werden, und es ist daher an der Zeit, die Einflüsse nicht erfolgreicher Projekte zu überwinden und alle gesammelten Erfahrungen für den Beweis der technischen und wirtschaftlichen Voraussagen einzusetzen.

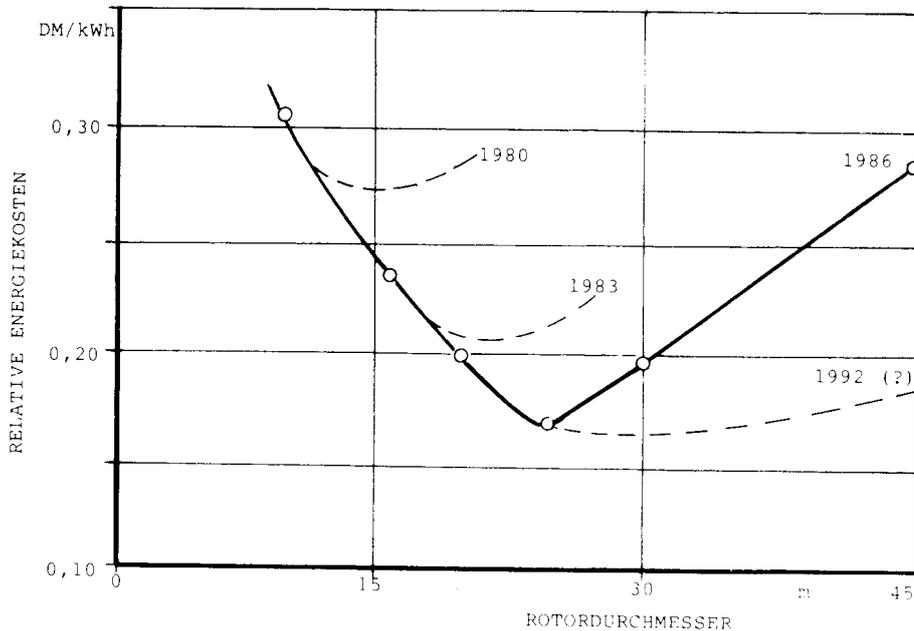


Abb. VI Relative Kosten der Elektrizität von Windturbinen ohne Infrastrukturkosten (Quelle: Beurskens)

	200 kW	3 MW		
Kosten (installiert)				
Prototyp		18.000.000		DM
Klein-Serie (10)			12.000.000	DM
Groß-Serie (100)	320.000	9.000.000		DM
Infrastruktur				
+ 30 %	96.000			DM
+ 10 %		900.000	900.000	DM
Grundstück				
40 000 m ² à 1,50 DM/m ²	60.000			DM
5 600 m ² à 1,50 DM/m ²		8.400	8.400	DM
Gesamtkosten	476.000	9.908.400	12.908.400	DM

	200 kW	3 MW		
Kosten pro Jahr				
1. Kapitaldienst*				
Annuität 0,13 (10 J./5 % Zinsen)	61.880			
Annuität 0,096 (15 J./5 % Zinsen)		951.206	1.239.206	DM
Wartung/Reparatur 1,5 % 1,0 %	7.140	99.084	99.084	DM
Betrieb/Versicherung. 1,0 % 1,0 %	4.760	99.084	99.084	DM
Summe Kosten/Jahr	73.780	1.149.374	1.437.374	DM
Energieerzeugung/Jahr	400.000	7.100.000	7.100.000	kWh
Energieerzeugungskosten in DM/kWh	0,184	0,162	0,202	

* Kommerzielle Lebensdauer = 50 % der technischen Lebensdauer