

Die Situation der Windenergienutzung in Dänemark

von Dipl.-Ing. Poul Nielsen
(Verband der dänischen Elektrizitätswerke)

Auf Grund der Ölkrise in den siebziger Jahren ergriff man in Dänemark sehr schnell die Initiative, das Land weniger abhängig vom importierten Öl zu machen.

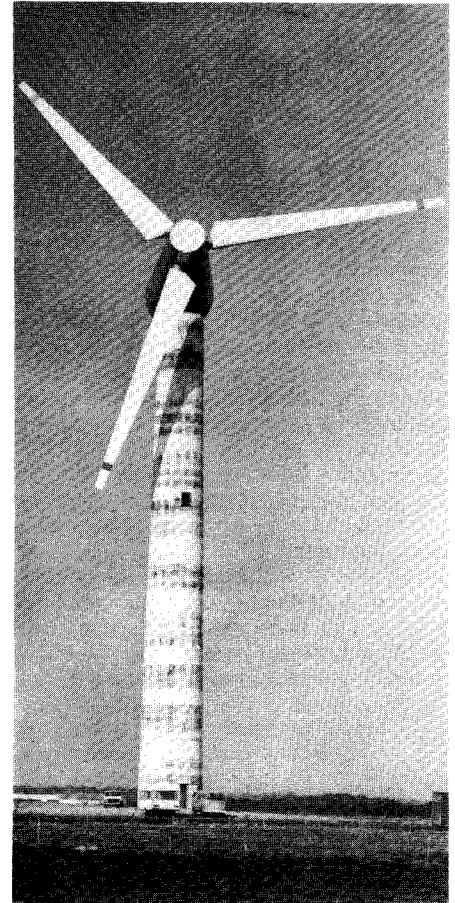
Als erster Schritt in diese Richtung wurden die meisten Kraftwerke von Ölfeuerung auf Kohlebetrieb umgestellt, und soweit wie möglich, wurde die Abwärme der Kraftwerke auch für Heizzwecke genutzt, das heißt: Kombinierte Erzeugung von Wärme und Elektrizität. Diese Umstellung ist jetzt weit fortgeschritten, aber noch nicht abgeschlossen.

Es soll auch gesagt werden, daß bedeutende Mittel auf dem Sektor der Energieeinsparung investiert worden sind. Unter anderem für bessere Wärmeisolation des bestehenden Wohnungsbestandes – und generell für eine bessere Ausnutzung der erzeugten Elektrizität.

Sehr schnell begann man auch damit, andere Formen erneuerbarer Energiequellen auszunutzen, so auch Windkraft. Die dänischen Windkraft-Aktivitäten wurden bisher in zwei Richtungen vorgetrieben. Der Staat und die Elektrizitätswerke haben seit 1977 ein gemeinsames Programm zur Entwicklung großer Windkraftanlagen, und parallel damit haben Herstellern und Privatpersonen eine beträchtliche Anzahl kleinerer Windkraftanlagen entwickelt und gebaut. Die Entwicklung kleinerer Anlagen wird heute durch einen Staatszuschuß von 15 % der Investitionskosten gefördert. Früher waren es 30 %.

Es muß noch gesagt werden, daß ein weiterer Ausbau der Windkraft in der Elektrizitätsproduktion Anfang 1986 zwischen der dänischen Regierung und den EVU's verabredet wurde.

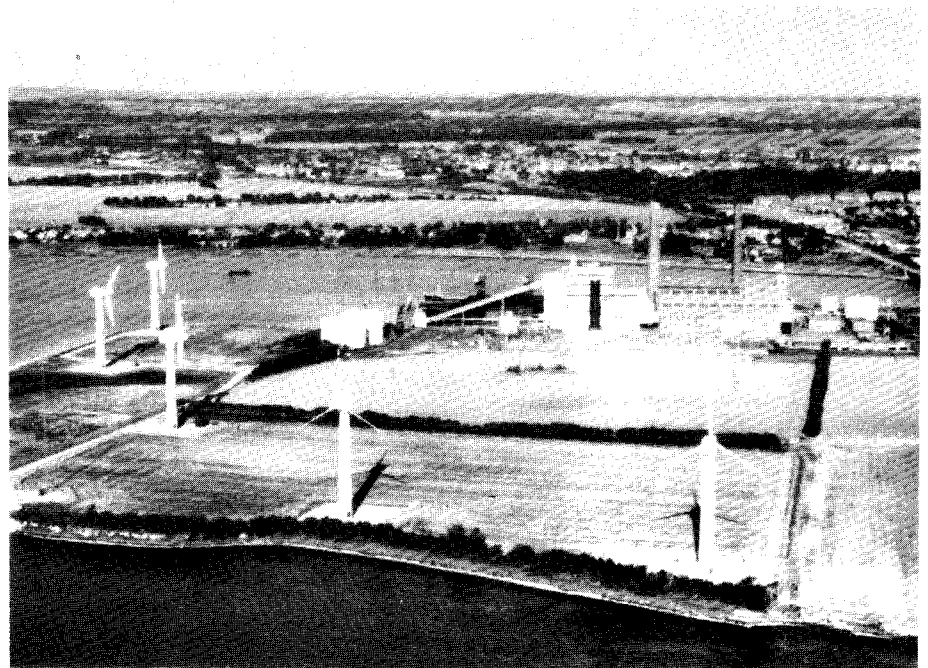
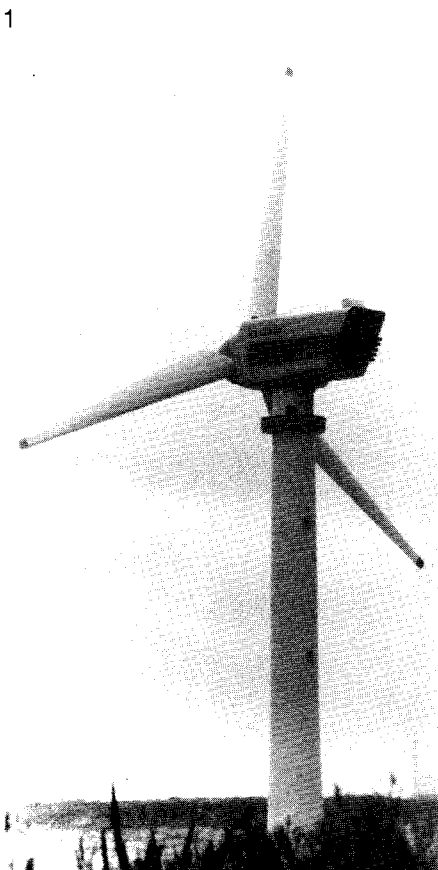
Dieser Verabredung zufolge müssen die EVU's ohne jegliche Subvention bis 1990 weitere 100 MW Kapazität als Windkraft-Anlagen in Betrieb setzen – ungefähr gleich geteilt zwischen den beiden Organisationen EL-SAM und EL-KRAFT. Dadurch wurde ein weiterer Ausbau der Windkraft gesichert, und zugleich konnte dies der Ausbau-Planung der Elektrizitäts-Gesellschaften angepaßt werden.



2

- | |
|--|
| 1: Esbjerg Windmühle
2: Nibe Windmühle
3: Masnedø Windmühlen |
|--|

3



Große Windmühlen in Dänemark.

Die Arbeit mit großen Windkraftanlagen hat sich bisher auf vier Hauptgebiete konzentriert.

Windverhältnisse

Die Windverhältnisse wurden mit Hilfe eines sogenannten „Windatlas“ aufgezeichnet, wobei das Wort Atlas natürlich nicht in seiner normalen geographischen Bedeutung verstanden werden soll. Es dreht sich hier um eine Methode, nach der man die jährliche Energieerzeugung für eine bestimmte Windmühle in einem bestimmten Gebiet berechnen kann. Die Methode wurde von Risø in Dänemark entwickelt. Inzwischen gibt es auch einen europäischen Windatlas.

Standortuntersuchungen

Die erste sich bietende Aufgabe war also die Untersuchung der dänischen Windverhältnisse, um danach die günstigsten Standorte im Lande aufzuzeigen, an denen die Platzierung von Windmühlen technisch möglich erschien, ohne mit anderen Planungsinteressen zu kollidieren, wie z.B. Naturschutz, Flugplätze, militärische Gebiete u.s.w.

In Dänemark gibt es geeignete Gebiete, für eine Energieerzeugung von 4 Milliarden kWh pro Jahr. Das wird im Jahre 1995 10 bis 15 Prozent des voraussichtlichen Energieverbrauches entsprechen.

Einordnung in das Elektrizitätssystem

Über die Anpassung an das Elektrizitätssystem möchte ich nur sagen, daß eine umfassende Untersuchung erwiesen hat, daß mit einer steigenden Anzahl von Windmühlen Fälle vorkommen können, bei denen die gesamte Stromerzeugung größer sein wird als der augenblickliche Strombedarf.

Zur Zeit wird untersucht, ob die konventionellen Kraftwerke schnell genug sein werden, die Leistungsvariationen der Windmühlen zu kompensieren.

Technologieentwicklung

Die beiden Mühlen in Nibe sind im großen und ganzen als eine Weiterentwicklung der Konstruktion der alten Gedser Mühle aufzufassen. Sie sind bis auf die Flügel identisch. Der Rotordurchmesser beträgt 40 m und die Generatorleistung 630 kW.

Per 1. Juni 1987 sah die Betriebsstatistik wie folgt aus:

Nibe A:	Betriebszeit:	6.060 Stunden
	Produktion:	1.297 MWh
Nibe B:	Betriebszeit:	15.467 Stunden
	Produktion:	4.019 MWh

Die stark unterschiedliche Zahlen resultieren daraus, daß Nibe A die meiste Zeit des letzten Jahres auf Grund defekter Flügel und defekter Getriebe stillgelegt war. Zur Zeit läuft Nibe A nur zu Meßzwecken.

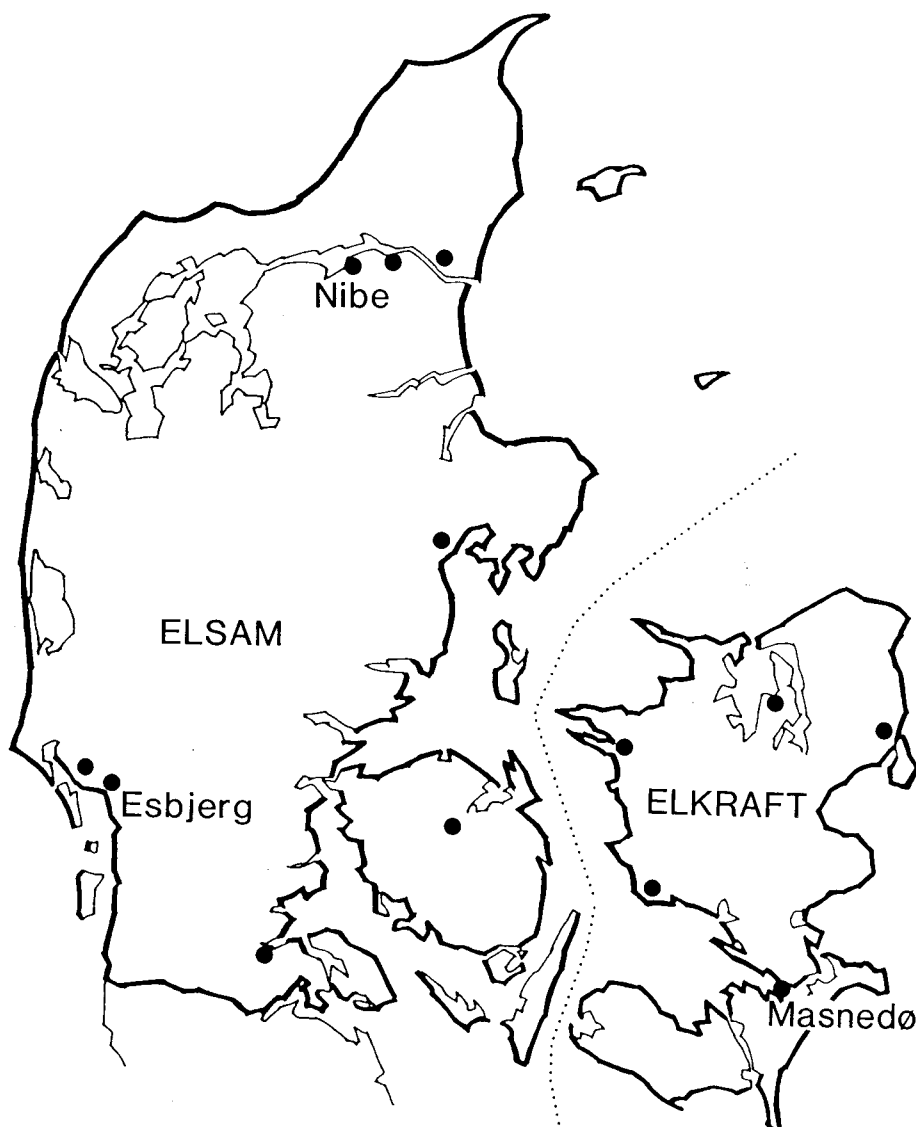
Im Januar 1984 sind neuentwickelte Holzflügel auf Nibe B montiert worden und seit dieser Zeit gibt es hauptsächlich gute Betriebsergebnisse mit dieser Mühle. (Betriebszeit mit Holzflügel: 11.557 Stunden).

Als Beitrag zum Windenergieprogramm hat ELKRAFT einen Windenergie-Park mit 5 Mühlen von Nibe Größe errichtet.

Diese werden jetzt auf dem Gelände des Masnedø-Werks nahe Vordingborg in Betrieb gesetzt. Die Anlage ist heute der größte Windenergie-Park Europas.

Die Mühlen haben eine Höhe von 45 m, einen Rotordurchmesser von 40 m und einen 750 kW Generator. Die Investition beträgt insgesamt 60 Mill. dänische Kronen (16 Mill. DM). Die jährliche Produktion der 5 Mühlen soll 7,5 GWh betragen.

Über das ELSAM-Projekt (Esbjerg Mühle) soll hier nur erwähnt werden, daß es sich um eine Mühle mit einem Rotor von 60 Metern und einem 2-MW-Generator handelt. Die Anlagenarbeiten sind in Gang, und der Standort ist wie gesagt südlich von Esbjerg. Die Mühle wird voraussichtlich Ende '87 in Betrieb gehen.



Standort der drei größten Windmühlenanlagen in Dänemark: Nibe, Masnedø und Esbjerg.

Kleine Windmühlen in Dänemark

3

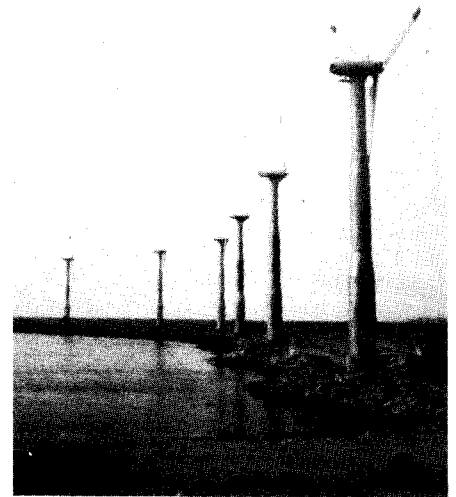
Kleine Windmühlen in Dänemark waren am Anfang, in den siebziger Jahren gekennzeichnet durch drei abgesteifte Flügel, Luv-Läufer mit automatischer Windrichtungsnachführung, Stallregelung der Leistung bei größeren Windstärken, Anwendung eines Asynchrongenerators und schließlich durch direkten Netzanschluß.

Heute haben kleine Windmühlen normalerweise freitragende Glasfibrerflügel, das Grundkonzept ist jedoch das gleiche. Der Turm ist entweder ein Gittermast oder ein zylindrischer Stahlturm.

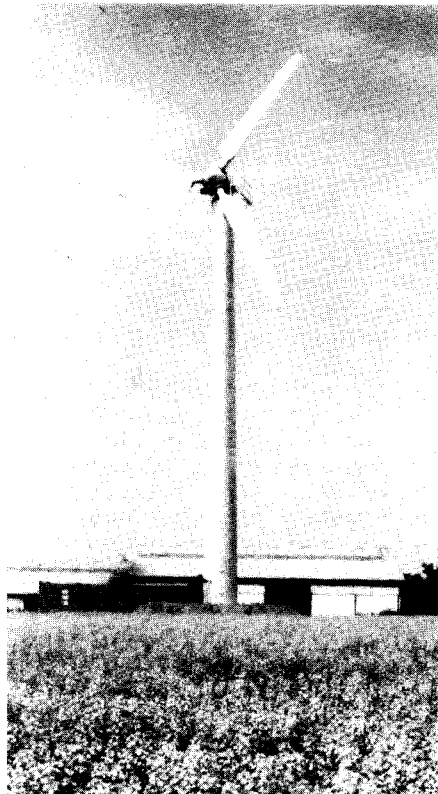
Die am häufigsten gebaute Mühle in Dänemark hat einen primären Generator von 100 kW und einen sekundären Generator von 15 kW, einen Flügeldurchmesser von etwa 18 Metern und eine Turmhöhe von 22 bis 24 Metern. Größere Mühlen mit einer elektrischen Leistung von 150 bis 250 kW sind entwickelt worden, und werden jetzt in Betrieb gesetzt.

Es gibt weiterhin Vielblattrotoren, die hauptsächlich zur Wärmeenergieerzeugung angewandt werden.

Heute gibt es 15 Windmühlenparks in Dänemark. In den kommenden Jahren wird diese Zahl erheblich höher sein.



1



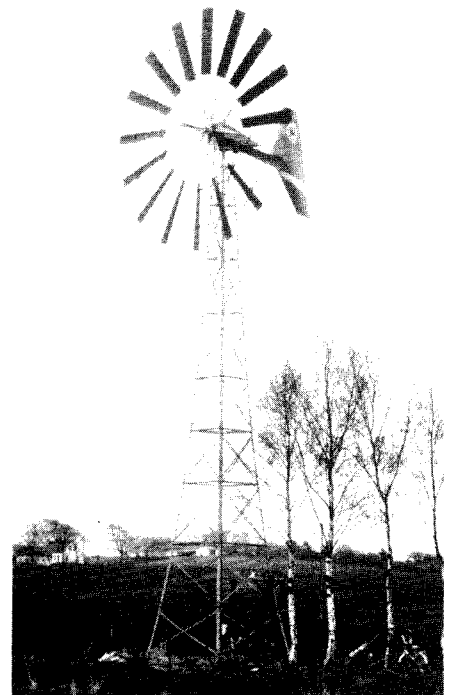
Anschlußbestimmungen

Der Verein Dänischer Elektrizitätswerke hat schon vor zehn Jahren folgende allgemeine Bedingungen für den Anschluß privater Windmühlen an das öffentliche EI-Versorgungsnetz aufgestellt:

1. Der Anschluß privater Windmühlen muß der lokalen EI-Gesellschaft von einem zugelassenen Elektro-Installateur angemeldet werden.
2. Die Genehmigung zum Anschluß einer Windmühle hängt davon ab, daß sie keine störenden Spannungsschwingungen in dem EI-Versorgungsnetz verursacht.
3. Die Anlage ist so auszuführen, daß die Mühle automatisch ausgekoppelt wird, und zwar sowohl bei auftretenden Fehlern an der Mühle als auch am EI-Versorgungsnetz.

4. Stromerzeugende und netzangeschlossene Mühlen müssen einen Betriebsleiter haben, der beim Elektrizitätsrat angemeldet und von diesem zugelassen werden muß.
5. Zwischen der EI-Gesellschaft und dem Betriebsleiter der Mühle soll eine Zusammenarbeitsvereinbarung eingegangen werden, und zwar hinsichtlich der Ein- und Auskoppelung der Mühle zu Zeiten, wo an der Mühle oder am Versorgungsnetz gearbeitet wird.
6. Die EI-Gesellschaft hat zu jeder Zeit selber das Recht, die Mühle auszukoppeln, wenn am Versorgungsnetz gearbeitet wird und muß deshalb ungehinderten Zugang zu einem Unterbrecher haben, der die Windmühle auskoppeln kann.

4



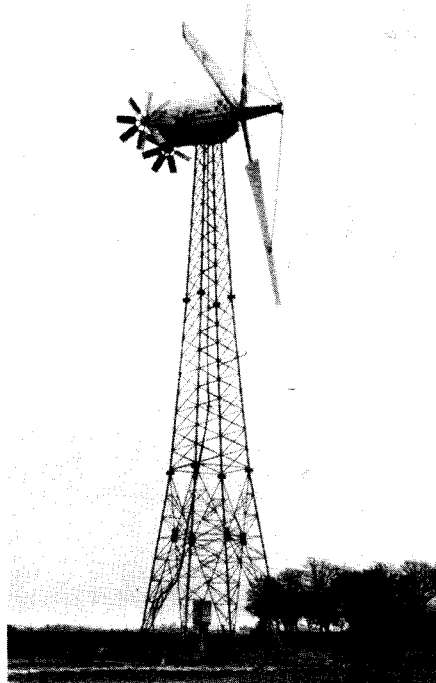
Windverhältnisse

Der Energiegehalt des Windes, die Jahresenergie, wird normalerweise als kWh/m²/Jahr definiert. In zehn Metern Höhe gemessen kann man in Dänemark mit folgenden Mittelwerten rechnen.

- | | | |
|----|-------------------------------|----------------------------------|
| a) | Bester Standort an der Küste: | 6 m/s 2400 kWh/m ² /a |
| b) | Bester Inlandsstandort: | 5 m/s 1400 kWh/m ² /a |
| c) | Mittelguter Inlandsstandort: | 4 m/s 700 kWh/m ² /a |

Für eine typische 55 kW Mühle resultiert daraus eine Jahreserzeugung von a) 130.000, b) 90.000, beziehungsweise c) 50.000 kWh.

2



1:	Micon Mühle
2:	Alte Wind-Matic Mühle
3:	Ebeltoft Windmühlenpark
4:	Mühle mit Vielblattrotor

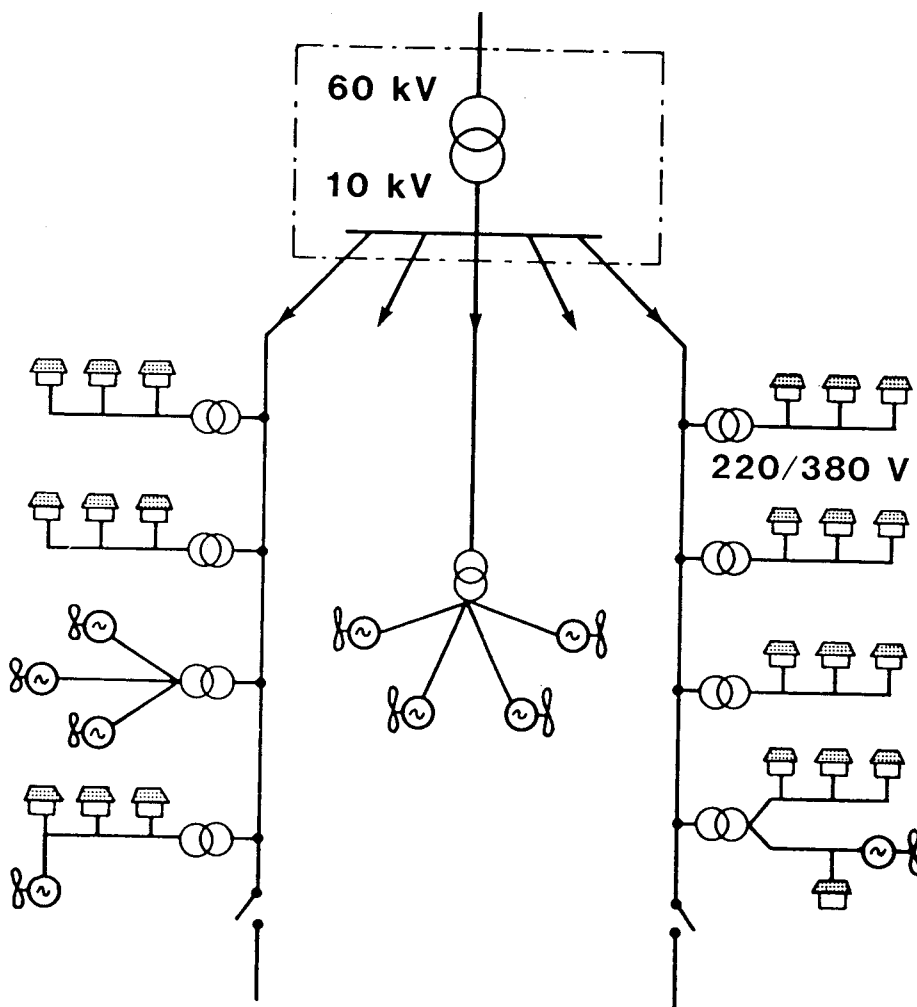
Technische Anforderungen

Diese allgemeinen Bestimmungen sind später von den EI-Gesellschaften durch mehr technisch betonte Anforderungen ergänzt worden.

Beim Einkoppeln der Generatoren der Mühle kann ein Spannungsabfall in dem Niederspannungsnetz vorkommen, und zwar als Folge des Einkopplungsstroms. Der Spannungsabfall kann reduziert werden, indem man die Windmühle mit einem Einkopplungsaggregat, das den Stromstoß reduziert, versieht. Ein solches Aggregat ist heute obligatorisch für kleine Windmühlen in Dänemark.

Übrigens sind kleine Windmühlen heutzutage so groß, daß sie normalerweise durch direkte Kabelverbindung an die nächstliegende 10/0,4 kV Station angeschlossen werden. Das heißt, man vermeidet so weit wie möglich, Häuser und Mühlen an dieselbe 380-V-Leitung anzukoppeln.

Wenn es in einem Gebiet nur wenige oder verstreut liegende Windmühlen gibt, kann von deren Einwirkung auf das 10 kV-Netz und damit andere Niederspannungsnetze abgesehen werden. Sind demgegenüber viele Windmühlen angeschlossen, zum Beispiel in einem Windmühlenpark, kann das mit sich führen, daß die Spannung mehr als gewöhnlich variiert. Sollten die Mühlen bei 10 kV Spannungssteigerung von mehr als 1 % verursachen, ist es normalerweise notwendig, die 10 kV-Leitung zu verstärken, um eine ausreichend gute Spannungsqualität für die Verbraucher aufrechterhalten zu können.



Beispiel, wie Windmühlen in das Versorgungsnetz eingekoppelt werden können.

Einspeisevergütungen

Die dänische Gesellschaft unterstützt die Entwicklung von Windmühlen, einerseits durch einen Anlagenzuschuß, andererseits durch günstige Vergütungsregelungen. Der Anlagenzuschuß des Staates zum Bau von privaten Windmühlen hat bis zu 30 % betragen. Zur Zeit beträgt er 15 %. Außerdem geben die EI-Gesellschaften einen gewissen Zuschuß zu den Anschlußkosten (35 % innerhalb einer Grenze von 377 Kronen pro kW).

Gemäß den jetzigen Vereinbarungen zwischen dem Verein Dänischer Elektrizitätswerke, den Windmühlenbesitzern und den Herstellern von Windmühlen kauft die lokale EI-Gesellschaft Strom von Windmühlen zu einem Preis, der einen gewissen Prozentanteil des Verkaufspreises der EI-Gesellschaft an gewöhnliche Verbraucher ausmacht, abzüglich der Stromsteuer, der Mehrwertsteuer und verschiedener Verwaltungskosten.

Es werden zwei Abrechnungsfälle unterschieden:

Überschußerzeugung von Windmühlen, die als interner Teil der Installation des Eigentümers angebracht sind, wird von der lokalen EI-Gesellschaft zu

einem Preis gekauft, der 70 % des Verkaufspreises der betreffenden EI-Gesellschaft an gewöhnliche Verbraucher ausmacht.

Die **gesamte** Stromerzeugung von Windmühlen mit eigener Installation und eigenem Stromzähler (Gemeinschaftsmühlen) wird von der lokalen EI-Gesellschaft zu einem Preis gekauft, der 85 % des Verkaufspreises der Elektrizitäts-Gesellschaft an gewöhnliche Verbraucher beträgt. Es müssen jedoch gewisse Bedingungen erfüllt sein.

Der Abrechnungspreis ist in dem ersten Fall niedriger als in dem zweiten Fall, weil der Eigentümer nicht einen Teil seines Stromverbrauches zum normalen Verkaufspreis der EI-Gesellschaft kaufen muß.

Die hier erwähnten Vergütungsregelungen gelten nicht für Mühlen, die Eigentum des Staates oder der Gemeinden sind. Diese sind darauf angewiesen, kostenechte Vereinbarungen mit den EVU einzugehen. In diesen Fällen wird auch kein Anlagenzuschuß gegeben. Mühlen, die im Besitze von Elektrizitäts-Gesellschaften sind, bekommen auch keinen Anlagenzuschuß oder Erlaß der Stromsteuer.

Unter den gegebenen Voraussetzungen sind kleine Windkraftanlagen in Dänemark heute rentabel in privatwirt-

schaftlicher Hinsicht, jedoch nicht unter volkswirtschaftlichen Aspekten (ohne die staatliche Subventionierung und die offenbar gegebene Subventionierung durch die Einspeisevergütung der EVU).

Die allgemeinen Bestrebungen laufen aber darauf hinaus, die Produktion von Windmühlen so sehr zu verbilligen, daß auch eine volkswirtschaftliche Rentabilität erreicht wird.

Schlußwort

Ende 1986 waren etwa 1200 netzangeschlossene Windmühlen mit einer gesamten Kapazität von rund 75 MW installiert. Hierzu kommen etwa 200 alleinstehende Anlagen. Die Stromerzeugung war im Jahre 1986 ungefähr 120 GWh.

Die Exportziffern für die Jahre 1981 – 1986 waren

Jahr:	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Stück:	21	47	354	1767	3100	1800

Im Jahre 1985 waren es hauptsächlich 55 kW-Mühlen und im Jahre 1986 100 kW-Mühlen. In großen Zügen war die gesamte Kapazität jedoch die gleiche, und zwar rund 200 MW.