

ENERGETISCHE NUTZUNG VON WIND

Energetische Nutzung von Wind

**Britta PLANKENSTEINER
Roger HACKSTOCK
Horst NOWAK**

UBA-BE-005

Wien, Dezember 1991
(Ergänzungen bis 1994)

**Bundesministerium für Umwelt,
Jugend und Familie**



Textbearbeitung: Irene Fischer
Christine Pfeiffer
Nancy Cao

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, Dezember 1991 (Ergänzungen bis 1994)

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-158-5

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	THEORETISCHES ENERGIEPOTENTIAL	1
2.1	Windenergiepotential in Abhängigkeit von Turbinentypen	2
2.2	Einflußgrößen auf das Windenergiepotential	6
3	IST-ZUSTAND	8
3.1	Österreich	8
3.2	Bundesrepublik Deutschland	11
3.3	Dänemark	14
3.4	USA	14
4	BARRIEREN	15
4.1	Kosten	16
4.2	Politik	17
4.3	Gesetze	18
5	UMWELTASPEKTE	19
6	ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE SYSTEMÜBERLEGUNGEN	20

ENERGETISCHE NUTZUNG VON WIND

1 EINLEITUNG

Die Anfänge der Windenergienutzung liegen bereits mehr als dreitausend Jahre zurück. Die Windräder dienten ursprünglich zur Wasserförderung, später trieben sie auch Getreidemühlen an.

Der Energiebedarf vergangener Jahrhunderte war vergleichsweise bescheiden. Die Nutzung der Windenergie war damals selbstverständlich und unproblematisch.

Heutzutage müssen Windenergieanlagen bis ins kleinste Detail durchdacht und technisch ausgereift sein, um den Anforderungen von Wind und Wetter standhalten zu können. Um die Windenergie als alternative Energieform attraktiv zu machen, sollte die Anlage eine angemessene Kosten–Nutzen–Relation aufweisen, wobei das Potential zur Windenergienutzung das örtliche Windenergieangebot und die Bauart des Windenergiekonverters sowie die Art des Verbrauchers darstellen.

Da die Windverhältnisse in den topographisch unterschiedlichen Regionen stark variieren und der Wirkungsgrad von der Bauart und dem Standort des Windenergiekonverters abhängt, kann für Österreich nur ein theoretisches Potential angegeben werden.

2 THEORETISCHES ENERGIEPOTENTIAL

Entscheidend für die Leistungsfähigkeit eines Windenergiekonverters ist das Windenergieangebot.

Die erzielbare Leistung aus dem Wind wächst mit der dritten Potenz seiner Geschwindigkeit, woraus eine starke Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und deren Schwankungen resultiert.

Dieser Zusammenhang ist in folgender Gleichung ersichtlich (POKORNY, 1981), die

sich aus der Formel für die Kinetische Energie $E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}$ herleiten läßt.

$$P = \frac{1}{2} F \rho v_t (v^2 - v'^2)$$

P	Leistung
ρ	Luftdichte
F	Fläche
m	Masse
E_{kin}	kinetische Energie eines einzelnen Masseteilchens
t	Zeit

v	Windgeschwindigkeit unendlichweit vor der Turbine
v'	Windgeschwindigkeit unendlichweit nach der Turbine
v_t	mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Turbinenebene

Voraussetzung zur Nutzung der Windenergie sind Windmessungen: Wieviele Stunden pro Jahr weht der Wind mit welcher Geschwindigkeit ?

Die Windgeschwindigkeit wird infolge der Rauigkeit der Erdoberfläche sowie durch Hindernisse wie Bäume oder Häuser gebremst. Sie ist in Bodennähe geringer als in großen Höhen.

Zur Abschätzung des österreichischen Windenergiepotentials wurden Windmeßdaten verschiedener Gebiete systematisch erfaßt und ausgewertet (POKORNY und NEUWIRTH, 1981 – 1989). Da nicht in jedem Gebiet Meßstationen betrieben werden, wurden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Landschaftsformen möglichst genau extrapoliert.

In einer Studie von POKORNY (1981) über das Windenergiepotential in Österreich wurde auf Basis einer Reihe von Annahmen ein theoretisches Windenergiepotential von **6.600 kWh/J** berechnet.

Dieser Energiepotentialberechnung liegen folgende Voraussetzungen zugrunde:

- Zwei mittlere Windenergieanlagen pro km^2 , das entspricht rund 150.000 Anlagen mit jeweils 15 m Rotordurchmesser. Dies bedeutet, daß auf 5 % der Fläche Österreichs Windenergiekonverter errichtet würden.
- Geländeform mit gleichmäßig verstreuten Hindernissen (Baumgruppen, Hochhäuser...) von 10 bis 15 m Höhe.
- Ermittlung des durchschnittlichen Energiegewinns aller vier im weiteren beschriebenen Windenergiekonverter-Bauarten, bei einer Höhe von 20 m.

POKORNY geht in seiner Studie bei der Berechnung des Energiepotentials von einem technischen Ansatz aus, d.h., daß für bestimmte Windverhältnisse ein bestimmter Windenergiekonvertertyp eingesetzt wird, der diesen Wind optimal nützen kann.

Berücksichtigt man zusätzlich die Tatsache, daß

- einige Gebiete Österreichs besonders windgünstig liegen,
- als Windenergieanlage eine Mischform aus Bauart 1 und 2 gewählt wird (siehe Kap. 2.1) und
- in diesen Regionen die Anzahl der Windenergieanlagen um 1 % erhöht wird,

dann ergibt sich ein theoretisch mögliches Energiepotential von rund **10.000 GWh/J** (POKORNY, 1981) ohne das Bundesland Tirol (derzeit in Bearbeitung).

Zum Vergleich: Das gesamte österreichische Energieaufkommen betrug 1989 1.038 PJ, dies sind rund 288.333 GWh (UBA, 1991).

Die Grundannahmen für die letztgenannte Potentialberechnung sind dieselben wie zuvor, nur daß in windgeeigneten Lagen die mit Windenergiekonvertern bedeckte Fläche nicht wie bisher 5 %, sondern 6 % ausmacht. Es wurde davon ausgegangen, daß die Geräuschentwicklung und das optische Erscheinungsbild dieser Anlagen tolerierbar sind und nicht störender wirken, als der bereits gewohnte Anblick von Fernseh- und Rundfunktürmen, Satellitenantennen, Hochspannungsleitungen oder Staukraftwerken.

2.1 Windenergiepotential in Abhängigkeit von Turbinentypen

Auf Basis lokaler Windmeßdaten (POKORNY und NEUWIRTH, 1981 – 1989) wurden von diesen etwaige Energiegewinne für vier typische Windenergiekonverter-Bauarten berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 eingetragen.

Der Energiegewinn ist abhängig vom Turbinentyp, hierbei spielen Schnelllaufzahl, Drehmomentverlauf, Wirkungsgrade von Rotoren, Getriebe und Generatoren eine große Rolle und haben somit auch Einfluß auf das Betriebsverhalten.

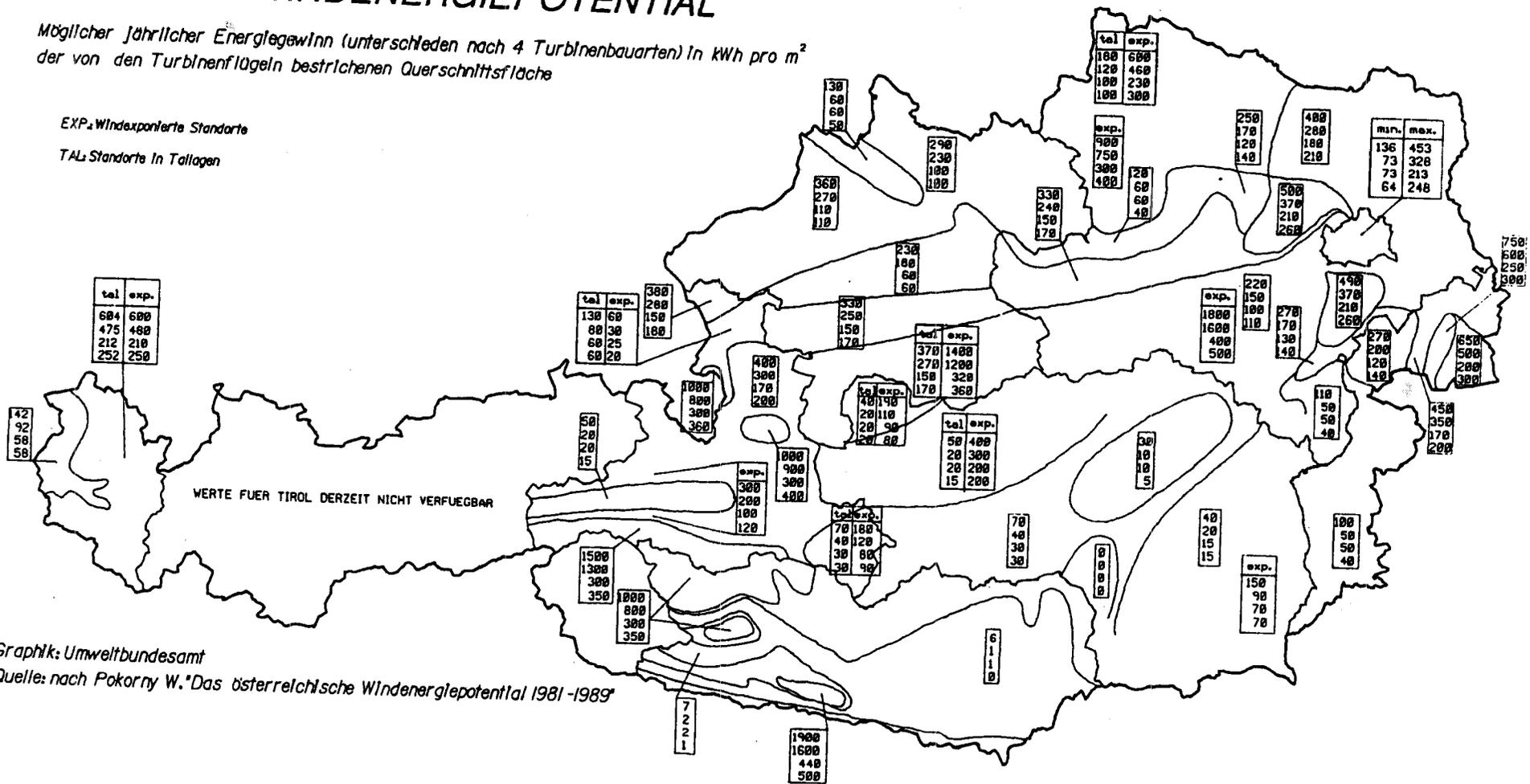
Für das Windenergiepotential Österreichs sind neuere, zusammenfassende Kartendarstellungen nach mittleren Windgeschwindigkeiten (m/s) und 10-jährigem Jahresmittel, wie sie im EG-Windatlas und BMFT-Bericht über erneuerbare Energie, Bonn 1992, Eingang gefunden haben, nicht vorhanden.

Die nachfolgende Kartendarstellung (Abb. 1) des österreichischen Windenergiepotentials nach POKORNY gibt nur die technische Nutzung von vier Rotortypen (Stand 1989) wider.

Abb. 1: DAS WINDENERGIEPOTENTIAL

Möglicher jährlicher Energiegewinn (unterschieden nach 4 Turbinenbauarten) in kWh pro m² der von den Turbinenflügeln bestrichenen Querschnittsfläche

EXP.: Windexponierte Standorte
TAL: Standorte in Tallagen



Anhand der in der "Windenergiekarte" (Abb. 1) verzeichneten Ergebnisse zeigt sich deutlich, daß man aufgrund der österreichischen Windverhältnisse nicht nur einer einzigen Turbinen-Bauart den Vorzug geben darf.

BAUART 1: Turbine mit annähernd konstanter Schnellaufzahl. Direkte Umwandlung der mechanischen Energie in Wärme durch eine Wirbelbremse.

Vorteil: Gute Anpassung der Kennlinien von Wirbelbremse und Turbine, also optimales Wind- zu Verbraucherverhalten. Einfacher Aufbau, rein mechanisch.

Nachteil: Wärmeverluste am Weg vom Windrad zum Verbraucher

BAUART 2: Turbine mit konstanter Schnellaufzahl. Antrieb eines Generators über ein Getriebe zur Stromerzeugung.

Vorteil: Windrad läuft mit festem Verhältnis zwischen Windgeschwindigkeit und Drehzahl, daher einfache Regelung und guter aerodynamischer Wirkungsgrad.

Nachteil: Im allgemeinen nachträgliche Umformung, z.B. mit Wechselrichtern, auf konstantes Spannungs- oder Frequenzniveau.

BAUART 3: Langsamläufer mit konstantem Drehmoment. Direkter Antrieb von Pumpen, z.B. Kolbenpumpen.

Vorteil: Windrad läuft bereits bei sehr geringen Windstärken, daher hohe zeitliche Verfügbarkeit, kleine Speicher. Einfache Bauweise, rein mechanisch.

Nachteil: Geringer aerodynamischer Wirkungsgrad.

BAUART 4: Schnellläufer mit konstanter Drehzahl. Antrieb eines Generators über ein Getriebe zur Stromerzeugung mit konstanter Frequenz und Spannung.

Vorteil: Direkte Netzeinspeisung möglich, direkte Nutzung ohne Umwandlung. Guter aerodynamischer Wirkungsgrad.

Nachteil: Aufwendige Bauweise und Regelung (Blattverstellung). Windrad kann nur sehr begrenzten Bereich an Windstärken ausnützen, keine hohe Verfügbarkeit, Speicherung über mehrere Tage meist nötig. Umwandlung bei Speicherung in Batterien.

Die Geschwindigkeitsmittelwerte und die Größe der Geschwindigkeitsschwankungen sind wesentlich für die Eignung der einzelnen Turbinen-Bauarten. Vielfach wird die Entscheidung aufgrund eines Kosten-Nutzen-Vergleichs fallen, wobei auch die Kosten für den Energiespeicher zu berücksichtigen sind.

Die "Windenergiekarte" von Österreich (Abb. 1) verschafft einen Überblick, in welchen Teilen Österreichs Windenergienutzung sinnvoll und welche Turbinenbauart vorteilhaft einsetzbar ist. Die einzelnen Turbinenbauarten reagieren sehr unterschiedlich auf die diversen Windverhältnisse, vor allem auf Geschwindigkeitsschwankungen, weshalb es notwendig ist, die errechneten Windenergieerträge von allen vier Bauarten in die Windenergiekarte aufzunehmen. Die vier Zahlenwerte in der Karte geben den möglichen durchschnittlichen Endenergiegewinn pro m^2 Rotorfläche und Jahr an. Gemessen wurde in einer Höhe von 20 Metern über dem Erdboden.

Es ist allerdings zu bemerken, daß viele neue Konstruktionen einen Mischtyp aus Bauart 2 und 4 darstellen. Somit liegen die praktisch erzielbaren Energiegewinne zwischen diesen beiden Bauarten.

Der Windenergiegewinn hängt sehr stark von lokalen Einflüssen ab. Die Werte können daher nur einen Überblick geben, wo, unter lokal günstigen Bedingungen, Windenergienutzung möglich erscheint.

Gebiete, die auf Grund ihrer Topographie und Lage ähnliche Energiegewinne erwarten lassen, wurden zu größeren Regionen zusammengefaßt. Die aus den einzelnen Orten gebildeten Mittelwerte der Energiegewinne dieser Bereiche wurden anschließend in die Karte eingetragen (POKORNY und NEUWIRTH, 1989).

Auf Grund des Kontinuitätsgesetzes bleibt die Windgeschwindigkeit über Landschaftsteile hinweg konstant, solange keine gravierenden Änderungen der Oberflächenform auftreten. Ändert sich jedoch die Oberflächenform, dann kommt es zu einer starken Störung der Windströmung, was sich in einer gravierenden Änderung des Windenergieangebotes niederschlägt.

Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, ist beispielsweise in Kärnten Windenergienutzung im östlichen Landesteil (Tal- und Beckenlagen) wegen des dort herrschenden geringen Windangebots praktisch unmöglich, während im Hochgebirge (rund 13 % der Landesfläche Kärntens) hohe Energiegewinne wahrscheinlich sind. Ähnliches gilt auch für die Steiermark (POKORNY und NEUWIRTH, 1988).

2.2 Einflußgrößen auf das Windenergiepotential

Der Windenergiegewinn hängt von lokalen Einflüssen, wie Geländeform und Strömungshindernissen, ab. Die Zahlenangaben in der Windenergiekarte (Abb.1) geben daher nur einen ersten Überblick, ob in einem bestimmten Landesteil, unter günstigen lokalen Bedingungen, eine wirtschaftliche Windenergienutzung möglich ist.

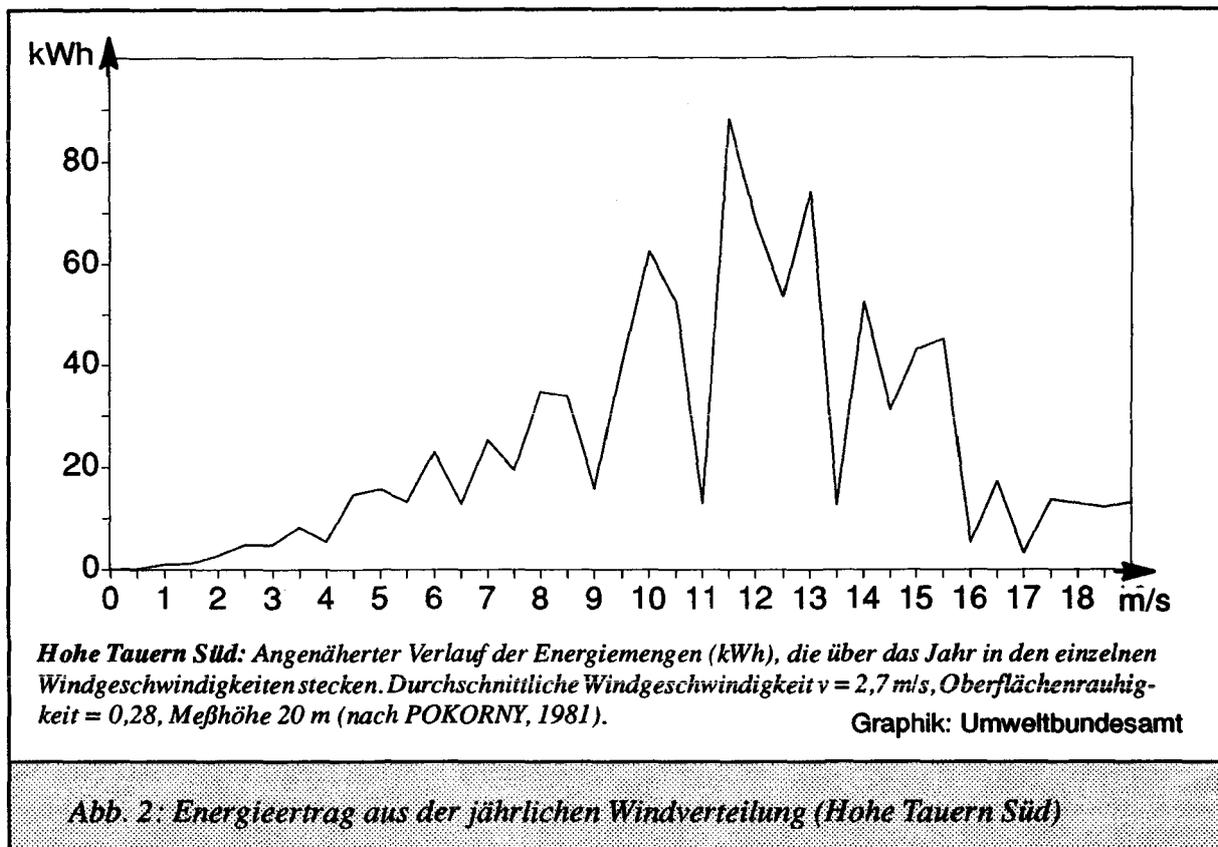
Um genauere Aussagen treffen zu können, wäre ein dichtes Netz lokaler Windmeßstellen notwendig. Die, am besten über ein Jahr ermittelten Winddaten, sind für die Standortwahl und die Planung eines Windenergiekonverters unerlässlich.

In weiten Teilen Österreichs liegt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit bei 3,5 m/s bis 4 m/s (POKORNY, 1981). Bei diesen Windgeschwindigkeiten wäre eine wirtschaftliche Nutzung praktisch unmöglich. Da aber der Energiegewinn proportional zur dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ist, liegen die Energiegewinne, die aus den Stundenwerten der Windgeschwindigkeit errechnet werden, wesentlich höher als jene, die vergleichsweise aus deren mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten berechnet werden. Je größer die Schwankung um den Mittelwert ist, desto größer kann also der erzielte Energiegewinn sein.

Von Bedeutung ist dabei die Häufigkeit, mit der die einzelnen Windgeschwindigkeiten zwischen Flaute und Sturm über das Jahr auftreten. Am Alpenhauptkamm sind die hohen Windgeschwindigkeiten in den Föhngassen der Alpentäler besonders zu berücksichtigen.

Dabei sind sowohl jene Windstärken wichtig, bei denen das Windrad die Nennleistung liefert, z.B. bei 10 – 12 m/s, als auch der Ertrag aus allen Windstärken, bei denen das Windrad in Betrieb ist.

Als Beispiel kann die Darstellung des Windenergiepotentials der Steiermark gelten, die sehr detailliert auf die lokalen und regionalen Gegebenheiten eingeht (LAZAR, 1989).



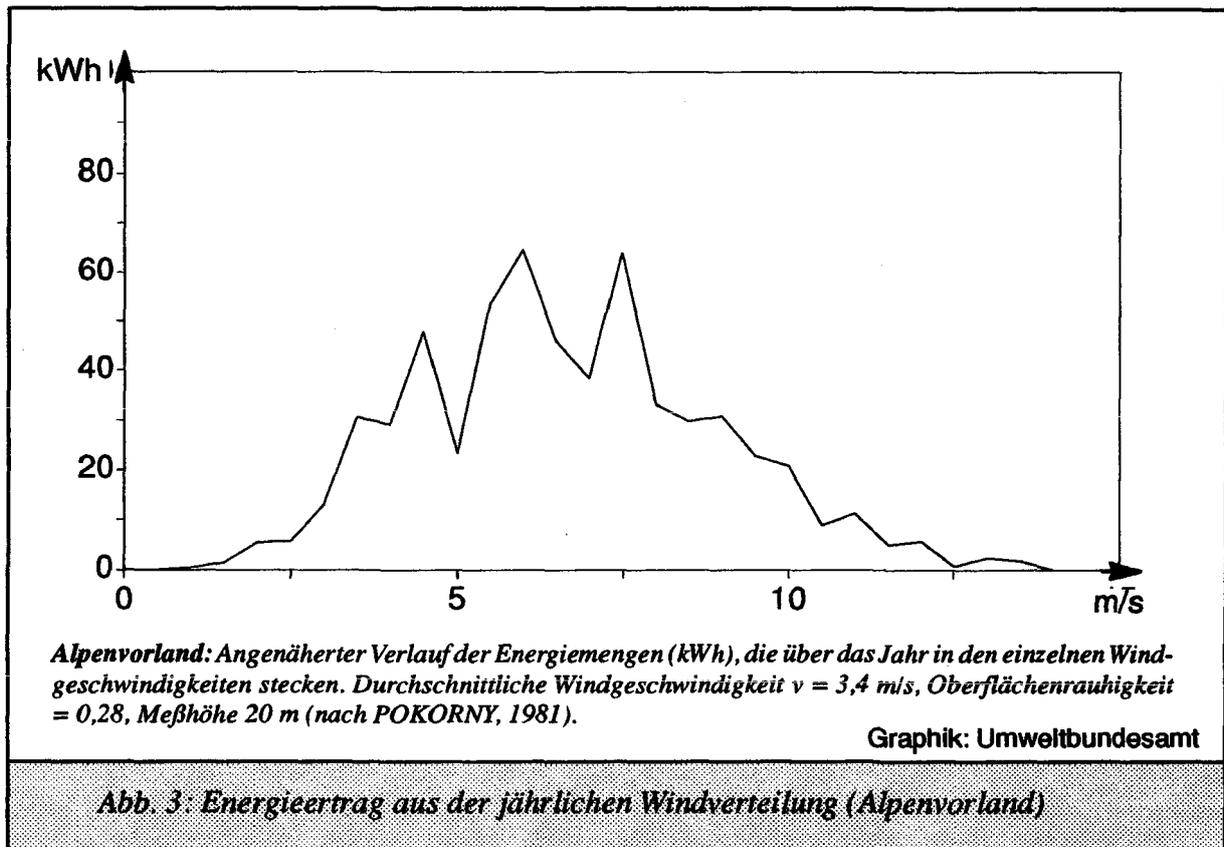
Das Beispiel Hohe Tauern Süd zeigt eine Verteilung, die hohe Energiegewinne über das Jahr bei der Nennleistung des Windrades (für z.B. 10 m/s und darüber) erwarten läßt. Doch wie sieht der Ertrag bei geringeren Windstärken aus, bei denen das Windrad ebenfalls in Betrieb ist?

Offensichtlich treten diese weit seltener auf, möglicherweise nach der Devise: "Entweder es stürmt, oder es regt sich kein Blatt". Hier werden auch die sogenannten "Energiepausenzeiten" interessant, also die zeitliche Abfolge von Überfluß und Mangel, welche die Versorgungssicherheit des Windrades prägen.

Diese Überlegungen sollen zeigen, daß nicht allein das Jahresmittel über die Nutzung der Windenergie entscheiden kann.

Im obigen Beispiel empfiehlt sich eine Entkoppelung der direkten Abhängigkeit des Verbrauchers von der im Augenblick produzierten Energiemenge durch Bauarten, die mit einfachen Puffern ausgerüstet sind, wie die Bauart 1 und 3.

Für die Netzeinspeisung mit hochentwickelten Schnellläufern mit Nennleistung bei z.B. 10 – 12 m/s eignet sich besonders ein Windangebot, wie es im Alpenvorland gegeben ist.



Im Bereich der über das Jahr gesehen ertragreichsten Windgeschwindigkeiten läuft der Schnellläufer unterhalb der Nennleistung und daher im Bereich des besten Turbinenwirkungsgrades.

Doch auch hier sind die Energiepausen durch die zeitliche jährliche Windverteilung zu berücksichtigen.

Generell wird der Windenergie in Österreich wohl keine allzu große Bedeutung für die Energieversorgung des Landes zukommen. Aber sie könnte dort sinnvoll eingesetzt werden, wo kleine Siedlungsstrukturen dezentral mit Energie versorgt werden sollen.

Dabei kann es sich als hilfreich erweisen, die Technik erst nach den örtlichen Gegebenheiten auszuwählen, anstatt mit einem festgelegten Windradtyp bestimmter Größe alle potentiellen Gegenden zu prüfen.

3 IST-ZUSTAND

3.1 Österreich

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, wird der Windenergie in Österreich infolge weniger windstarker Gebiete wohl nur ein kleiner Teil der Energieversorgung zukommen. Die Windenergie kann, da derzeit die durch Windkraft gewonnene Energie nicht ins öffentliche Netz eingespeist wird, nicht für die Versorgung von Städten und Industrien eingesetzt werden, aber in windgünstigen Lagen kann sie, ohne große Umweltbelastung, zur Versorgung von Schutzhütten, landwirtschaftlichen Betrieben und kleineren Siedlungen herangezogen werden.

Der Österreichische Alpenverein ist Betreiber einiger Windenergieanlagen, die zur Energieselbstversorgung der Almhütten verwendet werden.

Die Probleme, die bei Windkraftanlagen im alpinen Raum auftreten, werden nachfolgend am Beispiel der Windenergieanlage der Oberwalder Hütte am Großglockner (Salzburg) erläutert.

Die Hütte befindet sich in Kammlage in 3.000 m Höhe. In diesen Lagen kommt es binnen Minuten zu Windgeschwindigkeitsänderungen, die Winde drehen stark und es gibt lange Windpausen.

Die 30 kW-Windanlage wurde 1985 aufgestellt und stammt aus einer Serienproduktion der VOEST.

Schwierige Wetterbedingungen und unausgereifte Technik bedingten die ungenügende Energieversorgung der Hütte. Deshalb begann man im Sommer 1991, die technischen Mängel der Windanlage zu beheben und Energiespeicher einzubauen.

Durch die zusätzlich eingebaute Feinmechanik sind die Rotorblätter nun verstellbar und es erfolgt eine bessere Anpassung der gesamten Windanlage an die jeweiligen Windverhältnisse; dadurch können auch Schwachwinde genutzt werden.

Als Energiespeicher wurden ein Warmwassertank und eine Batterie installiert. Die elektrische Beleuchtung, die Kühlschränke und die Warmwasserpumpen werden von der Batterie versorgt, die wiederum von den Generatoren der Verbrennungsmotoren gespeist werden. Die Abwärme der Verbrennungsmotoren wird in die Warmwasserspeicher geleitet. Abhängig von der Windstärke kann die Windenergieanlage auch elektrische Energie in die Hausbatterie und in die E-Heizung der Warmwassertanks liefern.

Zusätzlich wird im Schaltraum der Hütte die Generatorfrequenz elektronisch ausgewertet. Bei ansteigender Windgeschwindigkeit werden mehr Verbraucher zugeschaltet, d.h. der Rotor liefert abhängig von seiner Drehzahl Strom.

Durch diese Maßnahmen gelang es, die Hütte vollständig mit Energie aus dem Windenergiekonverter zu versorgen.

Leider zerstörte ein Orkan mit 200 km/h, scheinbar aufgrund eines Konstruktionsfehlers, die Windfahne des Windkraftwerkes, die Rotorblätter zerbrachen. Die Reparaturarbeiten wurden im Sommer 1992 aufgenommen.

Die österreichische Windenergieforschung begann 1975.

Die anfängliche Erhebung des internationalen Standes der Windenergieforschung und -nutzung führte in weiterer Folge zum Beginn eines Windenergieprojektes im Forschungszentrum Seibersdorf im Oktober 1978.

Am Gelände des Forschungszentrums wurden Windräder in Zusammenarbeit mit in- und ausländischen Firmen errichtet. Der Testbetrieb zu Forschungszwecken lief bis 1982, es wurden danach keine weiteren Projekte geplant.

Nach der Inbetriebnahme des 30 kW-Windrades auf der Adamekhütte (Dachstein) im Jahr 1981 begann die VOEST mit der stufenweisen Entwicklung von Serienreifen-Prototypen der Größenordnung 1 kW bis 40 kW am Werksgelände Linz. Eines dieser Windräder steht noch auf der Oberwalder Hütte am Großglockner.

1982 wurde mit Förderung vom Land Niederösterreich die Versuchsstation Leobersdorf, in der Nähe Wiens, gegründet und war als Testanlage für den kombinierten Betrieb

von Sonnen- und Windenergieanlagen gedacht. Zu Testzwecken wurde eine Versuchsgärtnerei am Gelände beheizt und bewässert.

Die Versuche liefen etwa bis 1987, heute sind die Anlagen des Versuchsgebäudes neben der Autobahn längst demontiert.

Auch die Versuchswindräder der VOEST und des Forschungszentrums Seibersdorf haben ihren Betrieb schon seit Jahren eingestellt. Die vielen staatlichen Anläufe zur Förderung der Windenergie konnten den Windenergieanlagen bisher noch nicht zum Durchbruch verhelfen.

Insgesamt dürften derzeit im gesamten Bundesgebiet Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 200 kW installiert sein. Der erwirtschaftete Jahresenergieertrag aus Windenergienutzung dürfte im Jahr 1992 109 MWh betragen haben.

Anlagenübersicht:

	Fabrikat/Type	Ertrag 1992 (kWh)	Durchmesser (m)	Rotorfläche (kWh m ²)
WKA Aigner, Scheib, NÖ*	Eigenbau	32.000	16,2	205
WKA VOEST, Dachstein, OÖ*	VOEST	8.500	15,0	175
WKA Gollackner, Eugendorf, Sbg.	Brümmner	5.500	11,0	90
WKA Aichhorn, Kirchschatz, OÖ*	Eigenbau	8.000	9,0	63
WKA Schneider, Jauerling, NÖ*	Hollmann/aerowerk	k.A.	8,4	55
WKA Brenner, Großschweinbarth, NÖ*	Hollmann/aerowerk	k.A.	8,4	55
WKA Zottl, Bad Vöslau, NÖ	Zottl	8.000	7,5	44
WKA Raditsch, Bad Vöslau, NÖ	Zottl	k.A.	7,5	44
WKA Gettinger, Himberg, NÖ	Zottl	k.A.	7,5	44
WKA Knopf, Gablitz bei Wien	Zottl	4.000	7,5	44
WKA Feistritzer, Kierling, NÖ	Zottl	6.000	7,5	44
WKA1 Pfarramt Mariazell, Stmk.	Zottl	k.A.	7,5	44
WKA2 Pfarramt Mariazell, Stmk.	Zottl	k.A.	7,5	44
WKA Stummersdorf, NÖ	Zottl	k.A.	7,5	44
WKA Kerschbaumer, Jauerling, NÖ	LMW/Wenczl	800	3,0	7
WKA Dangl, Pfaffenschlag, NÖ*	LMW	400	3,0	7
Gesamtertrag (berechnet lt. Angaben)		73.200		
Gesamtertrag (hochgerechnet nach Turbinenfläche)		109.000		
Quelle: Winkelmeier 1994				

Die mit * gekennzeichneten Anlagen befanden sich 1992 nicht durchgehend in Betrieb.

Aufgrund fehlender Informationen über die Ertragsdaten einzelner Windkraftanlagen wurde die Einschätzung der fehlenden Angaben auf der Basis der Durchschnittswerte der spezifischen Flächenenergieerträge der übrigen Anlagen erstellt. Die durchschnittlichen Energieerträge je m² Rotorkreisfläche der erfaßten Anlagen liegen mit 108 kWh/m² sehr nieder.

1993 wurde die Windkraftanlage Straßwalchen in Betrieb genommen.

Am 17.2.1994 wurde in der Gemeinde Eckartsau (NÖ) das erste netzgekoppelte Windkraftwerk installiert. Diese Anlage erzeugt jährlich 300.000 kWh Strom, der in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Diese Menge deckt den Jahresbedarf von 60–70 Haushalten. Die Kosten für diese Anlage betragen rund 3 Mio S.

Projekte, deren Realisierung geplant ist, bzw. die schon in Betrieb sind:

Standort	Betreiber	Leistung	Jahresertrag
Straßwalchen/Sbg. (in Betrieb seit 1993)	Energiewerkstatt	10 kW	10 MWh
Eckartsau–Marchfeld/NÖ (in Betrieb seit 1994)	Privatbetreiber	150 kW	220 MWh
Donauinsel/Wien	Wr. Stadtwerke	250 kW	200 MWh
Rastendorf/NÖ	Initiative Windkraft Waldviertel	600 kW	720 MWh
Teesdorf/NÖ	ÖAMTC	150 kW	ca. 200 MWh (Messungen noch nicht abgeschl.)
<i>Quelle: Winkelmeier 1994</i>			

Für die Zukunft ist die Förderung weiterer Forschungsarbeiten über stationäre Windverhältnisse und Voraussetzungen zur Errichtung bestimmter Windkraftwerke notwendig. Im Osten und Südosten Österreichs könnten Windparks in Zukunft punktuell die lokale Energieversorgung übernehmen.

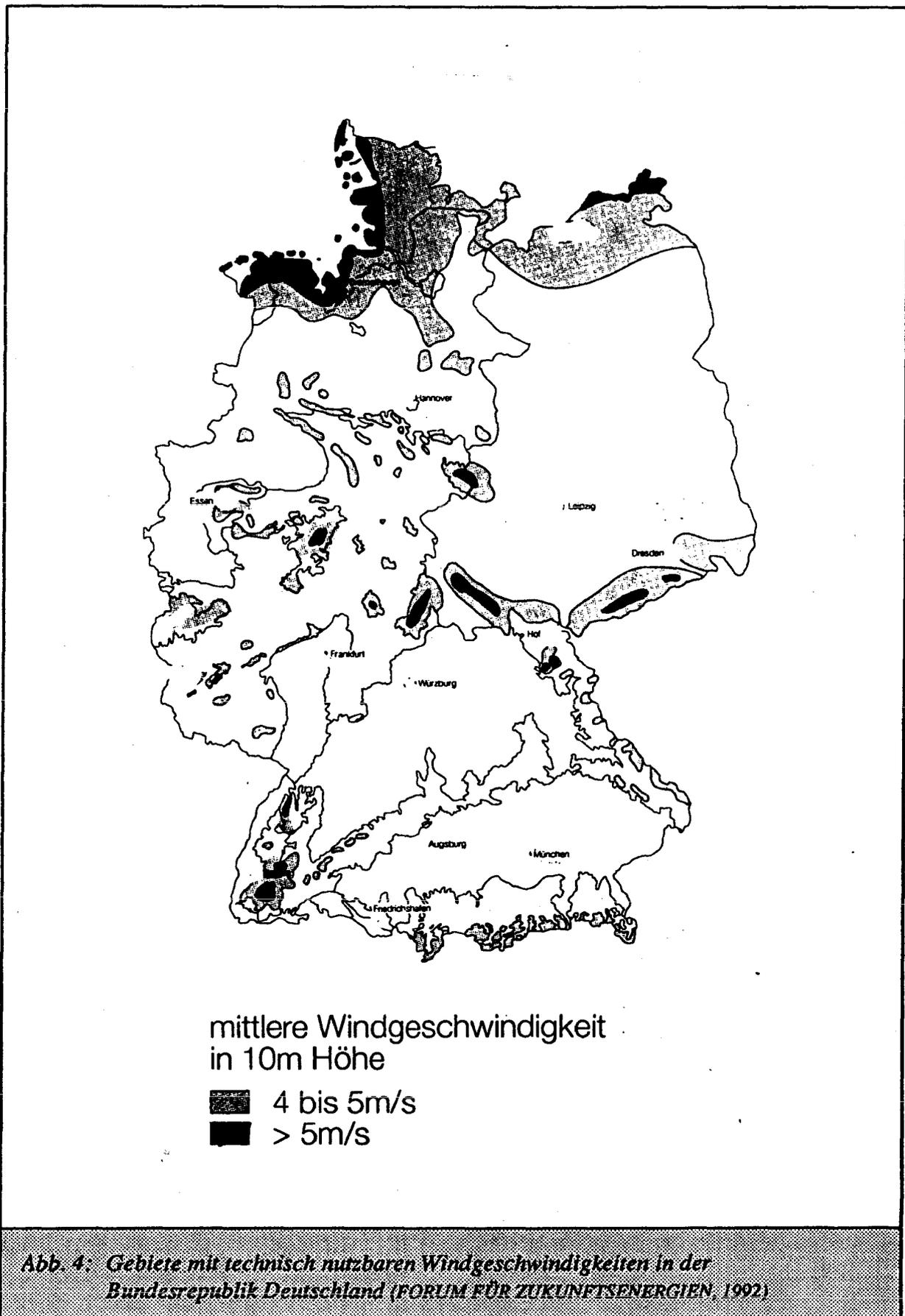
3.2 Bundesrepublik Deutschland

In der Bundesrepublik wurde die Entwicklung kleinerer bis mittlerer Windkraftanlagen (10 – 400 kW) forciert, daneben gibt es spezielle Forschungs- und Entwicklungsprogramme für Großwindenergiekonverter.

Windkraftanlagen mittlerer Größe (150 – 300 kW, 25 – 35 m Rotordurchmesser) stellen die attraktivste Form zur Windnutzung dar. Es überwiegen Drei-Blatt-Rotoren mit starren Rotorblättern und einer vom Netz unabhängigen Drehzahl. Ihre bevorzugte Anwendung wird bei kleineren Stadtwerken und mittleren Energieversorgungsunternehmen liegen. Zudem können sie bei Großverbrauchern, wie z.B. Klärwerken und diversen Firmen eingesetzt und dort zur Eigenversorgung herangezogen werden (ENQUETE-KOMMISSION, 1990).

Bisher gab es drei als Großanlagen zu bezeichnende Windenergiekonverter, mit Rotordurchmessern von 48 m, 52 m bzw. 100 m. Aus verschiedenen technischen Gründen konnten alle drei Anlagen nicht im Dauerbetrieb gefahren werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen nun in eine zweite Generation von Groß-Windenergiekonverter ein (drei Monopteros 50 mit 55 m Rotor und 640 kW in Wilhelmshafen, WKA-60 mit 60 m Rotor und 1200 kW auf Helgoland) (ENQUETE-KOMMISSION, 1990; JARASS und OBERMAIR, 1986; KNAPP und HESS, 1986).

Interessant für die Windenergienutzung sind Gebiete mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 4 m/s, gemessen in 10 m Höhe über dem Grund (Abb. 4).



Der norddeutsche Küstenbereich und kleine Gebiete im Binnenland auf den Bergrücken der Mittelgebirge bieten solche Windverhältnisse, zusammen wären das rund 22.000 km² Fläche. Davon werden 4.500 km² mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 5 m/s angenommen (SELZER, 1990).

Findet man nun 11.050 Standorte für Windenergieanlagen mit 100 m Rotordurchmesser, dann würde das Windenergiepotential der Bundesrepublik Deutschland 128 TWh/a betragen. Es könnten 10 % des elektrischen Energiebedarfs aus Windenergie gewonnen werden, was einem **technischen Potential von 35,1 TWh/a** entspricht, erzeugt von rund 2.700 Anlagen mit 100 m Rotordurchmesser (SELZER, 1990).

Berücksichtigt man zudem Standort-Ausschlußkriterien (z.B. anderwertige Nutzung des Standortes, Natur- oder Landschaftsschutzgebiet, Siedlungsgebiet), so kommt man zu einem realistischen technischen Potential von 9 TWh im off-shore Bereich, 35 TWh im norddeutschen Küstenbereich und 21,4 TWh im deutschen Mittelgebirge. Zusammen ergibt das ein **technisches Windenergiepotential von 65,4 TWh** für die Bundesrepublik, unter der Annahme, daß 7.840 Standorte für Windenergieanlagen mit 100 m Rotordurchmesser gefunden werden (BIERBRAUER et al., 1990).

In einer deutschen Leistungsstatistik sind 89 Windkraftanlagen und drei Windparks erfaßt. Diese lieferten 1989 rund 4,4 Millionen kWh Strom, dadurch wurden der Umwelt ungefähr folgende Schadstoffmengen erspart (WINDKRAFTJOURNAL, 1989):

- 31 t Schwefeldioxid
- 22 t Stickstoff
- 4.400 t Kohlendioxid
- 26 t Flugasche.

Um die Windenergie langfristig gegenüber konventionellen Energieträgern attraktiv zu machen, bedarf es auch staatlicher Forschungs- und Entwicklungsprogramme. Ein erster Schritt in diese Richtung wurde 1989 vom Bundesministerium für Forschung und Technologie mit dem sogenannten "100 MW-Wind" Förderungsprogramm gesetzt.

Ziel dieser Förderungsmaßnahme ist ein mehrjähriger Breitentest, um Windenergie in energiewirtschaftlicher Größenordnung zu erproben. Durch genaue meßtechnische Beobachtungen sollen Langzeitbetriebserfahrungen gesammelt werden, mit dem Ziel, die Kosten der aus der Windenergie gewonnenen Elektrizität zu senken. Es soll möglichst innerhalb von fünf Jahren eine installierte Leistung von 100 MW erreicht werden.

Im Sommer 1990 wurden über 700 Förderungsanträge für tausend Anlagen mit einer Gesamtleistung von 90 MW beantragt (BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE, mündl. Mittlg.).

Der große Erfolg des Programmes veranlaßte eine Erweiterung des Förderungspaketes von 100 MW auf 250 MW seit 1991.

Ein weiterer Schritt in Richtung breite Windenergienutzung konnte mit dem seit 1.1.1991 in Kraft befindlichen Stromeinspeise-Gesetz getätigt werden.

Es verpflichtet die Energieversorgungsunternehmen, den in ihrem Versorgungsgebiet erzeugten Strom aus erneuerbarer Energie abzunehmen und den eingespeisten Strom zu Mindestpreisen zu vergüten. Für die Windenergie beträgt die Vergütung derzeit 16,70 Pf/kWh, das bedeutet eine Verdoppelung der Einspeisungsvergütung gegenüber vor Inkrafttreten des Gesetzes.

3.3 Dänemark

In Dänemark wurde schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts mit dem Antrieb elektrischer "Dynamos" durch Windkraft experimentiert. Aber erst die Ölkrise in den siebziger Jahren bewirkte ein Umschwenken zur altbekannten Windenergienutzung. Die Produktion von Windkraftanlagen für die Industrie und die Stromerzeugung für die Versorgungsunternehmen wurden zu einem, wenn auch bescheidenen, wirtschaftlichen Faktor. So gelang es den Dänen, im Windanlagenbereich einen beachtlichen Know-how-Vorsprung zu erlangen.

Dänemark liefert heute weltweit 45 % aller Windenergieanlagen, mit einem Leistungsbereich von 30 kW bis 250 kW. In zwei Jahren sollen bereits Windenergiekonverter mit 400 kW als Serienanlagen auf den Markt kommen (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Im Gegensatz zur Bundesrepublik Deutschland wurde in Dänemark durch Verzicht auf den maximalen Wirkungsgrad auf eine maximale Lebensdauer und eine gute Verfügbarkeit der Windenergieanlage hingearbeitet.

Es setzen sich Projekte durch, die auf bewährte Technologien aufbauen und relativ kleine Anlagen – meistens Dreiflügler, die den Wind zu 35 – 40 % nutzen können – bevorzugen.

Im Jahre 1987 beschloß das dänische Ministerium für Energie ein Abkommen mit den beiden größten dänischen Stromversorgungsunternehmen, Elsam und Elkraft. Die Windenergienutzung wurde 1990 in einem ersten Etappenziel auf 100 MW ausgebaut (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Das Ziel, 100 MW durch die Energieversorgungsunternehmen zu installieren, konnte zwar nicht erreicht werden, aber es gab Ende 1989 in Dänemark rund 2.500 Anlagen mit etwa 250 MW Gesamtleistung. Die erzeugte Strommenge von knapp 1,7 PJ (460 GWh) entsprach etwa 1,8 % des dänischen Stromverbrauchs (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Die Nutzung der Windenergie hat somit immerhin einen meßbaren Beitrag erreicht.

3.4 USA

In Kalifornien, wo die natürlichen Bedingungen für Windkraftanlagen sehr günstig sind, gelang es, durch staatliche Förderungen in kaum acht Jahren, 18.000 Windkraftanlagen mit einer Leistung von 1.500 MW zu installieren (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Die Amerikaner setzen auch auf typische Kleinanlagen, mit durchschnittlich 87 kW pro Anlage. Weitere Ausbaupläne sehen Anlagen mit etwa 200 – 500 kW Gesamtleistung vor.

Daraus ist ersichtlich, wie schnell Entwicklung und Anwendung möglich ist, wenn wirtschaftliche und steuerliche Anreize geschaffen werden.

Die kalifornischen Windfarmen wurden auch nach dem Wegfall der "tax credits" (Investoren in Windenergie erhielten hohe steuerliche Vergünstigungen) Ende 1986 weiter ausgebaut. Strom aus Windenergie rechnet sich heutzutage auch ohne steuerliche Vorteile, sofern die Windfarmen über Einspeisverträge mit den Energieversorgungs-

unternehmen verfügen. Die sogenannten "Standard Offer 4"-Stromabnahmeverträge der California Energy Commission mit den Windfarmen enthalten eine zehnjährige Festschreibung der Einspeistarife. Demnach steigt die Vergütung von 8 Cent/kWh (1990) auf rund 16 Cent/kWh bis zum Jahr 1998 (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Die größte Windfarm Kaliforniens, zugleich auch der Vereinigten Staaten, befindet sich am Altamount Paß. Rund 4.000 Windenergieanlagen erbringen eine Leistung von 320 MW. 1985 wurde die Installierung von weiteren 7.000 Windenergieanlagen beschlossen (BORG, 1985).

Die California Energy Commission rechnet, daß Windenergieressourcen von 6.680 MW vorhanden wären und bis zum Jahr 2000 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von 4.000 MW errichtet werden können. Wenn sich diese Schätzungen bewahrheiten, dann könnten rund 8,5 % der elektrischen Gesamtaufbringung aus Windenergie geliefert werden.

Tatsache ist jedenfalls, daß die besten Windfarmen eine technische Verfügbarkeit von 95 % erreichen. Die Kosten für Wartung und Instandsetzung betragen 0,5 bis 1 Cent/kWh (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Die Zukunft der amerikanischen Windfarmen wird die wirtschaftliche Entwicklung und die Umweltentwicklung mitentscheiden. Weltweit ist die Windenergie auf dem Weg zu einem Wirtschaftsfaktor. Man schätzt, daß seit Beginn der achtziger Jahre weltweit etwa 100.000 Windkraftanlagen aufgestellt wurden, davon allerdings nur rund 20.000 netzgekoppelte Anlagen. Das gesamte Investitionsvolumen betrug rund drei Milliarden Dollar und schuf etwa 16.000 neue Arbeitsplätze.

Die weltweite Verteilung der bis 1987 erzeugten Energie aus Wind sieht folgendermaßen aus: über 90 % aus den USA, etwa 6 % aus Dänemark, 0,5 % aus dem übrigen Europa und 2 % verteilen sich auf den Rest der Welt (VDI-NACHRICHTEN, 1990).

Die Statistik zeigt, wie bedeutend die kalifornischen Windfarmen sind – im Gegensatz dazu fällt auf, daß in Europa (ohne Dänemark) nur ein recht bescheidener Anteil erreicht wurde.

Private Investitionsprojekte und staatlich initiierte Förderungsprogramme könnten das Bild in den neunziger Jahren durchaus verändern. Wichtig wird neben ausreichenden staatlichen Mitteln für Forschung und Entwicklung vor allem sein, ob es durch neue gesetzliche oder steuerliche Maßnahmen (Einspeistarife, Stromabnahmeverpflichtung etc.) gelingt, ökonomische Anreize für Privatinvestitionen in Windenergieanlagen herzustellen.

4 BARRIEREN

Als wesentlichste Barrieren für die Windenergienutzung sind zu nennen:

- mangelnde Integrationsmöglichkeit in bestehenden Energieversorgungsstrukturen (Fehlen von adäquaten Tarifen bei Einspeisung ins öffentliche Stromnetz),
- mangelnde Wirtschaftlichkeit bzw. Konkurrenzfähigkeit gegenüber fossilen Energieträgern,
- sicherheitstechnische Anforderungen

- gesetzliche Bestimmungen und
- Lärmbelastungen in der Nähe von Siedlungen.

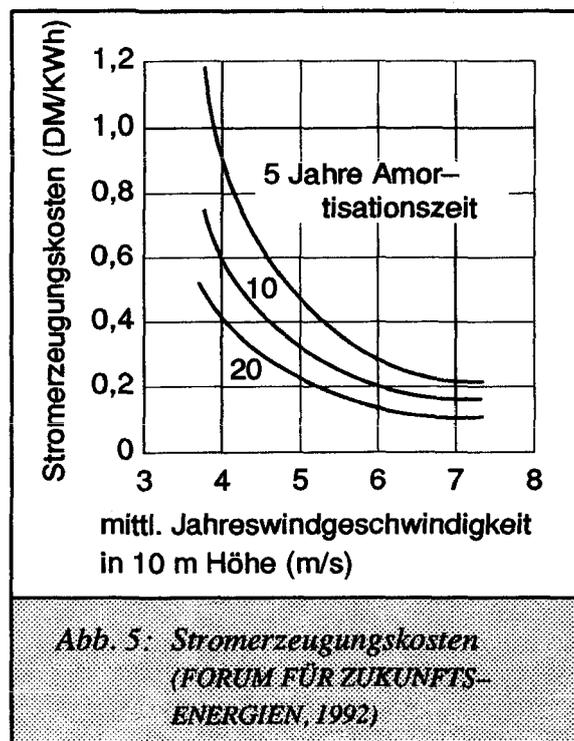
4.1 Kosten

Die Nutzung der Windenergie ist mit relativ hohen Investitionskosten verbunden, sodaß die Wirtschaftlichkeit beim Anwender eine große Rolle spielen wird.

Ganz allgemein kann gesagt werden, daß kleinere und mittlere Windenergiekonverter (vorwiegend dänische und niederländische Fabrikate) bereits seit mehreren Jahren in größeren Stückzahlen (über tausend Anlagen) gefertigt werden können. Großanlagen stellen jedenfalls noch Unikate dar, mit hohen Kosten in der Einzelfertigung, zum Teil auch noch Zusatzkosten durch Begleitforschungen, Öffentlichkeitsinformation und Ergebnisauswertung.

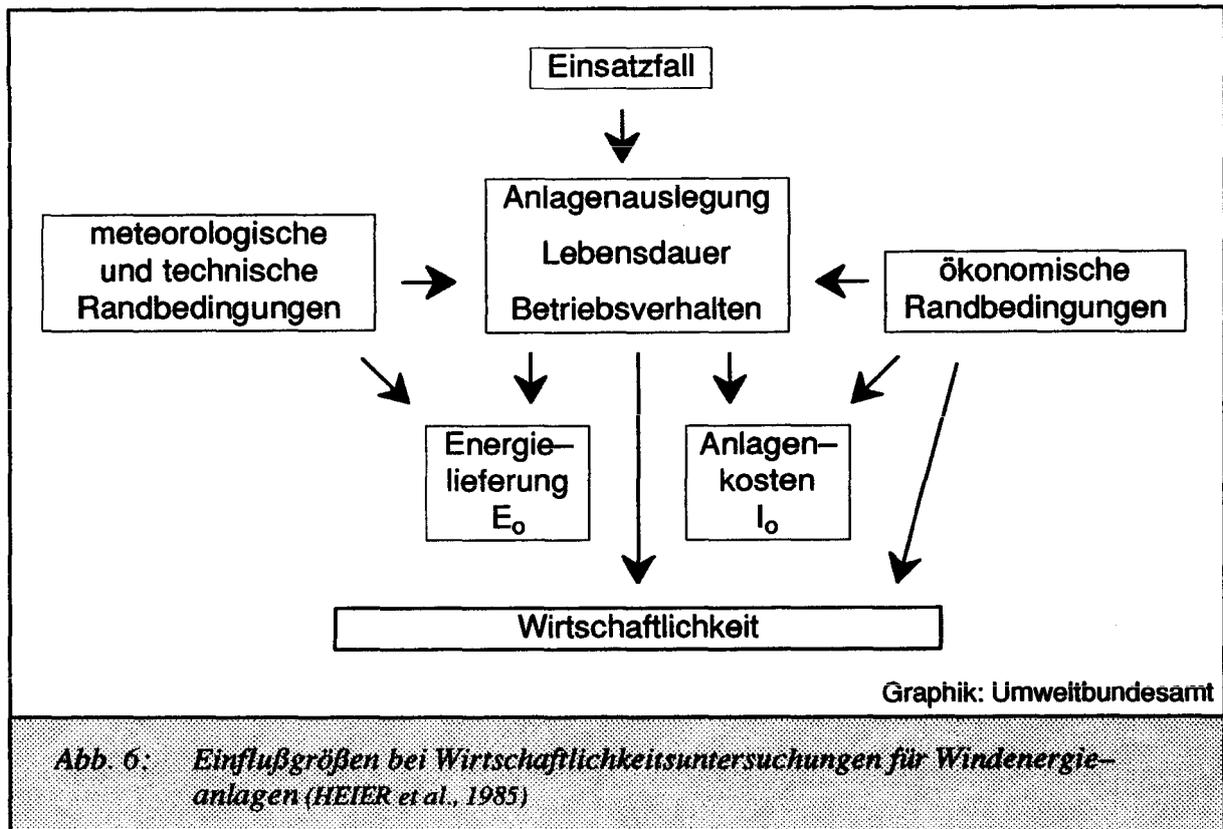
Zusätzlich zum Maschinenpreis ab Werk müssen noch die Transportkosten und die Installation der Windanlage, die Kosten für den Kauf oder die Pacht des Grundstücks sowie die Kosten für die Infrastruktur (Netzanschluß, Betriebsgebäude etc.) gerechnet werden (ENQUETE-KOMMISSION, 1990).

Neben den Investitions- und den Betriebskosten sind die zugestandene Amortisationszeit für das eingesetzte Kapital und die jährliche mittlere Windgeschwindigkeit am Aufstellungsort von entscheidender Bedeutung für die Stromerzeugungskosten (Abb. 5).



Bei guten Windverhältnissen und einer Abschreibungsdauer von zehn Jahren liegen die Erzeugungskosten bereits heute im Bereich der Stromerzeugungspreise, die der Verbraucher derzeit zu zahlen hat.

Abbildung 6 zeigt das Zusammenwirken wichtiger Einflußgrößen bei Untersuchungen der Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen. Unerläßlich sind dabei die voraussichtlichen Kosten der Anlage und die zu erwartende Energielieferung.



Ein wichtiger Wirtschaftlichkeitsfaktor ist die Eigentumsform. Während Privatpersonen, z.B. Landwirte, viel Geld aufbringen müssen, um kleinere, den Eigenbedarf deckende Anlagen zu errichten, die sie eventuell auch im Eigenbau gestalten, haben Vereine oder kleine Genossenschaften die Möglichkeit, Energieversorgungsunternehmen zu bilden, mit dem Vorteil, gemeinsam die Investitionskosten zu tragen und die Windenergie zu nutzen.

Das leistungsstärkere Windrad und die größere Zahl der Betreiber führen bei Netzeinspeisung auch zu einer besseren Position in Vertrags- und Tarifverhandlungen mit öffentlichen Versorgungsunternehmen. Leistungsstärkere Windräder im Bereich 50 bis 300 kW werden wegen der stärkeren Marktpräsenz auch kostengünstiger angeboten.

Vor allem auch hinsichtlich der Verwirklichung dezentraler Energieversorgung sind jene Eigentumsvarianten interessant, bei denen eine Gemeinde, Stadt, lokale Energieversorgungsunternehmen oder Stadtwerke eine Windenergieanlage oder einen Windpark betreiben. Letztere bestehen aus etwa 15 – 20 Windanlagen, die bei guter Lage hohe Energieerträge liefern können.

4.2 Politik

Leider muß festgestellt werden, daß das Interesse an der Förderung dezentraler Anlagen, die nicht durch Energieversorgungsunternehmen betrieben werden und nicht das öffentliche Netz benutzen, nur gering ist.

Die Beispiele im Ausland zeigen jedoch, daß Förderungsprogramme durchaus in der Lage sind, die Verbreitung von Windenergieanlagen zu beschleunigen. Dabei kann es

durchaus sein, daß der Bauboom von Windanlagen noch anhält, obwohl die Auszahlung von Förderungen bereits eingestellt ist. Die reservierte Haltung gegenüber jeglicher Form von Alternativenergie, die sich unter anderem im unzureichenden Förderumfang derartiger alternativer Energietechnologien ausdrückt, ist allerdings kein windenergiespezifisches Phänomen, sondern gilt für alle alternativen Energieformen.

4.3 Gesetze

Ebenso wie die Sonnenenergie gehört auch die Windenergie zum sogenannten "Gemeingut", dessen Benützung grundsätzlich jedermann im Rahmen der Gesetze gestattet ist.

Will man eine Windenergieanlage mit wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit errichten, unterliegt man in allen österreichischen Bundesländern der Baubewilligungspflicht; daraus folgt zugleich die Notwendigkeit eines befugten "Bauführers", d.h. eines Bauunternehmers für die Errichtung solcher Anlagen.

Das Baurecht ist nach der Kompetenzverteilung Ländersache.

Wegen ihrer auffallenden Erscheinung werden Windenergieanlagen verschiedenen Baubewilligungshindernissen unterliegen, zum einen technischen und sicherheitsrechtlichen Vorschriften, zum anderen werden sich Hindernisse aufgrund der Erhaltung besonderer Siedlungs- und Landschaftsschutzzonen ergeben. In der Praxis wird dies aber keine wesentliche Behinderung darstellen, weil der Windenergieversorgung ohnedies eher in entlegenen Gegenden oder außerhalb der Siedlungszonen Bedeutung zukommen wird.

Da Windenergieanlagen vorwiegend zur Erzeugung von elektrischer Energie herangezogen werden, könnten sich aufgrund des Elektrizitätsrechts Sonderprobleme bei der energierechtlichen Genehmigung solcher Stromerzeugungsanlagen ergeben.

Zwei Arten der Elektrizitätsrechtlichen Genehmigung sind zu unterscheiden:

Einerseits ist eine Konzession zum Betrieb eines energieliefernden Unternehmens notwendig und andererseits bedarf es einer Genehmigung zur Errichtung, Erweiterung oder Änderung Elektrizitätserzeugender Anlagen.

Elektrizitätsversorgungsanlagen, die zur eigenen Bedarfsdeckung gedacht sind, sogenannte "Eigenanlagen", müssen, selbst wenn sie nicht bewilligungspflichtig sind, gemäß § 11 Abs. 2 (Bundes-) Elektrizitätswirtschaftsgesetz 1975, ihr Verhältnis zum örtlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen im Verhandlungswege klären.

5 UMWELTASPEKTE

Wind ist eine natürliche Energiequelle, die bei ihrer Umwandlung zu nutzbarer Energie keine Schadstoffe erzeugt und den Wärmehaushalt nicht negativ beeinflusst, da der Umwelt weder Wärme entzogen noch zusätzliche Wärme zugeführt wird.

Eine umfangreiche Nutzung der Windenergie erfordert jedoch die Aufstellung einer größeren Zahl von Windkraftanlagen (Windparks), wodurch es zu einer Konfliktsituation mit dem Lebensraum der Bevölkerung kommen kann.

Den größten Störfaktor stellt sicherlich die Lärmemission beim Betrieb dar.

Moderne Windkraftanlagen besitzen nach Erfahrungen in Deutschland eine Schalleistung in der Größenordnung von 100 dB(A). Es sind dies

- Geräusche von Getriebe und Generator sowie
- Geräusche der Bewegung der Rotorblätter (aerodynamische Geräusche)

Die Geräusche von Getriebe und Generator können tonhaltig und damit lästig sein. Sie können jedoch durch konstruktive Maßnahmen, wie z.B. die Kapselung der Maschinenkomponenten und schwingungstechnische Entkoppelung vermindert oder ganz vermieden werden.

Die aerodynamischen Geräusche sind breitbandig und werden als Rauschen wahrgenommen. Sie sind schwieriger zu beheben als die Getriebe- und Generatorgeräusche, da nur konstruktive Maßnahmen am Rotor (Blattform) möglich sind, jedoch keine Kapselung. Akustisch günstig sind geringe Blattspitzengeschwindigkeiten. Da die Anforderungen an die Form des Rotors aus mechanischer, wirtschaftlicher (Wirkungsgrad) und akustischer Sicht verschieden sind, muß ein Kompromiß für die Konstruktion der Rotorblätter gefunden werden.

Eine geringe Geräuschbelastung der benachbarten Bevölkerung erfordert, in Abhängigkeit der Größe der Anlage, Abstände von ca. 200 m bis 500 m zwischen der Windkraftanlage und dem nächsten Wohngebiet.

Die Errichtung einer Vielzahl von Windenergieanlagen wird jedenfalls mit einer optischen Beeinträchtigung verbunden sein, obwohl dies subjektiv schwer zu beurteilen ist, denn was den einen stört, empfindet der andere als attraktiven Anziehungspunkt.

Ein ernstes Problem für Anrainer sind Störungen des Fernsehempfanges, da der drehende Rotor elektromagnetische Wellen negativ beeinflussen kann. Diese Störungen sind nicht gleichmäßig stark rund um die Windkraftanlage verteilt, sondern können in bestimmten Richtungen erheblich stärker und weitreichender sein als in anderen. Treten solche Interferenzen auf, kann eine Verkabelung der Fernsehempfänger Abhilfe schaffen (ENQUETE-KOMMISSION, 1990).

Häufig sind auch Argumente zu hören, Windkraftanlagen beeinträchtigen die Fauna. Um genauere Erkenntnisse darüber zu erlangen, vergab das Bundesministerium für Forschung und Technologie in der Bundesrepublik Deutschland 1989 eine Pilotstudie "Biologisch ökologische Begleituntersuchung beim Bau von Windkraftanlagen". Ersten Ergebnissen zufolge ist, bei richtiger Standortwahl, keine höhere Vogelsterblichkeit durch direkte Einwirkung der Windanlage zu verzeichnen. So wurden bei sieben von elf beobachteten Windkraftanlagen innerhalb von zwei Jahren 32 Vögel nachweislich durch die Windanlage getötet, dagegen starben 131 Vögel innerhalb eines Jahres beim Anprall gegen einen Sendemast.

6 ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE SYSTEMÜBERLEGUNGEN

Der wirtschaftliche Betrieb von Windenergieanlagen ist ganz entscheidend von den örtlichen Windverhältnissen abhängig. Hinsichtlich der zu erwartenden Energiemenge müssen neben den statistisch zu ermittelnden Windgeschwindigkeitswerten die Häufigkeitsverteilung, der tages- und jahreszeitliche Verlauf sowie die Höhenabhängigkeit, die Rauigkeit der Geländeform und die Einflüsse sonstiger Hindernisse berücksichtigt werden.

Die Windmeßdaten der verschiedenen Meßstationen weisen oft sehr große Unterschiede zu dem tatsächlichen Windenergiepotential der einzelnen Orte auf. Das liegt zum Teil an den unterschiedlichen Windverhältnissen in großräumigen Teilen des Landes, aber auch an den lokalen Einflüssen in der Umgebung der Meßstation, die noch am besten durch Messungen in verschiedenen Höhen minimiert werden können.

Am Beispiel des Bundeslandes Salzburg sind im folgenden Balkendiagramm (Abb. 7) die Energiegewinne in kWh/m² Rotorfläche beim Einsatz der Turbinenbauart 2 (die Turbine arbeitet mit annähernd konstanter Schnellaufzahl) angegeben, in zwei unterschiedlichen Höhen gemessen.

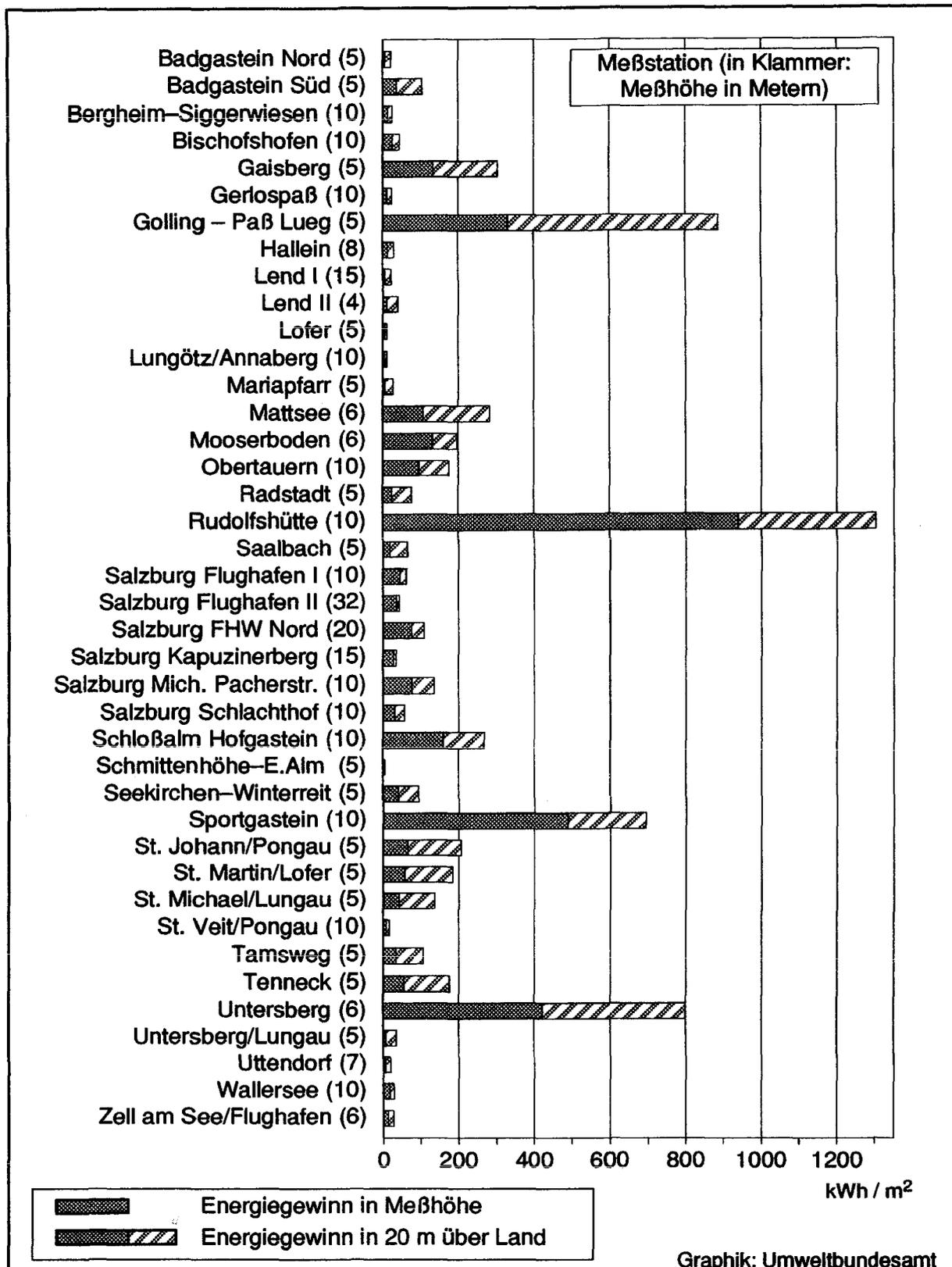
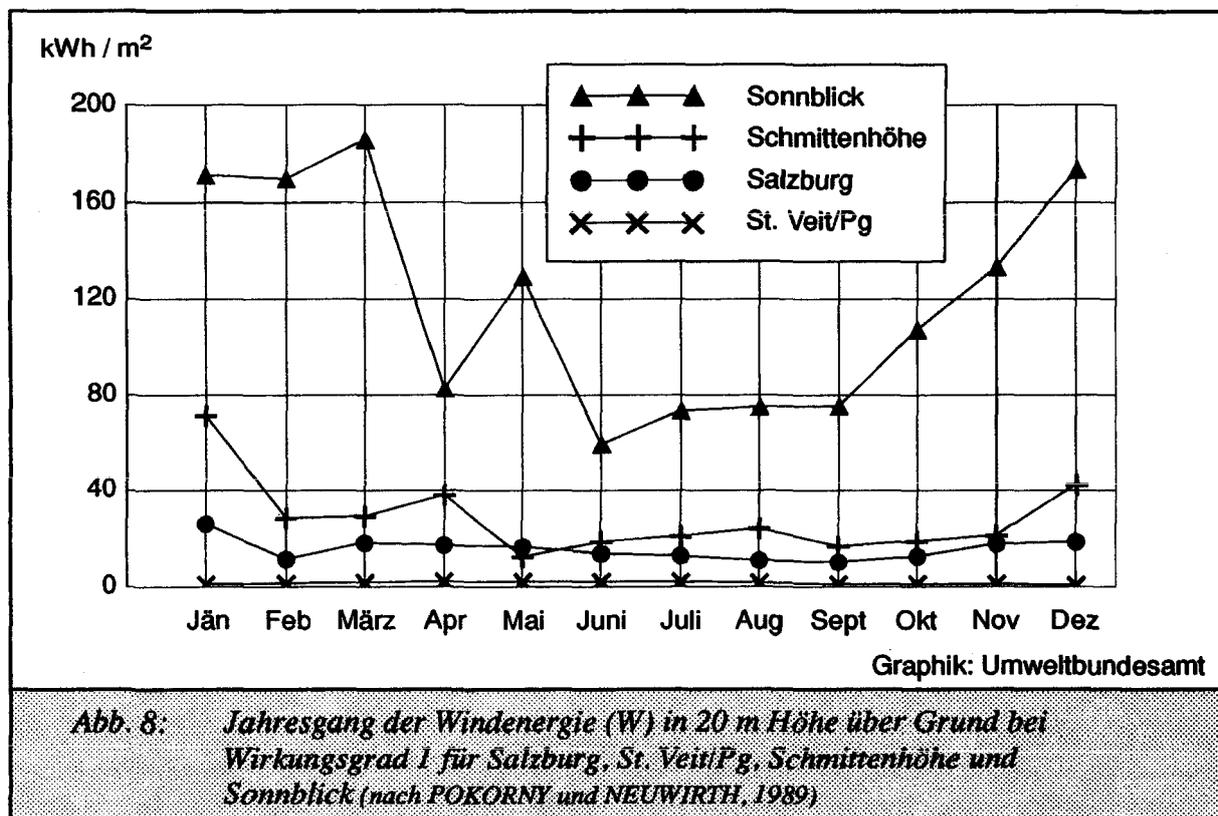


Abb. 7: Vergleich des Gesamtpotentials für Stromgewinnung pro m² Turbinenfläche (Bauart 2) und Jahr an verschiedenen Orten im Bundesland Salzburg (nach: POKORNY u. NEUWIRTH, 1989)

Generell haben die Windmessungen ergeben, daß in der für die Energiesicherstellung so wichtigen Wintermonate, vor allem aber im Spätherbst und von Februar bis April das Windenergieangebot besonders groß ist (Abb. 8).

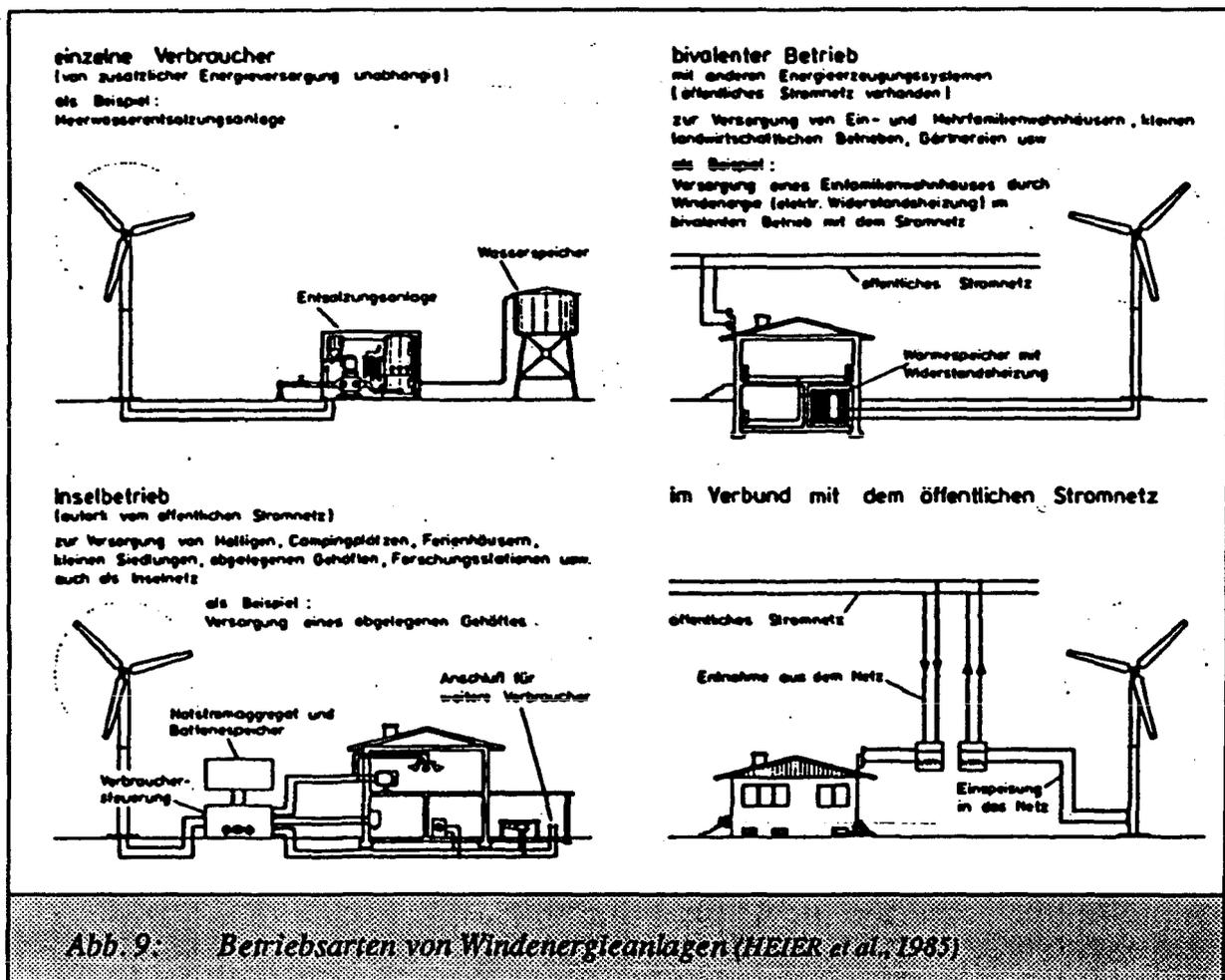


Die maximal auftretende Windgeschwindigkeit und starke Böen stellen jedoch sehr hohe technische Ansprüche an die Windenergieanlagen, vor allem an die Festigkeit der Konstruktion und an die Regelung.

Vor allem aufwendige, große Windenergieanlagen über 100 kW bis hin in den MW-Bereich sollen, um eine möglichst optimale Energieausbeute zu erreichen, stets den momentanen Windverhältnissen angepaßt sein. Diese Anlagen werden fast ausschließlich zur Einspeisung elektrischer Energie in das öffentliche Netz eingesetzt. Um Störungen bei der Einspeisung in den Netzbetrieb zu verhindern, müssen die ständigen Fluktuationen des Windes vollständig ausgegletzt werden.

Kleine Windenergieanlagen mit einer Leistung unter 100 kW eignen sich für die Versorgung von einzelnen Verbrauchern oder Verbrauchergruppen. Ihr Problem ist die Festigkeit bei Sturm. Die Form und Anstellwinkel der Flügel kann jedoch den Wirkungsgrad bei hoher Windgeschwindigkeit drosseln. Eine zusätzliche Sturmabschaltung kann eine Überdrehung verhindern.

Abbildung 9 zeigt verschiedene Betriebsarten bzw. Nutzungsformen von Windenergieanlagen.



Je nach Verwendungszweck werden verschiedene hohe Ansprüche an die Frequenzkonstanz und Spannung gestellt. Während z.B. die Meeressalzanlage nur eine geringe Anforderung stellt, bedarf es bei der direkten Einspeisung in das Netz oder bei der Versorgung von Gehöften einer konstanten Frequenz.

Für eine autarke Versorgung, im sogenannten Inselbetrieb (hier kann der Verbraucher durch eine einzelne Windenergieanlage oder durch mehrere Anlagen versorgt werden), spielen die Unterschiede zwischen Windenergieangebot und Energiebedarf eine große Rolle. Trotz jahreszeitlicher Übereinstimmung kann durch Windflauten bzw. Ausfallzeiten die Versorgung gefährdet werden. Ein entsprechend dimensionierter Speicher oder ein Notstromaggregat kann zur Überbrückung dienen.

Wichtig sind natürlich auch die Wartungsfreundlichkeit und die Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen. Ebenso wie für andere Güter muß es für Windräder neben dem Verkauf auch Serviceleistungen der Firmen geben, etwa die verlässliche und rasche Bereitstellung von Ersatzteilen und Personal, um die Verfügbarkeit dieser Technologie dadurch im allgemein üblichen Ausmaß zu gewährleisten.

LITERATURVERZEICHNIS**BIERBRAUER, H. v. et al. (1990)**

Energie und Klima. Band 3: Erneuerbare Energien, Kap. "Windenergie", Hrsg.: Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission, Economica Verlag, Bonn und Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

BORG, I. (1985)

Windpower: Assessing the Potential. In: Energy and Technology Review

ENQUETE-KOMMISSION (1990)

Energie und Klima. Band 3: Erneuerbare Energien, Kap. "Windenergie", Hrsg.: Deutscher Bundestag, Economica Verlag, Bonn und Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

FORUM FÜR ZUKUNFTSENERGIEN (Hrsg.) (1992)

Erneuerbare Energien – ein Leitfaden für Städte und Gemeinden

HEIER et al. (1985)

Nutzung der Windenergie. BINE-Informationspaket, Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik GmbH, Karlsruhe (Hrsg.), Verlag TÜV-Rheinland, Köln

JARASS, L. und OBERMAIR, G. (1986)

Strom aus dem Wind. In: Bild der Wissenschaft extra – Energie aus Sonne und Wind

KNAPP, W. und HESS, W. (1986)

Flügel im Wind. In: Bild der Wissenschaft extra – Energie aus Sonne und Wind

LAZAR, Reinhold (1989)

Darstellung des Windenergiepotentials der Steiermark. Projekt: Bericht – Bundesländerkooperation StE 31a/84, Graz 1989

POKORNY, W. (1981)

Das österreichische Windenergiepotential. In: Windenergiekarte von Österreich, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1984)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Vorarlberg. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1984)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Wien. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1986)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Burgenland. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1986)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Niederösterreich. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1987)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Oberösterreich. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1988)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Kärnten. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1988)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Steiermark. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

POKORNY, W. und NEUWIRTH, F. (1989)

Das Windenergiepotential des Bundeslandes Salzburg. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung

SELZER, H. (1990)

Energie und Klima. Band 3: Erneuerbare Energien, Kap. "Windenergie", Hrsg.: Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission, Economica Verlag, Bonn und Verlag C.F. Müller, Karlsruhe

UBA (1991)

Umweltbundesamt

Zweiter Umweltkontrollbericht. Kap. "Energie", Hrsg: Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie

VDI-NACHRICHTEN (1990)

Heft Nr. 19 und 20

WINKELMEIER, H. (1994)

Stellungnahme der Energiewerkstätte zum Energiebericht der österreichischen Bundesregierung, Friedburg

WINDKRAFTJOURNAL (1989)

4/89, Hrsg.: Verlag Natürliche Energie Gmbh, Ascheffel, BRD

Schriftliche Mitteilungen von:

ÖSTERREICHISCHER ALPENVEREIN

GRUPPE ANGEPASSTE TECHNOLOGIE (GRAT), TU-Wien

Mündliche Mitteilung von:

BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIEN, Bonn

