

Windenergieforschung

Von Dr. A. Ziegler, Bonn *)

Ohne geeignete Forschungsförderung ist nach einer Pause von gut einem halben Jahrhundert in der Entwicklung von Windenergieanlagen keine neue Belebung dieser uralten regenerativen Energiegewinnung zu erwarten. Der folgende Beitrag zeigt deshalb, wo die Probleme einer breiteren Anwendung gegenwärtig zu suchen sind und mit welchen Förderungsmaßnahmen jetzt versucht wird, sie zu überprüfen und soweit wie möglich, auch den begrenzten meteorologischen Gegebenheiten in der Bundesrepublik Deutschland entsprechend, zu lösen.

In der Bundesrepublik Deutschland treten mittlere Windgeschwindigkeiten oberhalb von 5 m/s im wesentlichen

*)Regierungsdirektor Dr. Alois Ziegler ist Referent für Nichtnukleare Energieforschung und Technik I im Bundesministerium für Forschung und Technologie

Fortsetzung

- 5) Review of Developments in Western Germany; Workshop on Advanced Wind Energy Systems, Stockholm Aug. 1974
- 6) Optimum Design Concept for Wind-electric Converters; dto
- 7) Optimum Wind Energy Conversion System; Annual Review of Fluid Mechanics, 9/1976 Dörner, H.
- 8) Gesichtspunkte zur optimalen Auslegung von Windenergieanlagen; Seminar Windenergie, Kernforschungsanlage Jülich, Okt. 1974
- 9) Efficiency and Economic Comparison of Different WEC (Wind Energy Converter) -Rotor Systems; International Conference: "Appropriate Technologies for Semiarid Areas: Wind- and Solar Energy for Water Supply" Berlin, Sept. 1975
- 10) Windenergie – Vorteile und Grenzen; Arbeitsseminar: "Sparsame und rationelle Energienutzung – Strategien zur Energieeinsparung", Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz e.V. (BBU), 19.- 21. Dezember 1975, Bad Antogast, Schwarzwald

Molly, J.P.

- 11) Nutzung der Windenergie in der Bundesrepublik Deutschland; Vortrag in Jülich (Zwischenbericht AGF-Studie: "Nicht nukleare und nicht fossile Primärenergieträger") Juni 1975

| Bundesland | $\bar{v} > 4 \text{ m/sec}$ km ² | $3.4\bar{v} < 4 \text{ m/sec}$ km ² | Gesamtfläche km ² |
|----------------------------|--|---|---------------------------------|
| Schleswig-Holstein | 13 500 | 2 100 | 15 600 |
| Niedersachsen | 10 000 | 34 000 | 47 400 |
| Nordrhein-Westfalen | 1 200 | 30 000 | 34 000 |
| Hessen | 400 | 7 000 | 21 100 |
| Rheinland-Pfalz | 800 | 6 000 | 19 800 |
| Baden-Württemberg | 1 300 | 6 000 | 35 700 |
| Saarland | 0 | 300 | 2 600 |
| Bayern | 2 000 | 9 000 | 70 500 |
| Bundesrepublik Deutschland | 29 200 | 114 400 | 249 000 |

Tabelle 1: Größe der windgünstigen Flächen einzelner Länder der Bundesrepublik Deutschland ohne orthographisch bedingte Einschränkungen

nur an der Küste und in exponierten Lagen der Mittelgebirge auf. Windgeschwindigkeiten von mehr als 4 m/s werden nur auf rd. 11 % der Landfläche der Bundesrepublik registriert. (Tabelle 1 und Bild 3 Seite 5).

Windgeschwindigkeitsmessungen werden im allgemeinen in Höhen von 6 bis 25 m über Grund durchgeführt. Anlagen zur großtechnischen Nutzung der Windenergie haben aber Bauhöhen um 100 m. Das Häufigkeitsprofil der Windgeschwindigkeit ändert sich mit der Höhe ganz erheblich, wie Bild 1 zeigt. Für die Umrechnung der normalen meteorologischen Windmeßdaten auf größere Höhen gibt es zwar empirische Formeln, die Anwendung auf einen speziellen Standort ist aber mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Eine weitere Schwierigkeit, aus den meteorologischen Windmeßdaten auf den möglichen Energieertrag zu schließen, ergibt sich dadurch, daß die normale Windmessung nur den Mittelwert

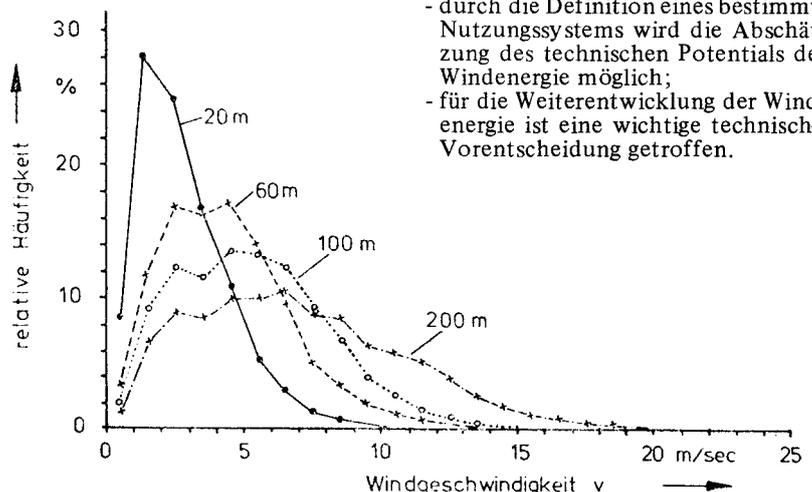


Bild 1: Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen

der Windgeschwindigkeit liefert. Die Leistung eines Windenergiekonverters ist aber der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit proportional. Streng betrachtet würde daher für eine Berechnung des Leistungspotentials der Windenergie eine simultane Aufzeichnung der Windgeschwindigkeit erforderlich sein. Experimentelle Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß der gemessene Mittelwert der Windgeschwindigkeit mit ausreichender Genauigkeit für Abschätzungen benutzt werden kann.

Vergleich technischer Konzepte

Vor der Berechnung des technischen Potentials der Windenergie muß festgelegt werden, mit welchem Anlagentyp die Windenergie in elektrische Energie umgewandelt werden soll. Windenergie-Konverter sind bereits in großer Zahl vorgeschlagen und erprobt worden 1).

Das Ergebnis eines Vergleichs (Tabelle 2) führt zwingend dazu, bei der Weiterentwicklung der Technologie zur Nutzung der Windenergie für die Erzeugung von elektrischem Strom vom Hütter-Konzept (s. eigener Beitrag in diesem Heft) auszugehen. Daneben sind in geringerem Umfang auch Untersuchungen zum Darrieus-Rotor gerechtfertigt, da dieses Konzept einige bemerkenswerte Vorzüge gegenüber den Horizontalachsen-Maschinen besitzt, sofern es gelingt, die genannten Probleme befriedigend zu lösen. Die einfache Bauweise des Darrieus-Rotors macht ihn vor allem für den Einsatz in entlegenen Gebieten geeignet. Mit dieser Bewertung der wesentlichen Konzepte ist zweierlei erreicht:

- durch die Definition eines bestimmten Nutzungssystems wird die Abschätzung des technischen Potentials der Windenergie möglich;
- für die Weiterentwicklung der Windenergie ist eine wichtige technische Vorentscheidung getroffen.

| | Honnet | Darrieus | Mantelturbine | Hütter | |
|---------------------------|--------------------|---------------|------------------------------|----------------------------|----|
| Rotor | | | | | |
| - Blattzahl | groß | - klein | + klein | + klein | + |
| - theor. Leistungsbeiwert | sehr hoch | ++ mittel | + sehr hoch | ++ hoch | + |
| - Herstellkosten | sehr hoch | -- gering | + sehr hoch | -- hoch | - |
| Getriebe | entfällt | ++ Standard | + Standard | + Standard | + |
| Richtungsregelung | träge | - entfällt | ++ schnell | + schnell | + |
| Sturmsicherung | unbefriedigend | -- einfach | + aufwendig | - einfach | + |
| Leistungsregelung | träge | - aufwendig | - unklar | - elegant | + |
| Generator | Sonderkonstruktion | -- Standard | + Standard | + Standard | + |
| Stromart | Gleichstrom | - Gleichstrom | - Wechselstrom | + Wechselstrom | + |
| Schwingungsprobleme | — | 0 ungelöst | - groß, ungelöst | -- überschaubar; gelöst | + |
| Turmkonstruktion | sehr massiv | -- entfällt | + sehr hoher Materialaufwand | + geringer Materialaufwand | + |
| a) Summe: Plus-Zeichen | | 4 | 9 | 8 | 10 |
| b) Summe: Minus-Zeichen | | 12 | 3 | 6 | 1 |
| c) Differenz: a - b | | -8 | 6 | 2 | 9 |

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Konzepte zur Nutzung der Windenergie

Der Beitrag zur Energieversorgung

Für die Abschätzung des technischen Potentials wird eine Anlage zugrundegelegt mit 72 m Nabenhöhe, 113 m Rotordurchmesser sowie einer installierten Generatorleistung von 3 MW entsprechend einer Flächenleistung von 300 W/m². Unter Zugrundelegung der meteorologischen Daten ergibt sich damit ein technisches Potential der Windenergie in der Bundesrepublik von 220 TWh/a. Für diese Abschätzung ist unterstellt, daß der Gesamtwir-

kungsgrad für die Umwandlung der Windenergie in elektrischen Strom 32% beträgt. Bei einer mittleren Beschäftigungsdauer einer Anlage von 2500 h/a müßten nahezu 30000 Anlagen der genannten Größe installiert werden, um diesen Energieertrag zu erreichen.

Eine Energiequelle ist jedoch erst dann sinnvoll nutzbar, wenn die mit ihrer Hilfe erzeugte Energie im Wettbewerb mit anderen angebotenen Energieträgern bestehen kann. Der Wettbewerb

kann dabei allerdings durchaus bis zu einem gewissen Grad aufgrund übergeordneter volkswirtschaftlicher Gesichtspunkte durch staatlicherseits vorgegebene Rahmendaten beeinflusst sein. Die Kohleverstromung ist das wohl bekannteste Beispiel für diese Handlungsweise des Staates im Bereich der Energiewirtschaft. Unterschiedliche Steuersätze für Benzin, Heizöl und Gas haben ebenfalls einen Einfluß auf die Wettbewerbssituation.

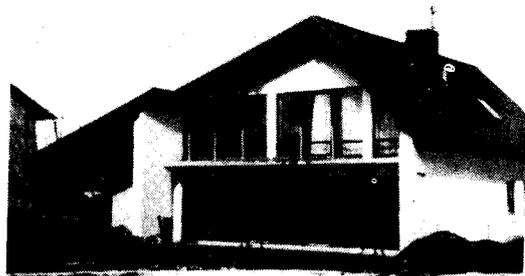
Die wirtschaftliche Bewertung der Windenergie bereitet z. Z. noch große Schwierigkeiten. Anlagen im Leistungsbereich oberhalb von 1 MW sind bisher in Deutschland nicht erfolgreich betrieben worden. Im Hinblick auf die noch bestehenden technischen Probleme sind Großanlagen heute noch nicht installiert worden. Darüberhinaus existieren seitens des Bundesforschungsministeriums noch keine gesicherten Vorstellungen über die technischen Konzepte zur Speicherung von Energie zur Überbrückung von Flautezeiten oder für die Bereitstellung entsprechender Re-

| | 1975 | 1985 | 2000 |
|---|------|------|-------|
| technisches Potential in TWh/a | 220 | 260 | 290 |
| wirtschaftlicher Ausnutzungsfaktor in Prozent | 0 | 1-3 | 4-10 |
| wirtschaftliches Potential in TWh | 0 | 3-8 | 12-29 |

Tabelle 3: Wirtschaftliches Potential der Windenergie

ENERGIE-SPARER NR. 1

fordern Sie den Spezialisten für Wärmepumpen und Kältetechnik



Grundwassererwärmepumpe für Wohnhausvollheizung, Heizleistung 17 000 kcal/h H. Breu Atting

Erich Bauer KG

Kälte-Klima-Wärmepumpen, 8630 Coburg, Postfach 674,
Tel. 09561/1341, Telex 066 33 15

Unsere langjährige Erfahrung schlägt sich nieder bei dem Bau von Wärmepumpenanlagen für Schulzentren, Verwaltungsgebäuden, Hallenbädern, Turnhallen, Freibädern, Eisbahnen, Krankenhäusern, Wohnhäusern, Industrieanlagen usw.
unser Pluspunkt: Guter und schneller Kundendienst für ganz Deutschland
Verkauf- u. Beratungsbüros:
Coburg, Nürnberg, Aachen, Hamburg, Frankfurt a.M.



| Thema des Projektes | Ausführende Stelle | geplante Laufzeit | Gesamtkosten in DM |
|---|----------------------------------|-------------------|--------------------|
| Energiequellen für morgen? | AGF/ASA | 6.74 - 4.76 | (801 500) |
| Entwicklung einer Windkraftanlage mit vertikaler Achse (Phase 1) | | 3.75 - 1.76 | 69 900 |
| Windenergie-Meßprogramm an der Sylter Windkraftanlage | SG Energieanlagenbau | 3.75 - 12.75 | 236 200 |
| Windverhältnisse in der BRD im Hinblick auf die Windkraftnutzung | Deutscher Wetterdienst Offenbach | 10.75 - 9.76 | 212 500 |
| Erstellung sowie Untersuchung eines Windenergiekonverters | DFVLR, Stuttgart | 10.75 - 12.77 | 535 700 |
| Atmosphärenthermische Vertikalkraftwerke kleinerer Leistung | Dr. Ernst, München | 12.75 - 12.77 | 52 700 |
| Entwicklung, Herstellung und Erprobung eines Prototyps: Wind-Energie-Konverter 52Dm m 200 kW | Voith Getriebe KG | 9.76 - 9.78 | 2 848 800 |
| Meßtechnische Untersuchung einer 15 kW-Windkraftanlage | Fachhochschule Gießen | 10.76 - 9.79 | 329 900 |
| Entwicklung eines 5,5 m Dm-Windenergiekonverters mit vertikal. Achse (Phase 2) | Dornier System GmbH | 1.77 - 3.78 | 491 000 |
| Summe: laufende Vorhaben | | | 4 776 700 |
| Meteorologische Messungen Standortwahl für Windenergieanlagen im Küstengebiet | TU Hannover | 1.77 - 12.79 | 670 500 |
| Untersuchungen zum Bau großer Rotorblätter für GROWIAN und zum Schwingungsverhalten des Gesamtsystems | Uni Stuttgart | 3.77 - 9.79 | ca. 640 000 |
| Ausarbeitung baureifer Unterlagen für eine große Windenergieanlage im Megawatt-Leistungsbereich (GROWIAN) | MAN, München | 3.77 - 9.78 | ca. 3 600 000 |
| Simulation der technischen u. wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten von Windkraftwerken mit Speichermöglichkeit | Uni Regensburg | 4.77 - 4.79 | ca. 400 000 |
| Summe: geplante Vorhaben | | | 5 310 500 |

Tabelle 4: Forschungsprojekte im Bereich Windenergie

serveleistung. Ein wirtschaftliches Potential der Windenergie ist daher z. Z. nicht abschätzbar.

Unter Zugrundelegung von vernünftigen Entwicklungs-, Erprobungs- und Bauzeiten wird in der Studie *Energiequellen für morgen? - Teil I*¹⁾ (s. Buch-

besprechungen) die in Tabelle 3 wiedergegebene Abschätzung durchgeführt. Bei Annahme des unteren Grenzwertes müßten bis 1985 rund 400 Anlagen der Leistungsgröße 3 MW in Betrieb sein, um den genannten Betrag von 3 TWh/a erzeugen zu können. Dies ist im Hinblick auf die noch notwendige

| Kurzthema | Winddaten | Einpassung in Versorgungsstruktur | Anpassung an Nutzungsarten | neue Konzepte | Windenergieanlage im MW-Bereich |
|--|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|
| Energiequellen für morgen? Darrieus-Rotor (Phase 1) Meßprogramm Sylt | X | X | | X | X |
| Windverhältnisse in BRD 10-kW-Konverter Vertikalwindkraftwerk 200-kW-Konverter | X | | X | X | (X) |
| Messungen an 15-kW-Anlage Darrieus-Rotor (Phase 2) Kriterien zur Standortwahl | X | | X | X | |
| Große Rotorblätter Baureife Unterlagen für MW-Anlage | | | | | X |
| Verbund von Windenergieanlage und Speicher | | X | | | X |

Tabelle 5: Bearbeitung der Aufgabenfelder durch laufende und geplante Untersuchungen

Entwicklungszeit und die Zeit für den Aufbau von Fertigungskapazität jedoch nicht erreichbar.

Aufgaben der Windenergieforschung

An verschiedenen Stellen wurde bereits auf ungelöste Probleme bei der Nutzung der Windenergie hingewiesen. Alle diese Einzelprobleme und die daraus resultierenden Aufgaben müssen jedoch in einen Zusammenhang gebracht werden. Aus den übergeordneten Zielen der Energiepolitik und der Energieforschung läßt sich für den Bereich Windenergie die folgende globale Aufgabenstellung ableiten: Entwicklung von Technologien zur rationellen Nutzung der Windenergie unter Beachtung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

Diese Globalaufgabe zerfällt bei der Umsetzung in technisch handhabbare Projekte in viele Einzelaufgaben. Sie beziehen sich sowohl auf die Bewertung des Windenergieangebotes, auf die eigentliche Windenergieanlage, wie auch auf die Einbindung der Windenergie in die öffentliche Stromversorgung. Im einzelnen ergeben sich dabei folgende Aufgaben:

- Erfassung und Aufbereitung von Winddaten (z. B. Höhenkorrelation, Standortkriterien)
- Einpassung von Windenergieanlagen in die Energieversorgungsstruktur (z. B. Bedarf an Reserveleistung, Speicherung, Frequenzregelung)
- Anpassung von Windenergieanlagen an bestimmte Nutzungsarten (z. B. Modulbauweise, Bauweisen für Entwicklungsländer, Versorgung "elektrischer Inseln")
- Untersuchung neuer Konzepte
- Entwicklung von Windenergieanlagen großer Leistung.

Stand der Windenergieforschung

Einen Überblick über die laufenden und geplanten Projekte im Bereich Windenergie gibt Tabelle 4. Im Rahmen der nichtnuklearen Energieforschung wurden 1974 bis 1976 Vorhaben im Bereich Windenergie mit Gesamtkosten von 4 776 700 DM begonnen. Neue Vorhaben mit einem Kostenvolumen von 5,3 Mi. DM befinden sich z. Z. in Vorbereitung.

Noch eine Bemerkung zum Zeitrahmen: die Erarbeitung baureifer Unterlagen für eine Anlage im MW-Bereich wird bis Ende 1978 abgeschlossen sein. Im Laufe des Jahres 1979 kann dann mit dem Bau einer großen Anlage begonnen werden. Auf dieser Grundlage ist damit zu rechnen, daß Ende 1980 die erste große Windenergieanlage in der Bundesrepublik in Betrieb gehen wird.

In Tabelle 5 werden die einzelnen FE-Vorhaben den Aufgabenfeldern zugeordnet. Es zeigt sich, daß die Felder "Anpassung an Nutzungsarten" und neue Konzepte bereits gut besetzt sind.

Fortsetzung