

# Wind energietechnik einst und heute

Von Ing. grad. Ulrich Stampa, Bremen

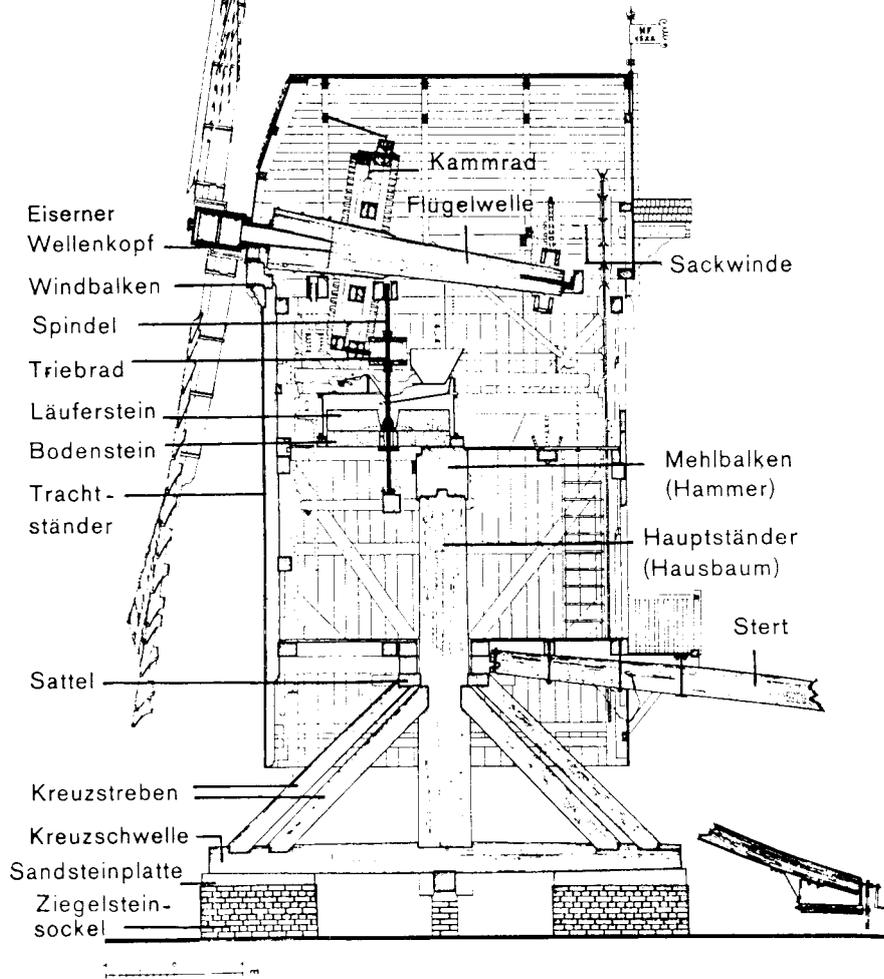


Bild 1: Bockwindmühle

nen Zeichnungen als der Erfinder der Luftschaube gilt, hat seine Erfindung mit Sicherheit nur durch die genaue Kenntnis von Aufbau und Wirkungsweise von Windrädern machen können.

Windmühlen sind meistens nur dort eingesetzt worden, wo es an Wasserkraft mangelte, denn die technischen Anforderungen an eine Windkraftanlage waren und sind auch heute noch ungleich höher als die Anforderungen an eine Wasserkraftanlage gleicher Leistungsfähigkeit. Seine größte Verbreitung fand das Windrad im europäischen Flachland zwischen Großbritannien und Rumänien und von Finnland bis Spanien. Es diente zum Mahlen von Korn, zum Pumpen von Wasser, zum Sägen von Holz und zum Antrieb verschiedener Maschinen, die in Handwerksbetrieben benutzt wurden (Bild 1).

Die Nutzung der Windenergie erfolgte in früheren Zeiten in Ermangelung anderer Energiequellen. Durch die Erfindung der Dampfmaschinen, der Verbrennungs- und Elektromotoren trat eine Konkurrenzsituation ein, die nur in Ausnahmefällen den Windrädern bis in die heutige Zeit wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten überließ, z. B. in Agrarländern mit unzureichender energetischer Infrastruktur. Das seit einigen Jahren erwachte Bewußtsein über die Begrenztheit unserer Energievorräte hat jedoch zu einer erneuten Aktualität der Windenergienutzung geführt, weil das vom Wind angebotene Potential an hochwertiger Energie zu einer Entlastung unserer künftigen Energieprobleme beitragen kann.

## Fortsetzung

Die Aufgabe "Einpassung in die Versorgungsstruktur" wird bisher noch zu wenig bearbeitet. Gerade hier liegt jedoch der Schlüssel für die Beurteilung der Frage, ob Windenergie letztlich einen Beitrag und - falls dies bejaht wird - welchen, zur Stromversorgung leisten kann. Eine schlüssige Antwort auf diese Frage wird leider erst in einigen Jahren gegeben werden können.

## Literaturhinweise

- 1) Energiequellen für morgen? Teil III, Nutzung der Windenergie, herausgegeben vom Bundesminister für Forschung und Technologie
- 2) Energiequellen für morgen? Teil I, zukünftige Bedarfsdeckung und die Bedeutung der nichtfossilen und nichtnuklearen Primärenergiequellen (s. Buchbesprechungen)

Windenergie ist von allen bekannten Kulturvölkern in verschiedener Weise genutzt worden. Die bei weitem verbreitetste Methode der Nutzung der Windenergie war der Antrieb der Segelschiffe. Der Zeitpunkt der Erfindung und ersten Anwendung des Windrades kann heute nicht genau datiert werden. Man kann aber annehmen, daß es von seßhaften Kulturvölkern erfunden wurde, die sowohl das Rad als auch das Segel kannten, über ein hohes handwerkliches Können und über technisches Geschick verfügten.

Die ältesten Reste von Windmühlenhäusern, deren Alter man auf ca. 3000 Jahre schätzt, sind im Nildelta gefunden worden. In den Mittelmeerländern erreichte der Bau von Windrädern in der venezianischen Zeit den Höhepunkt. Die ältesten Abbildungen von Windrädern stammen aus der Zeit um 900 n. Chr. Leonardo da Vinci, der nach sei-

Die drastische Verteuerung der konventionellen Energieträger sowie die heute verfügbaren Erkenntnisse in den Ingenieurwissenschaften und die verbesserten Fertigungstechnologien bieten jetzt die Chance, die Windenergie wieder wirtschaftlich zu nutzen. Hierüber wurden umfangreiche Untersuchungen, vor allem von Prof. Hütter (vgl. Beitrag S. 3), veröffentlicht. Es ist daher von Interesse, noch einmal die Probleme und Erfolge der früheren Windmühlbauer zu analysieren, denn trotz der "primitiven" Bauweisen wurden extrem lange Lebensdauern von z. T. Jahrhunderten erreicht.

## Blütezeit der Windmühlen

Die Blütezeit der Windmühlen in Europa lag vor der Einführung der Dampfmaschinen. 1909 gab es in Deutschland noch 13 392 Windmühlen. Danach

## Fachbeiträge

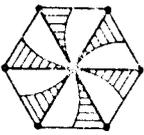
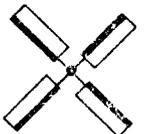
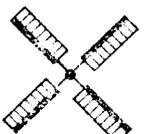
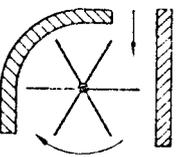
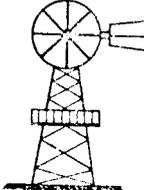
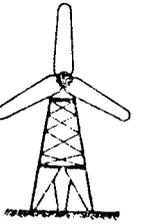
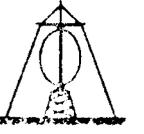
Windradtyp	Windausrichtung	Drehzahl	Mühlentyp	Anwendung				Leistungs- klasse PS	Verbrei- tung
				Wasser- pumpen	Korn- mahlen	Hand- werk	Stromer- zeugung		
 verspanntes Rad mit Segeln (4-12 Stück)	keine oder von Hand oder Windfahne	Segel setzen von Hand	Haus	-	+	?	-	1 - 8	zehntausende
			Turm	+	-	?	-		
 4-6 Flügel mit Segeln oder Windbrettern	keine oder von Hand	Segel oder Bretter setzen von Hand	Haus	+	+	?	-	5 - 15	tausende
			Bock	-	+	?	-		
 4 Flügel mit Klappenregelung	von Hand oder Windrose	automatisch	Haus	+	+	+	-	5 - 15	zehntausende
			Bock	+	+	+	-		
			Turm	+	-	?	+		
 Schaufelrad	keine	keine	persische Vertikal- achsen Mühle	-	+	-	+	0,5 - 2	hundert
 amerikanische Mühle	Windfahne automatisch	Ausschwenken des Rades automatisch	Turm	+	-	+	+	0,5 - 20	zehntausende
 Schnellaufer 2-8 Blätter	Windfahne Windrose oder Stellmotor	Blattwinkel Steuerung automatisch	Turm oder Mast	-	-	-	+	6 - 1000	
 Darrieus Rotor	keine	Spornler	Turm oder Mast	-	-	-	+		

Bild 2: Einteilung von Windkraftwerken

sind praktisch keine Windmühlen mehr gebaut worden. Im Windmühlenland Holland haben 1926 noch 1 972 Anlagen gute Dienste beim Wasserpumpen und Kornmahlen geleistet.

Trotz jahrhundertalter Erfahrung traten bei Windrädern immer wieder schwere Störungen auf. Bei Sturm kam es zu Brüchen der Flügel, der Achse oder des Mühlenhauses. Das Versagen

der Bremse oder der Regelanlage konnte verheerende Folgen haben; Brüche von Lagern oder Übertragungsteilen führten oft zum Verlust der Mühle.

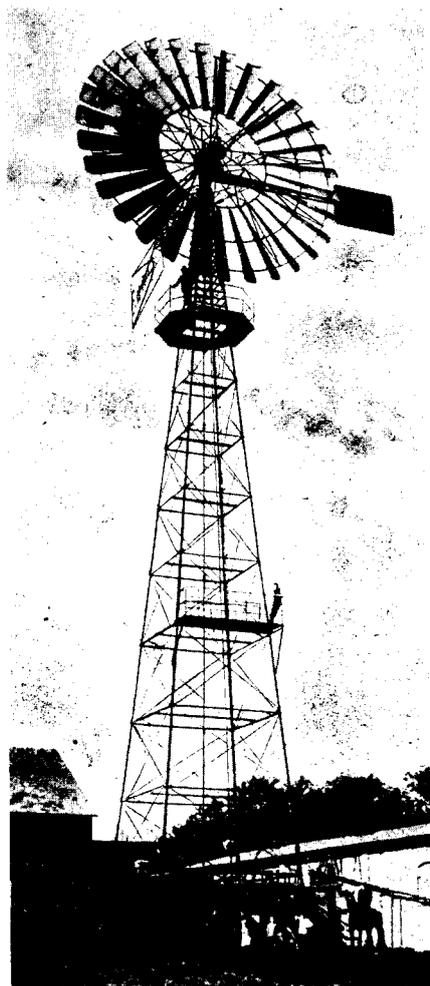


Bild 3: Amerikanische Windmühle für landwirtschaftliche Betriebe, Turmhöhe 30 m, Windraddurchmesser 11 m, Leistung 10 kW

Beim Anwerfen des Windrades im Winter sind Müller von herabstürzenden Eisstücken erschlagen worden. Wenn sich beim Aufzug von Gewittern die Windrichtung plötzlich um 180° änderte, konnte die automatisch arbeitende Windrose versagen und das Windrad begann sich verkehrtherum zu drehen. Die nur für eine Drehrichtung ausgelegte Bremse konnte das Windrad nicht halten und begann zu rutschen. Schon nach wenigen Umdrehungen brannte dann das hölzerne Rad unter dem Bremsband. Durch abfliegende Teile des Windrades sind Schäden in der Nachbarschaft aufgetreten. Nicht selten haben die Müller beim Versuch, eine durchgehende oder brennende Mühle zu retten, ihr Leben verloren.

### Zuverlässige Arbeitsmaschine

Diese Fälle dürfen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Windmühle als zuverlässige Arbeitsmaschine zu werten und z. T. jahrhundertlang in Betrieb war. Grundbedingung hierzu war eine sorgfältig abgestimmte Materialauswahl und Verarbeitung. Die Größe der Windräder blieb auf ca. 24 m Durchmesser begrenzt, da Baumstämme von mehr als 12 m Länge bei 30 cm Durchmesser nicht im astreiner

Zustand zur Verfügung standen. Für hoch beanspruchte Teile wurden importierte Werkstoffe verwendet. So konnte z. B. der Flügelbaum nur aus Pitchpine oder der Polnischen Kiefer gefertigt werden. Das Hauptlager der Flügelwelle - der Katzenstein - mußte aus besonders hartem Gestein gefertigt werden. Hierzu wurde belgischer Granit verwendet. Der Hausbaum einer Bockmühle mußte das 35 t schwere Mühlenhaus tragen und den Winddruck des Windrades und des Mühlenhauses aufnehmen. Für den Hausbaum mußte eine am Fuß mindestens 1,5 m starke Eiche gefällt werden, die einen gerade gewachsenen Stamm von 9 m Länge haben mußte. So ein Stamm wog etwa 12 000 kg. Die oberen 3 m des Stammes wurden dann rund gedreht, damit die Lagerung für das Mühlenhaus angebracht werden konnte. Die Backen der Bremse, die um das 3 m dicke Kammrad angeordnet waren, wurden aus Lindenholz gefertigt, da dieses Holz als besonders griffig und brandsicher galt. Diese Bremse reichte aber bei Sturm nicht aus, um das Windrad zu halten, auch wenn alle Segel und Windbretter abgenommen wurden. Bei Sturm mußte das Kammrad mit Balken im Mühlenkopf festgesetzt und mit großen Holzkeilen gesichert werden. Zum Befestigen des Bruststückes des Windrades in der gußeisernen Nabe wurden Hartholzkeile benutzt. Diese Keile wurden vor dem Einschlagen stundenlang in Wasser weichgekocht. Nach dem Einschlagen verhärtete sich das Holz dann wieder und bildete eine unlösliche Verbindung, die bei jeder Witterung Jahrzehnte überdauerte.

Zu allen Zeiten haben die Hersteller von Windmühlen versucht, die günstigste Form des Windrades zu entwickeln. In Bild 2 sind die wichtigsten Windradtypen zusammengefaßt. Die techni-

schen Merkmale, die Verwendung und die Verbreitung sind zu jedem Windradtyp eingetragen.

### Windradtypen

Während die Windradtypen 1 - 4 ihre Blütezeit etwa in der Mitte des vorigen Jahrhunderts hatten und heute fast gar nicht mehr anzutreffen sind, erfreut sich die amerikanische Windmühle (Typ 5) noch heute größter Beliebtheit. Sie wird in Amerika, Südamerika und Australien auf Viehweiden zum Wasserpumpen benutzt. Sie richtet sich selbstständig nach dem Wind aus, reguliert die Drehzahl automatisch, ist weitgehend wartungsfrei und sturmsicher. Die Anzahl der in der gesamten Welt arbeitenden amerikanischen Windmühlen beträgt einige zehntausende (Bild 3 und Bild 4). Diese Zahl ist jedoch im Wachsen begriffen. Die amerikanische Windmühle wird in geringem Umfang auch für handwerkliche Zwecke und zur Stromerzeugung genutzt.

Der moderne Schnellläufer, Typ 6, ist in den letzten 40 Jahren in allen Industrieländern zu Versuchszwecken gebaut worden. In der Regel wird er zur Stromerzeugung verwendet, nur wenige Geräte werden wirtschaftlich genutzt.

Der Typ 7 ist ein windrichtungsunabhängiger Schnellläufer nach dem Darrieus-Prinzip. Windkraftwerke dieses Typs werden seit einiger Zeit bis zu einer Leistung von 8 kW gebaut.

### Analogien zum Flugzeugbau

Seit dem Zeitalter der historischen Windräder sind die Technologien für deren Bau ganz wesentlich vervollkommen worden und bieten dem Konstrukteur einen viel breiteren Spiel-

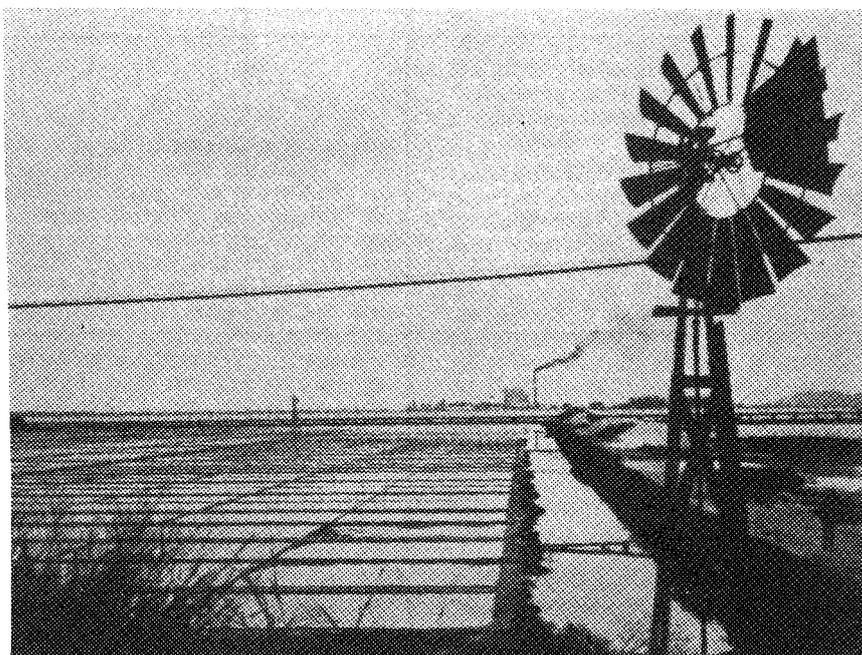


Bild 4: Amerikanische Windmühle mit Pumpanlage für Salinen in Perynas im Arraial do Cabo Frio

raum für die Verwirklichung leistungsfähiger Windkraftanlagen. Sehr viele Ansätze dazu lassen sich aus dem Flugzeugbau ableiten. Ähnlich wie die historischen Windräder wurden ja auch die Flugzeuge ursprünglich hauptsächlich aus Holz und Leinwand gebaut, hatten flachgewölbte Tragflügelprofile und wurden mit Handkräften gelenkt. Heute werden sie aus Leichtmetall und Faserwerkstoffen hergestellt; ihre Tragflügel haben widerstandsarme Laminarprofile, und sie werden von Servoanlagen gelenkt, die von einer elektronischen Steueranlage ihre Kommandos erhalten. Nach wie vor müssen Flugzeuge von gut ausgebildeten, denkenden Menschen überwacht und gesteuert werden, die bei Störungen und sich nähernden Gefahren geeignete Maßnahmen ergreifen können. Auch die historischen Windräder wurden dauernd von Menschen überwacht und gesteuert. Ob man beim Bau moderner Anlagen auf die Überwachung durch Menschen ganz verzichten kann, hängt von der Qualität der automatischen Überwachungsanlage ab.

Die zerstörenden Kräfte des Wetters sind so groß und vielgestaltig, daß selbst an stationären soliden Bauwerken Schäden auf die Dauer nicht vermieden werden können. An stationären Bauwerken mit beweglichen Teilen sind die Gefahren der Zerstörung wesentlich größer. Lastannahmen, Sicherheit gegen Schwingungen, Dauerfestigkeit, Oberflächenschutz, Regelung und Überwachung der Anlage sind vorrangige Probleme beim Bau moderner Windkraftanlagen.

Die Forderung nach Wirtschaftlichkeit zwingt, den Gesamtaufwand der Anlage klein zu halten und die Kosten der Anlage über eine lange Zeit abzuschreiben zu können. Da die Betriebszeiten einer Windkraftanlage ungleich höher sind als z. B. die Betriebszeiten der Flugzeuge, können die üblichen Belastungswerte für die Werkstoffe sowie Getriebe, Lager und Verbindungsteile nicht ohne entsprechende Korrekturen übernommen werden.

Die Frage der wirtschaftlichsten Nutzung der Windenergie kann nicht allgemeingültig beantwortet werden. Die zeitlich in sehr unterschiedlicher Menge anfallende Windenergie steht nicht im Einklang mit dem Bedarf, so daß die Deckung in der Regel nur durch Energiespeicheranlagen ausgeglichen werden kann.

Zu allen Zeiten ist die Windenergie da her besonders günstig im Zusammenhang mit Pumpspeichern für Wasser genutzt worden. Bei Be- und Entwässerung spielt das ungleichmäßige Angebot an Windkraft keine entscheidende Rolle. Bei der Wasserversorgung kann man durch Anlage von Wasserspeichern Flauten von einigen Tagen leicht überbrücken. Beim Mahlen von Korn durch Windkraft konnte durch Anpassen an die vom Windrad gelieferte Leistung

ebenfalls eine günstige Ausnutzung erzielt werden.

### Stromerzeugung

Der heutige Stand der Elektrotechnik ermöglicht es, mit Windkraft Wechselstrom zu erzeugen und diesen direkt in Netze einzuspeisen. Diese Technik ist bei sehr großen Anlagen für die Zukunft anzustreben. Kleine und mittelgroße Anlagen erzeugen heute vorwiegend Gleichstrom, der in Batterien gespeichert wird (vgl. anschließenden Bericht).

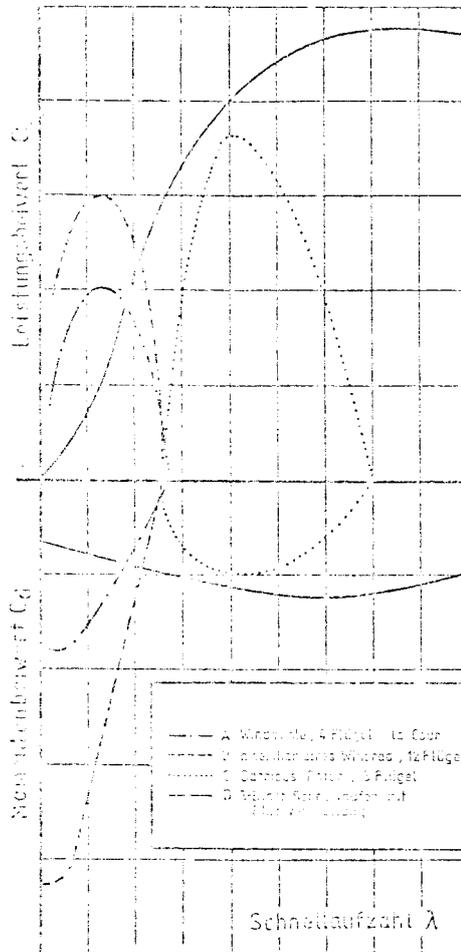


Bild 5: Leistungs- und Momentenbeiwerte von Windrädern verschiedener Bauart und Schnellaufzahl. Dieses rein qualitativ zu wertende Diagramm zeigt die leistungsmäßige Überlegenheit von Typ D; beachtenswert ist der hohe Momentenbeiwert von Typ B; die Überlegenheit von Typ C liegt in der einfachen Bauweise, während die Werte für den in der Vergangenheit meistgebauten Typ A leistungsmäßig am ungünstigsten liegen.

Windkraftanlagen, die wirtschaftlich und sicher sind, können gebaut werden, wenn folgende Punkte berücksichtigt werden:

1. Am Aufstellungsort müssen möglichst das ganze Jahr über hohe mittlere Windgeschwindigkeiten vorhanden sein.
2. Durch geeignete Auslegung des Windrades und dessen Regelung muß die anfallende Windenergie bei geringem Bauaufwand möglichst vollständig ausgenutzt werden können.

3. Die Anlagen müssen langlebig und wartungsarm sein.
4. Bei der Wahl des Aufstellungsortes sind Beeinträchtigungen der Umwelt nach Möglichkeit zu vermeiden.

Besonders günstig erscheinen Windräder mit langen, schmalen Flügeln, die an einer waagerechten oder einer senkrechten Achse umlaufen. Bei einer vertikalen Anordnung der Windradachse entfällt die Notwendigkeit einer Anlage für die Ausrichtung gegen den Wind, und die Getriebeteile können besser untergebracht werden. Allerdings entstehen größere Schwierigkeiten bei der Drehzahl- und Leistungsregelung als bei einer Anlage mit horizontaler Welle.

Die Form und die Profilierung der Flügel des Windrades können nach den Erkenntnissen der Aerodynamik aus den letzten Jahrzehnten erheblich besser gestaltet werden, als es den Windmühlenbauern möglich war, so daß die Windenergie mit einem besseren Wirkungsgrad umgewandelt werden kann.

Bild 5 zeigt einen Vergleich der Leistungsbeiwerte der bedeutendsten Windradtypen. Die vervollkommnete Regeltechnik gibt die Möglichkeit, den Gesamtwirkungsgrad der Anlage günstig zu gestalten.

Zum Erreichen der Langlebigkeit und Wartungsarmut dürfen trotz leichter Bauweise der sich bewegenden Teile die Spannungen und Schwingungen in den Bauteilen nicht zu hoch werden. Auch die spezifischen Belastungen der Lager müssen klein gehalten werden. Die Zeiträume für die Überholungs- und Wartungsarbeiten sollten in der Größenordnung von sechs Monaten liegen. Eine umfangreiche, automatische Überwachungsanlage muß die gesamte Anlage vor Beschädigung und Zerstörung absichern.

Windenergie ist in der die Erde umgebenden Lufthülle in so reichlichem Maße und auf unabsehbare Zeit vorhanden, daß die Menschheit sie gar nicht ausschöpfen und verwerten kann. Keine Energiequelle ist so allgegenwärtig wie die Windenergie, aber keine ist auch so unbeständig und so wenig vorausschaubar. Die technische Nutzung der Windenergie ist also sehr vielversprechend, aber sie muß auch als eine große Herausforderung an die Ingenieurwissenschaften aufgenommen werden, damit ihre Chancen genutzt werden können.

### Sonnenenergie-Seminar

Am 16. und 17. August 1977 findet in Darmstadt das dritte Seminar über die Berechnung von Sonneneinstrahlungsdaten, Kollektorwirkungsgraden und Sonnenenergiesystemen mit Hilfe von vorprogrammierten Handrechnern statt. Auskunft und Anmeldung bei Dr.-Ing. Roderich W. Gräff, Kollwitzweg 19, 6100 Darmstadt-Arheilgen, Tel. 06151/31887.