

15 Bauformen von Windkonvertern

Die verschiedenen eingesetzten Windräder (Bild 1) können insgesamt unterschieden werden nach

- Wellenanordnung (waagrecht, senkrecht)
- Flügelzahl des Rotors.

Horizontale Wellenlage erfordert Windrichtungs-Nachführung des Rotors. Bei senkrechter Welle entfällt diese Notwendigkeit zur drehbaren Anordnung der Anlage (geringerer Bauaufwand).

Western-Rotor: Farmerwindturbine. Langsamläufige Horizontalachsenmaschine mit vielen einfachen, unprofilierten Blechschaufeln (12 bis 25), weshalb hohes Drehmoment und niedrige Drehzahl. Kleine Leistung von ca. 0,5 ... 1 kW bei 3 ... 5 m Rotordurchmesser, Wirkungsgrad ca. 15 %.

Windmühlenflügel: Klassische Horizontalausführung mit 4 Flügeln, weshalb Schnellläufer. Wirkungsgrad bis ca. 20 %. Hoher Bauaufwand.

Propeller-Räder: Moderne schnellläufige Windturbinen ($z = 1 \dots 4$). Aus Regelungszwecken meist verstellbare Flügel sorgfältiger aerodynamischer Profilierung. Ausgeführt überwiegend in faserverstärktem Kunststoff bis ca. 150 m Durchmesser.

Geringes Drehmoment bei relativ hoher Drehzahl, Umfangsgeschwindigkeit bis ca. 200 m/s, weshalb meist starke Geräuscherzeugung.

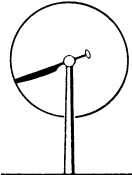
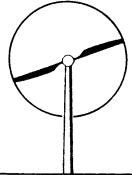
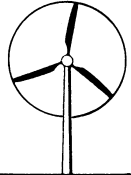
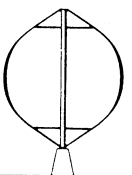
Technische Daten (Bandbreite)				
Achsanordnung	horizontal	horizontal	horizontal	vertikal
Anzahl der Flügel	1	2	3	2 ... 3
max. Rotorwirkungsgrad	40 %	45 %	48 %	48 %
Rotordurchmesser	15 ... 56 m	15 ... 150 m	10 ... 60 m	12 ... 65 m
nutzb. Windgeschwindigkeitsbereich	5 ... 20 m/s	4 ... 24 m/s	3 ... 30 m/s	4 ... 22 m/s
Drehzahl	120 ... 40 min ⁻¹	100 ... 18 min ⁻¹	72 ... 20 min ⁻¹	100 ... 20 min ⁻¹
Nennleistung	15 ... 1000 kW	50 ... 5000 kW	25 ... 1200 kW	30 ... 4000 kW
Windanpassung	Blattverstellung	Blattverstellung	variable Drehzahl, Blattverstellung	Anfahrmotor
Stand der Technik	Serie	Serie	Serie	Prototyp
Typenbeispiele	Monopteros	Aerman, MOD 5B	Elektromat, WKA60	Eole

Bild 1 Windkraftanlagen zur Stromerzeugung. Wesentliche Bauarten und Daten (ROGERS)

Erreichter Wirkungsgrad bis über 40 %; bei $z = 3$ Flügeln wird $\eta \approx 48 \%$ erzielt. Dies ist mit dadurch bedingt, dass die Anströmung unabhängig von der Drehwinkel-Stellung des Rotors ist.

Ausführungen:

Bei kleineren Leistungen feste, d.h. nicht verstellbare Rotorblätter. Die Regelung erfolgt durch Strömungsabriss (engl. stall). Außerhalb des Auslegungswertes (Nenn Drehzahl), also unter- und oberhalb des Bezugswindstärkebereiches (Windgeschwindigkeit), löst sich die Luftströmung von den Flügelblättern mehr oder weniger stark ab. Folge: schlechtes Anfahr- und Teillast- sowie Überlastverhalten.

Bei großen Rotoren (Leistungen ab ca. 100 kW) werden die Flügelblätter meist verstellbar ausgeführt. Aufwändiger, aber besseres Regelverhalten, deshalb meist angewendet.

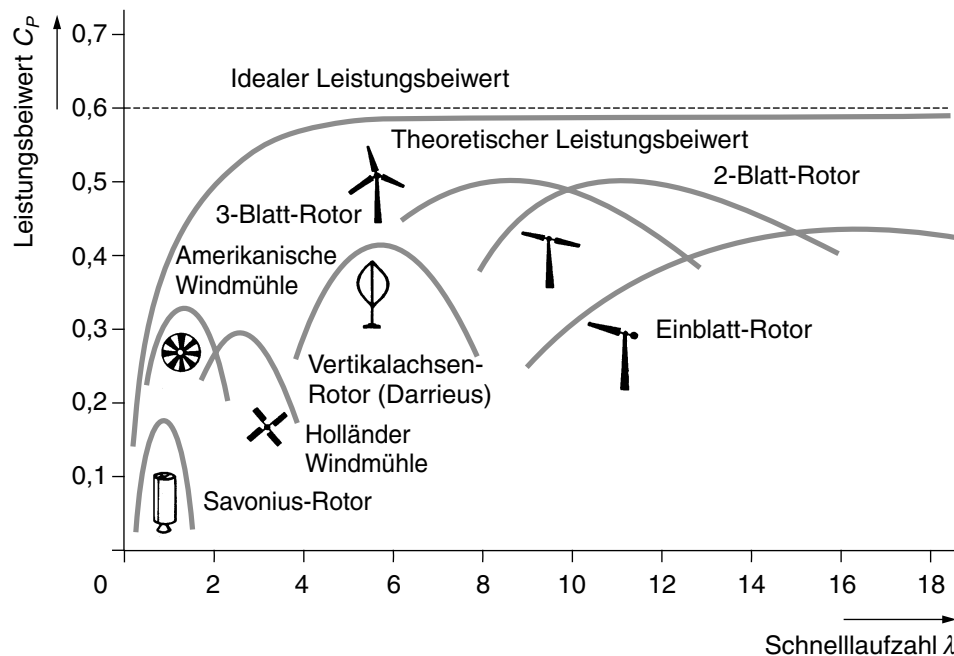


Bild 2 Leistungskennlinien, $C_p = f(\lambda)$, der Windrotoren unterschiedlicher Bauart

SAVONIUS-Prinzip: Widerstandläufer mit senkrechter Achse. Der Rotor besteht aus 2 bis 4 in einer Kreislinie um die senkrechte Welle, zu dieser parallel verlaufend, angeordneten gewölbten Blechkörpern. Die unten und oben durch je eine Deckscheibe begrenzten Schaufel-Blechkörper weisen etwa die Form der Hälfte mittig längsgeteilter Kreiszylinderfässer auf. Die Wirkung des Rotors beruht auf dem unterschiedlichen Reibungswiderstand der Windströmung um die konvexe und konkave Seite der Blechkörper (aerodynamisches Widerstandsprinzip). Die Umfangskraft ergibt sich aus der Differenz dieses Windwiderstandes. Nur in Sonderfällen angewendet.

Vorteil: Einfacher Aufbau

Nachteil: Geringer Wirkungsgrad ($\lesssim 10\%$)

DARRIEUS-Rotor: Schnellläufer ($z = 2 \dots 4$) mit senkrechter Welle. Entwicklung um 1925 von DARRIEUS (gesprochen darrjöh). Die Flügelblätter von symmetrischem Profil gleicher Profiltiefe sind biegeschlaff-flexibel ausgeführt (meist faserverstärkter Kunststoff). Im Betrieb nehmen die Rotorblätter infolge Fliehkraft und aerodynamischer Wirkung die Form einer Kettenlinie an (Zwiebelschalen-Form wie Rühr-Quirl), wodurch auch die Drehkraft entsteht. Kaum noch angewendet.

Vorteil: Einfacher Aufbau, Wirkungsgrad ca. 35 %

Nachteile: Fremdstart notwendig, d. h. Rotor kann, unabhängig von der Windstärke, nicht selbst anfahren. Erreicht werden nur ca. 80 % der Wirkungsgrade von Propeller-Rotoren.

HM-Anlage von Fa. **Heidelberg Motor**: Der Rotor verläuft gemäß dem DARRIEUS-Prinzip senkrecht, weshalb unabhängig von der Windrichtung (Nachführung entfällt). Die aus Aluminium geformten Tragflächen-Blätter (2 bis 5 Stück) des Rotors sind auf einer Kreislinie parallel zur senkrechten Welle angeordnet. Die Anlage ist einfach, robust und sturmsicher (Windgeschwindigkeiten bis ca. 250 km/h; Temperaturen bis -60°C). Leistungen im Megawattbereich sind möglich. 400 kW Nennleistung beispielsweise erfordern ca. 35 m Rotordurchmesser. Die erreichbaren Wirkungsgrade liegen bei etwa 30 ... 35 %. Blattgeschwindigkeit des Rotors ist mit ca. 35 m/s relativ niedrig, weshalb Geräuschpegel (Gl. (1), Ergänzung 12, Geräuscherzeugung von Strömungseinrichtungen) reduziert.

Zum Vergleich: Horizontalanlagen (Welle waagrecht) verwirklichen Rotor-Umfangsgeschwindigkeiten von ca. 60 m/s (Bereich 40 ... 100 m/s) mit der Folge von Geräusch- und Festigkeitsproblemen. Infolge der ungleichmäßigen Flügelanströmung, bedingt durch die Rotordrehung, ist der Wirkungsgrad von Windrädern mit senkrechter Achse systembedingt niedriger als der von Ausführungen windnachgeführter waagrechter Anordnung. Praktisch jedoch kaum angewendet.

Die Leistungskennlinien der verschiedenen Windturbinen-Bauarten enthält Bild 2. Der ideale Leistungsbeiwert nach BETZ als oberer theoretischer Grenzwert gemäß den Beziehungen (11-37) und (11-44) ist ebenfalls eingetragen.