

Basiswissen Windturbinen

Windturbinen gehören zu den Strömungskraftmaschinen. Sie werden auch als Windkraftwerk, Windenergieanlage oder als Windturbine bezeichnet. Die Turbine ist der Teil der Anlage, in dem die kinetische Energie des Windes über einen Rotor in mechanische Energie umgewandelt wird. Die mechanische Energie treibt einen Generator zur Stromerzeugung an. Die Energieübertragung vom Wind auf den Rotor erfolgt über aerodynamische Kräfte an den Rotorblättern.

Im Gegensatz zu z.B. Wasserturbinen hat eine Windturbine keinen Leitapparat, der den Luftstrom beschleunigt und eine optimale Anströmung des Rotors bewirkt.

Die Rotorblätter einer Windturbine sind den Tragflächen von Flugzeugen sehr ähnlich. Der Erfolg der Windturbine war daher eng an die Entwicklung widerstandsarmer aerodynamischer Profile für Flugzeuge gekoppelt.

Auslegung der Windturbine

Zur Auslegung einer Windturbine wird die **Leistungsdichte des Windes** benötigt. Weiterhin sind die **Leistung der Windturbine** sowie die **Schnellaufzahl** entscheidend für die Auslegung.

Leistungsdichte des Windes

In der Praxis interessiert v.a. die Frage, welche Leistung die Windkraftanlage bei welchen Windstärken liefert. Um die passende Windkraftanlage auszuwählen, werden daher die Windverhältnisse vor Ort untersucht und der **Energieinhalt** bzw. die **Leistungsdichte des Windes** berechnet.

Die allgemeine Formel zur Bestimmung der **kinetischen Energie** eines strömenden Fluides lautet:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Man kann mit der Dichte der Luft den **spezifischen Energieinhalt e** definieren. Dieser ist auf das Luftvolumen bezogen.

$$e = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot v^2$$

Daraus kann die **Leistungsdichte p** abgeleitet werden. Physikalisch hat die Leistungsdichte die Bedeutung einer Leistung pro Flächeneinheit.

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot v^3$$

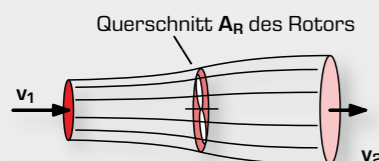
E Energie, m Masse, v Windgeschwindigkeit, ρ_L Dichte der Luft, e spezifischer Energiegehalt des Windes, p Leistungsdichte

Leistung der Windturbine

Die obigen Formeln beziehen sich auf die ankommende Windleistung, bevor der Wind auf die Windkraftanlage trifft. Wird die vom Wind überstrichene **Rotorfläche A_R** miteinbezogen, kann mit der Leistungsdichte **p** überschlägig die **Leistung P der Windturbine** bei gegebener Windgeschwindigkeit **v** berechnet werden.

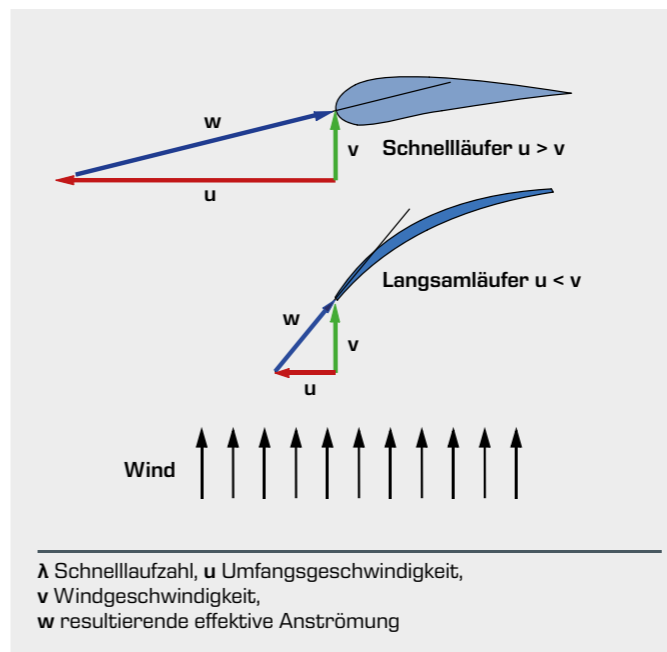
Die kinetische Energie der Luftströmung kann nicht vollständig genutzt werden. Die Luftströmung/Wind trifft mit v_1 auf die Rotorfläche. Es entsteht ein Luftstau, der zur Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit führt und einen Teil der heranströmenden Luft ausweichen lässt.

Nach dem Betz'schen Gesetz kann dieser Wert aus strömungsmechanischen Gründen den Anteil von 16/27 oder 59,3% nicht überschreiten. Dies wird durch den dimensionslosen **Leistungsbeiwert c_p** berücksichtigt. Er gibt das Verhältnis der genutzten zur ankommenden Windleistung an und entspricht dem Wirkungsgrad der Windturbine. Der reale Leistungsbeiwert c_p ist von der Turbine abhängig und erreicht im besten Fall 0,4 bis 0,5.



$$P = A_R \cdot c_p \cdot p$$

Leistung der Windturbine: P Leistung, A_R Rotorfläche, c_p Leistungsbeiwert, p Leistungsdichte



Schnellaufzahl

Windturbinen werden entsprechend der Form und Anzahl ihrer Rotorblätter charakterisiert. Die Form und Bauart der Rotorblätter entscheiden über die Schnellaufzahl der Turbine. Als **Schnellaufzahl λ** bezeichnet man das Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit **u** zu Windgeschwindigkeit **v** in axialer Richtung.

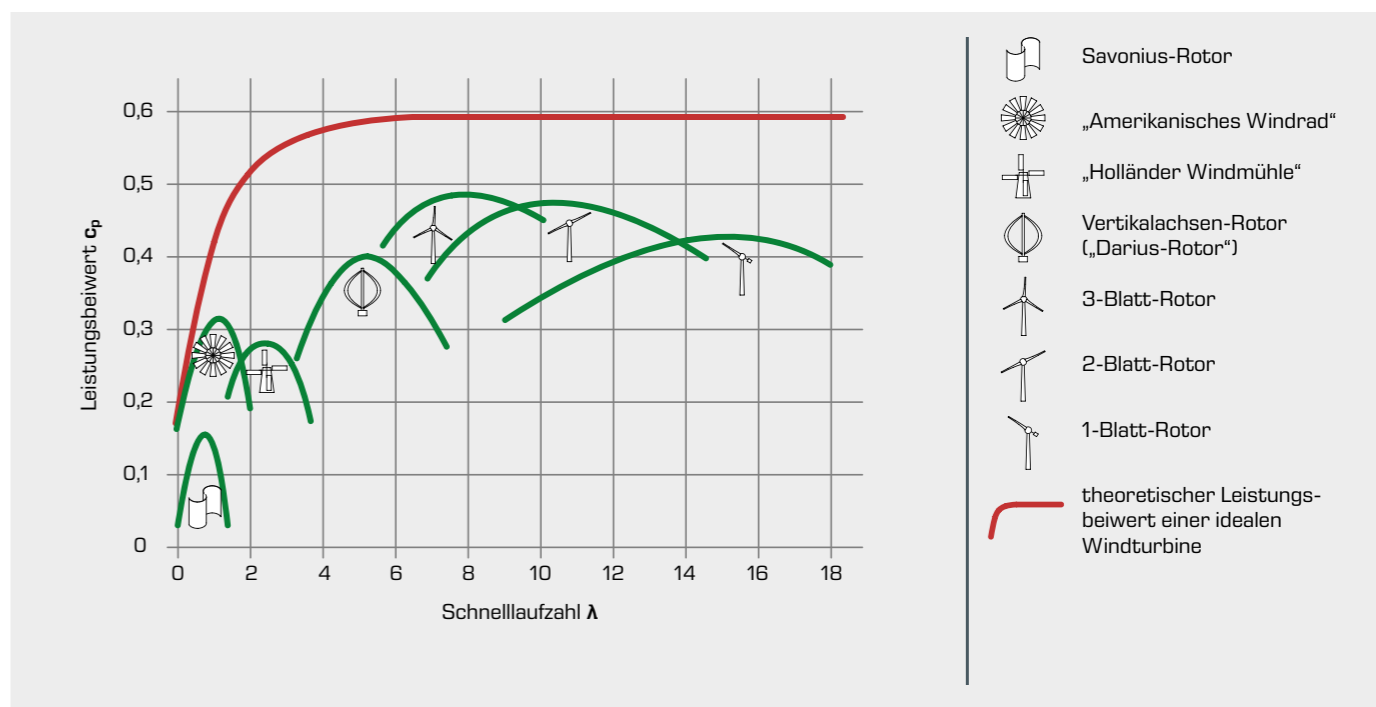
$$\text{Schnellaufzahl } \lambda = \frac{u}{v}$$

Tip-speed ratio

Die Geschwindigkeiten beziehen sich auf die Spitze des Rotorblattes. Hierbei ist **w** die resultierende Anströmung des Rotorblattes.

Moderne Windturbinen sind als Schnellläufer ausgelegt, während der Savonius-Rotor oder das amerikanische Windrad Langsamläufer sind.

Leistungsbeiwert in Abhängigkeit der Schnellaufzahl für verschiedene Windturbinen im Vergleich mit dem Idealwert



Je höher die Schnellaufzahl, desto besser muss das aerodynamische Profil des Rotorblattes sein. Ansonsten zehren die Widerstandskräfte die möglichen hohen Leistungsbeiwerte wieder

auf. Als Optimum, auch aus schwingungstechnischer Sicht, hat sich der 3-Blatt-Rotor herausgestellt. Rotoren mit sehr hoher Schnellaufzahl haben wiederum kleinere Wirkungsgrade.