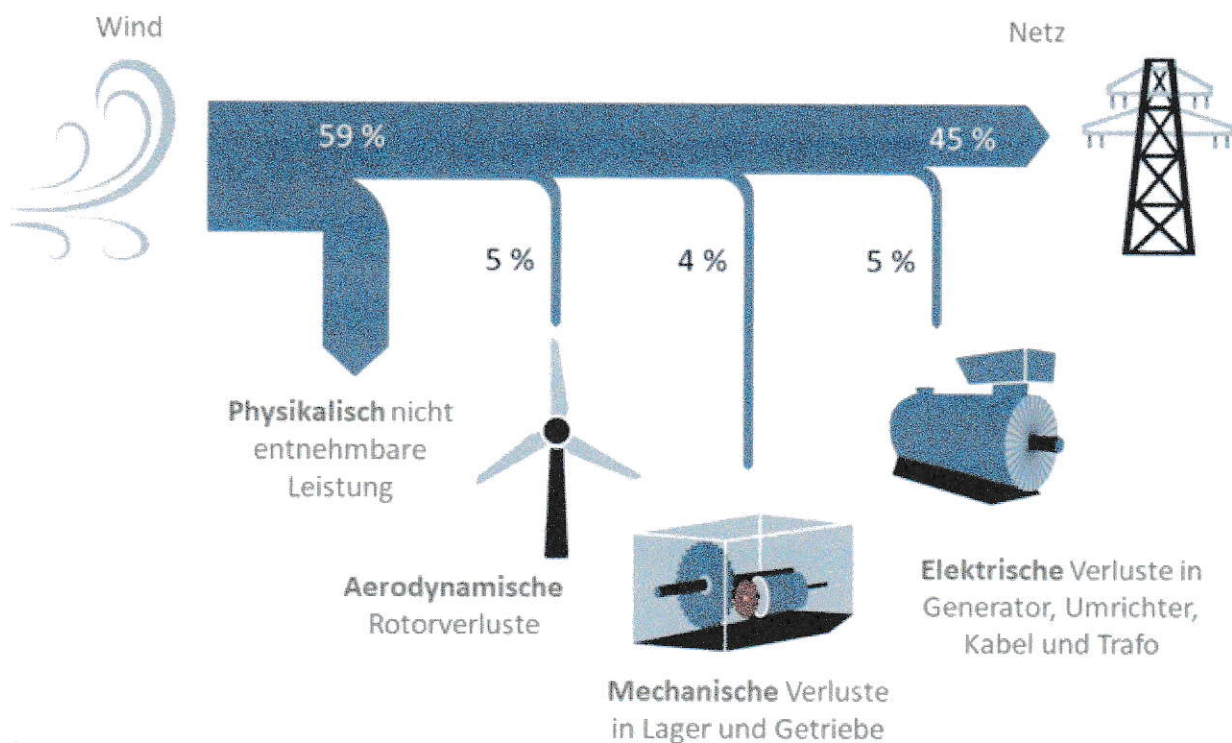


Energiewandlung



(/fileadmin/_processed_/2/c/csm_energiewandlung-energiefluss_2a37ec1168.png)

Windenergie ist die kinetische Energie bewegter Luft (von griechisch kinesis = Bewegung). Bei der Umwandlung in elektrische Energie durch eine Windenergieanlage muss die Energie des Windes über die Rotorblätter zunächst in mechanische Rotationsenergie gewandelt werden, die dann über einen Generator elektrischen Strom liefert. Die Wandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie unterliegt, wie alle Energiewandlungen, energetischen „Verlusten“. So kann dem Wind



rein physikalisch nicht mehr als 59 % der Leistung entnommen werden (siehe Betz und Leistungsentnahme (<https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/betz-und-leistungsentnahme/>)).
Zusätzlich kommen noch aerodynamische Verluste durch Reibung und Verwirbelungen am Rotorblatt hinzu. Circa weitere zehn Prozent Verluste entstehen durch Reibung in den Lagern und dem Getriebe sowie im Generator selbst, in den Umrichtern und den Kabeln als elektrische Verluste.

Kinetische Energie

Jede bewegte Masse m (Körper, Flüssigkeit oder Gas) enthält kinetische Energie E_{kin} . Sie ist gleich der Hälfte der Masse des Körpers mal dem Quadrat der Geschwindigkeit v . Für Windenergieanlagen ist die bewegte Masse die Luft, die durch die Rotorfläche der Windenergieanlage strömt.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

(/fileadmin/_processed_/9/7/csm_energiewandlung-ekin_b63965bf90.png)

Energie und Leistung

Der Luftdurchsatz, auch Massenstrom \dot{m} genannt, der in einer bestimmten Zeit durch die von den Rotorblättern überstrichene Fläche eines Windenergie rotors (so genannte Rotorebene) strömt, kann durch die Multiplikation von Rotorfläche, Luftdichte und Windgeschwindigkeit zum Quadrat berechnet werden:

$$\dot{m} = A \cdot \rho \cdot v$$

(/fileadmin/_processed_/2/8/csm_energiewandlung-luftdurchsatz_12b1d18966.png)

Die Leistung P ist gleich der Energie E pro Zeiteinheit. Somit ergibt sich für die Leistung des Windes:



$$P_{\text{Wind}} = \dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2$$

(/fileadmin/_processed_/4/1/csm_energiewandlung-pwind_6903abe72f.png)

Da der Luftdurchsatz proportional und die Energie des Windes vom Quadrat der Windgeschwindigkeit abhängig ist, ist die Leistung des Windes von der dritten Potenz der Geschwindigkeit abhängig.

$$P_{\text{Wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3$$

(/fileadmin/_processed_/b/0/csm_energiewandlung-pwind3_de6e82df78.png)

Somit ist der entscheidende Faktor für die Leistung des Windes seine Geschwindigkeit. Nimmt die Windgeschwindigkeit um das Dreifache zu, so wird die Leistung um $3 \times 3 \times 3 = 27$ Mal größer. Die Dichte der Luft hat einen linearen Einfluss auf die Leistung. Kalte Luft ist dichter als warme Luft, somit liefert eine Windenergieanlage bei gleicher Windgeschwindigkeit z.B. bei -10°C ca. 11% mehr Leistung als bei $+20^\circ\text{C}$. Da die Dichte der Luft auch vom Umgebungsdruck abhängig ist, haben Hoch- und Tiefdruckgebiete, sowie die Höhenlage des Standorts einen Einfluss auf Leistung und Ertrag eines Windrades.

Mechanische Leistung

An der drehenden Welle des Rotors wird die mechanische Leistung P_{mech} über das Produkt aus Drehmoment M und Rotorwinkelgeschwindigkeit Ω bzw. Drehzahl n bestimmt:

$$P_{\text{mech}} = M \cdot \Omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

(/fileadmin/_processed_/5/8/csm_energiewandlung-pmech_00fe877a93.png)



Elektrische Leistung

Der angetriebene Generator setzt die mechanische Leistung in elektrische Leistung, die über das Produkt von Strom I und Spannung U bestimmt ist, um. Hier gilt das Induktionsgesetz, das die Kopplung von elektrischen und magnetischen Größen beschreibt. Beim Generator (<https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/anlagenkonzepte/generatorenkonzepte/>) ergibt sich die induzierte Spannung auf einen im Magnetfeld bewegten elektrischen Leiter als Wirkung. Beim Motor ist die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im drehenden Magnetfeld die Folge.