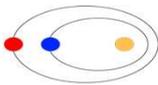


## Wasser und Wind als regenerative Energiequellen im Schülerversuch

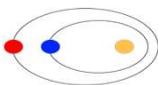
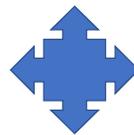


Abb. 9



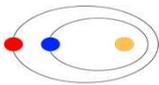
Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

## Anforderungen an ein gutes Schülerexperiment?



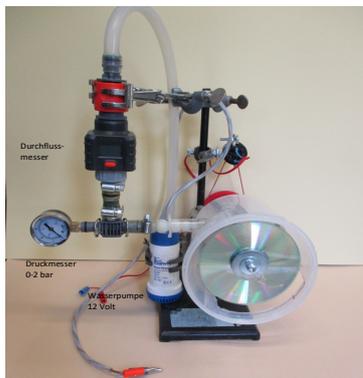
Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

## Anforderungen an ein gutes Schülerexperiment?



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

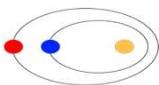
## Energieumwandlung mit der Wasserturbine



### Mögliche Fragestellungen

- Ideale Form des Turbinenrades ?
- mechanische Leistung der Wasserpumpe?
- mechanische Leistung der Wasserturbine?
- optimaler Betriebsbereich mechanisch?
- optimalen Betriebsbereich elektrisch?
- Wirkungsgrade entlang der Umwandlung?

**alle Parameter sollten zugänglich sein!**



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

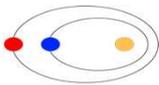
## Energieumwandlung mit der Wasserturbine



**Bau des Turbinenrades**



**Druck und Fließgeschwindigkeit**



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

## Energieumwandlung mit der Wasserturbine

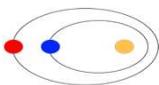
**Aufgabe:**  
 Ermittlung des optimalen  
 Betriebsbereichs durch  
 Bestimmung des  
 maximum  
 power point (mpp)  
 mechanische Methode



**Geeignete  
 Messmethode?**

**Mittelstufe ?**

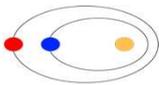
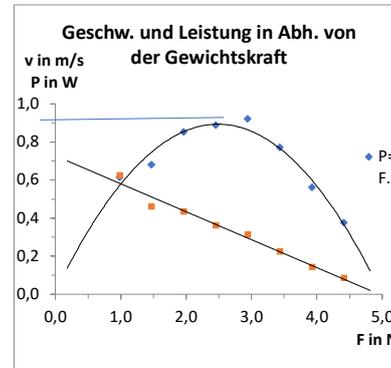
**Oberstufe ?**



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

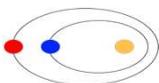
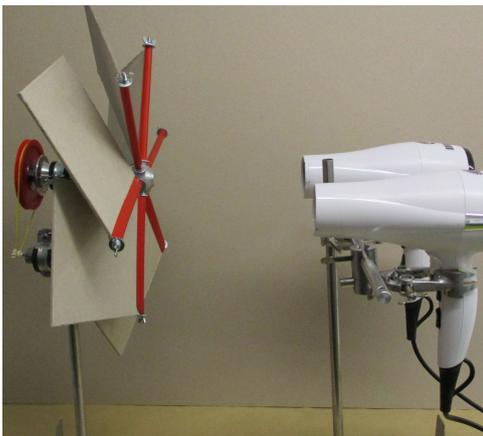
## Energieumwandlung mit der Wasserturbine

**Aufgabe:**  
 Ermittlung des optimalen  
 Betriebsbereichs durch  
 Bestimmung des  
 maximum  
 power point (mpp)  
 mechanische Methode



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

## Energieumwandlung mit dem Windrad



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

## Projektauftrag (Kollege Holler MGL)

Plant, konstruiert und fertigt eine windbetriebene **Windkraftanlage**, welche **bei vorgegebenen Bedingungen** eine **möglichst hohe Leistung** erbringt.

Wie misst man Leistung?

Mechanische Leistung

Kräfte, Drehmoment, Drehzahl  
-> Leistung beim Heben/ Pumpen



Elektrische Leistung

Spannung, Stromstärke  
-> Leistung am Generator

## Elektrische Leistung

Teil 1: Stromstärke, Spannung und Widerstand ✓

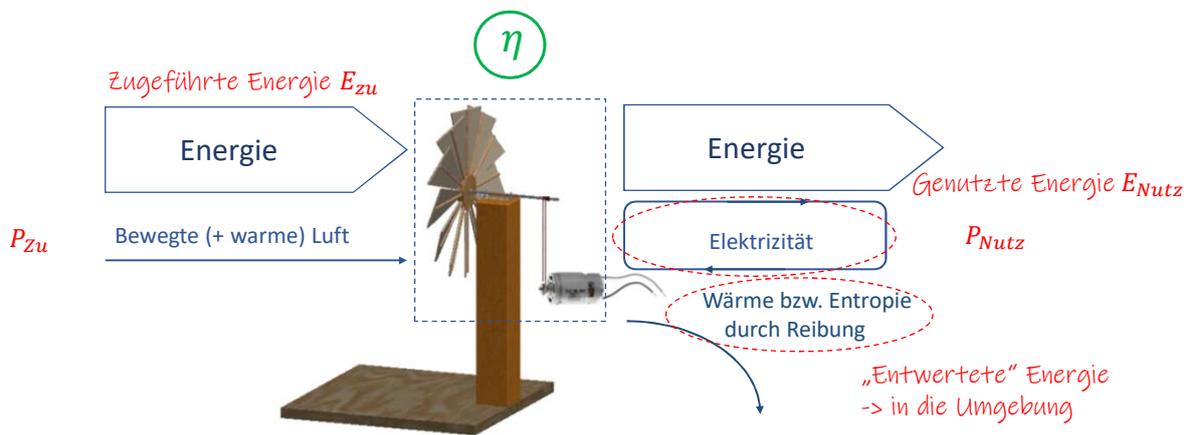
Teil 2: Die elektrische Leistung ✓

Teil 3: Der Wirkungsgrad ✓

} Rotorkennlinie ✓

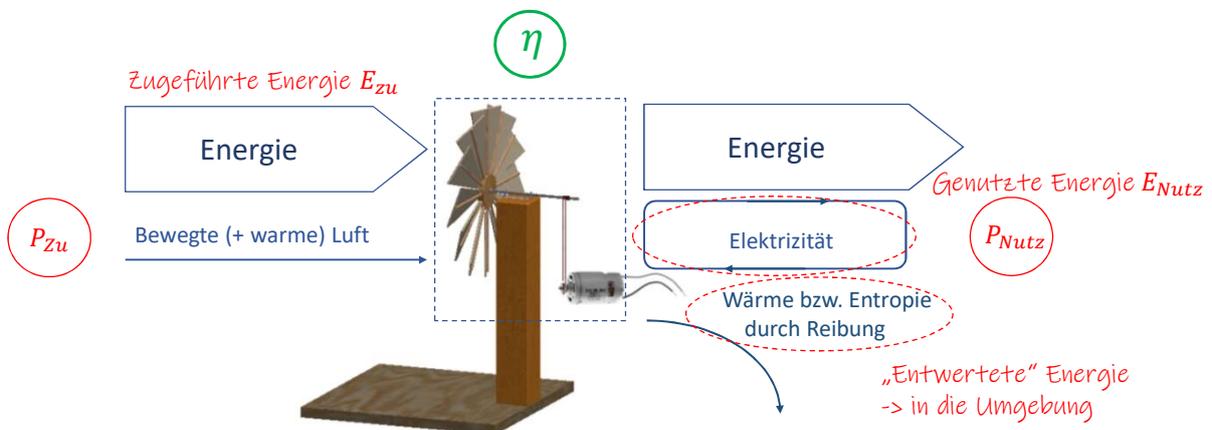
## Der Gesamtwirkungsgrad $\eta$

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}}$$



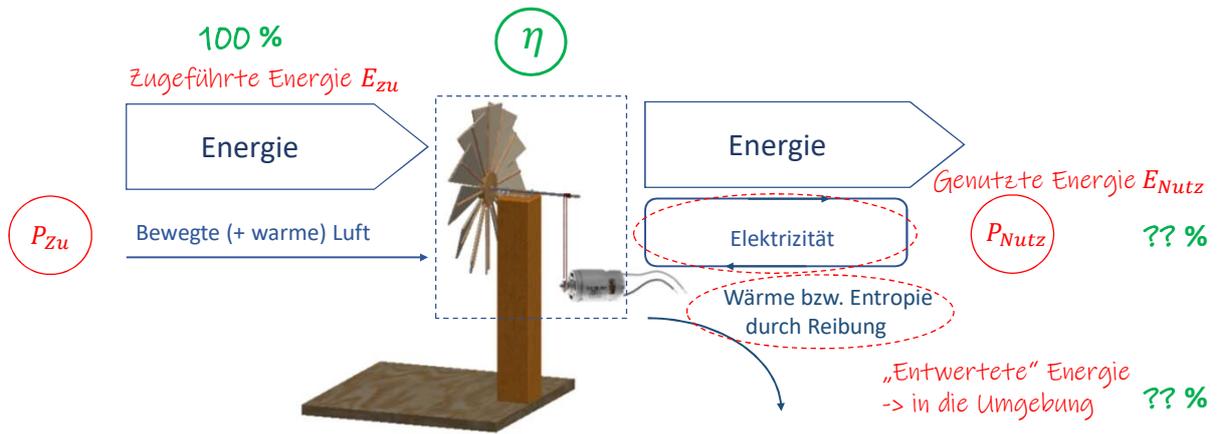
## Der Gesamtwirkungsgrad $\eta$

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} = \frac{P_{\text{Nutz}} \cdot \Delta t}{P_{\text{Zu}} \cdot \Delta t} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Zu}}}$$



# Der Gesamtwirkungsgrad $\eta$

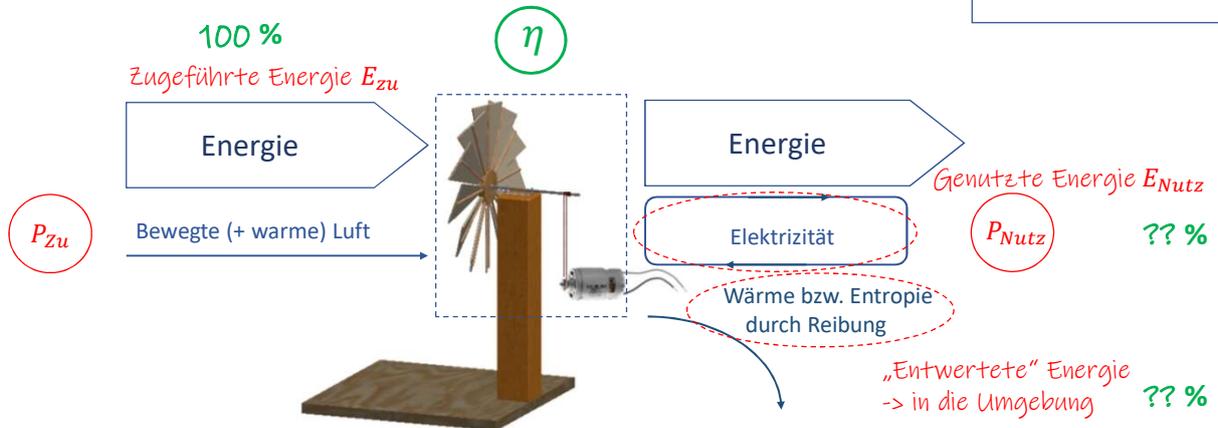
$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} = \frac{P_{\text{Nutz}} \cdot \Delta t}{P_{\text{Zu}} \cdot \Delta t} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Zu}}}$$



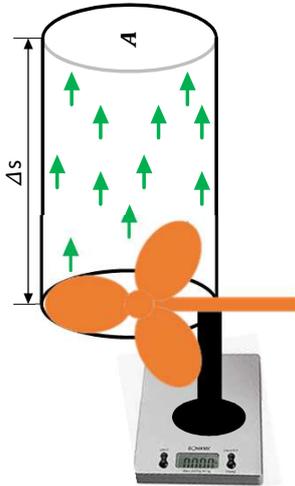
# Der Gesamtwirkungsgrad $\eta$

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{Zu}}} = \frac{P_{\text{Nutz}} \cdot \Delta t}{P_{\text{Zu}} \cdot \Delta t} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Zu}}}$$

- Leistung des Generators
- Leistung des Windes



## $P_{Zu}$ : Leistung $P_{Wind}$ des Windes



$$P_{Wind} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi r^2 \cdot v^3$$

$$P = F \cdot v$$

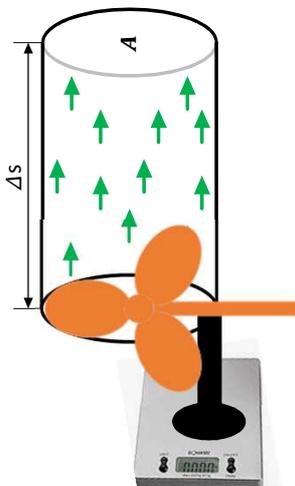
Bewegungsenergie

$$\rho_{Luft} = 1,28 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \rho V v^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \rho A s v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{und} \quad P = F \cdot v$$

$$\text{Gleichsetzen } F \cdot v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ führt zu } v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$$

## $P_{Zu}$ : Leistung $P_{Wind}$ des Windes



$$P_{Wind} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \pi r^2 \cdot v^3$$

$$P = F \cdot v$$

Bewegungsenergie

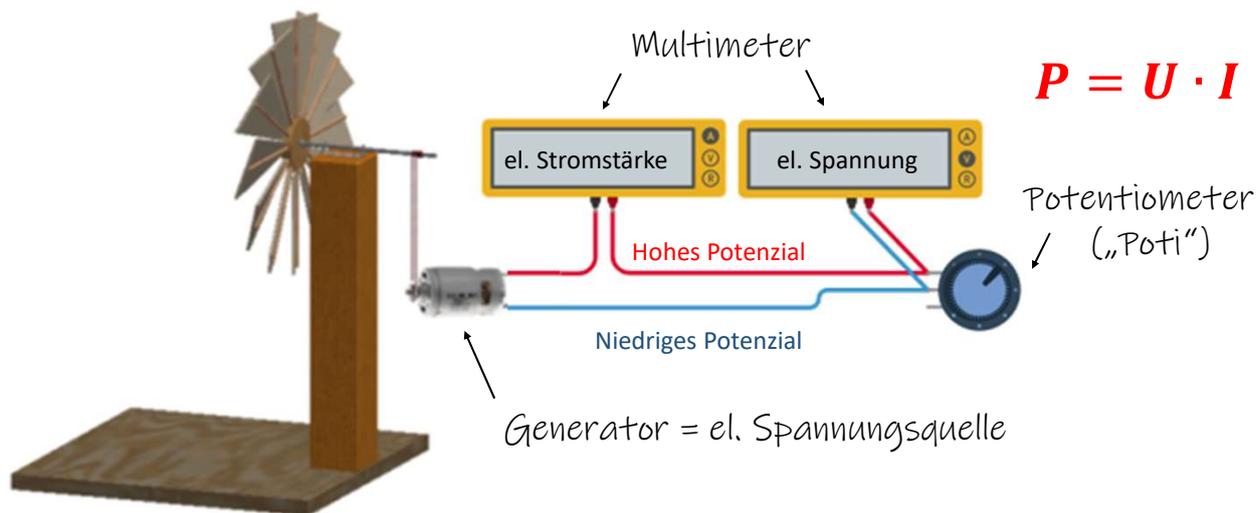
$$\rho_{Luft} = 1,28 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \rho V v^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \rho A s v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{und} \quad P = F \cdot v$$

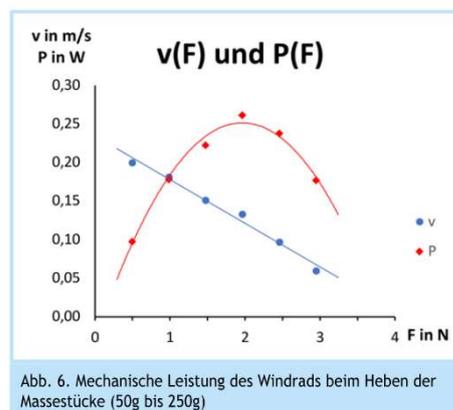
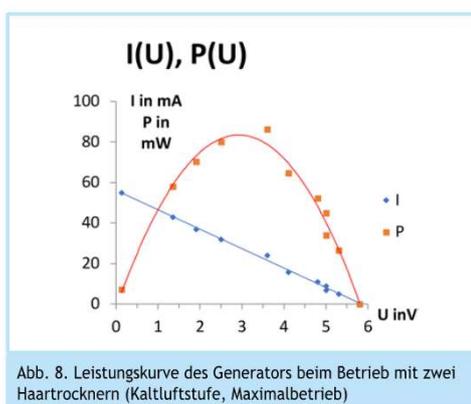
$$\text{Gleichsetzen } F \cdot v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ führt zu } v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$$

Die Geschwindigkeit kann indirekt über die Kraft bestimmt werden, die der Fön durch die ausströmende Luft auf die Waage auswirkt.

$P_{\text{Nutz}}$ : el. Leistung  $P$  der Windkraftanlage



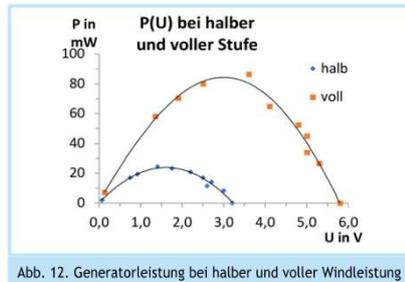
## Kennlinien der Windkraftanlage



## Kennlinien der Windkraftanlage

| Gebälsestufe (Kaltluft) | Kraft der Haartrockner auf die Waage | Windgeschwindigkeit<br>$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$ | Windleistung der Haartrockner<br>$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$ | mechanische Leistung des Windrades<br>$P = F \cdot v$ | Generatorleistung im mpp<br>$P = U \cdot I$ |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---|---|---|
| halb                    | $F_1 = 0,22 \text{ N}$               | $v_1 = 16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                             | $P_{1,W} = 3,7 \text{ W}$   | 75 mW   | $P_{1,G} = 25 \text{ mW}$                   |
| voll                    | $F_2 = 0,52 \text{ N}$               | $v_2 = 25,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                             | $P_{2,W} = 13 \text{ W}$  | 250 mW  | $P_{2,G} = 85 \text{ mW}$                   |
| Quotient                | ca. 2,4                              | ca. 1,5  | ca. 3,5   | ca. 3,3   | 3,4   |

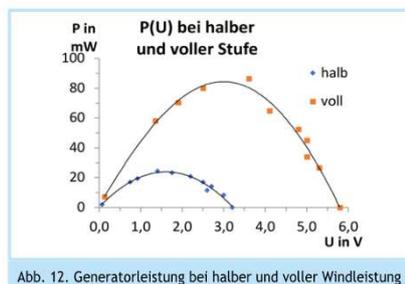
Tab. 1. Verhältnisse von Windgeschwindigkeit, Windleistung und Generatorleistung ( $\rho = 1,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  und  $A = 0,00126 \text{ m}^2$ )



## Kennlinien der Windkraftanlage

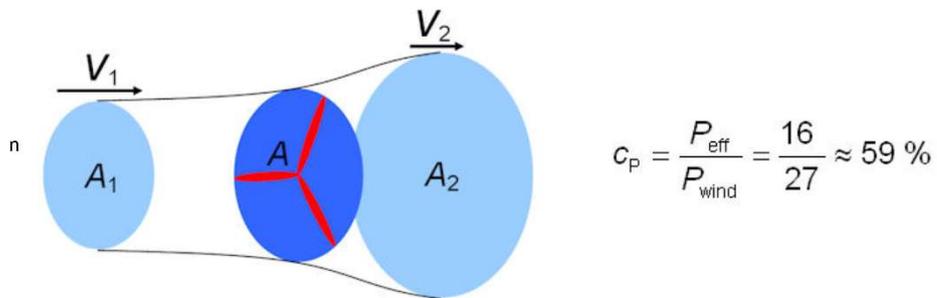
| Gebälsestufe (Kaltluft) | Kraft der Haartrockner auf die Waage | Windgeschwindigkeit<br>$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$ | Windleistung der Haartrockner<br>$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$ | mechanische Leistung des Windrades<br>$P = F \cdot v$ | Generatorleistung im mpp<br>$P = U \cdot I$ |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---|---|---|
| halb                    | $F_1 = 0,22 \text{ N}$               | $v_1 = 16,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                             | $P_{1,W} = 3,7 \text{ W}$   | 75 mW   | $P_{1,G} = 25 \text{ mW}$                   |
| voll                    | $F_2 = 0,52 \text{ N}$               | $v_2 = 25,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                             | $P_{2,W} = 13 \text{ W}$  | 250 mW  | $P_{2,G} = 85 \text{ mW}$                   |
| Quotient                | ca. 2,4                              | ca. 1,5  | ca. 3,5   | ca. 3,3   | 3,4   |

Tab. 1. Verhältnisse von Windgeschwindigkeit, Windleistung und Generatorleistung ( $\rho = 1,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  und  $A = 0,00126 \text{ m}^2$ )



**$v^3$ -Gesetz: Bestimmung der Windleistung über die indirekte Bestimmung der Windgeschwindigkeit**

## Maximale Leistung der Windkraftanlage



Lit: <https://home.uni-leipzig.de/energy/energie-grundlagen/15.html>

## Unterlagen zum Vortrag

<https://kepler-seminar.de/nwt-materialien.html>

