

Wasser und Wind als regenerative Energiequellen im Schülerversuch

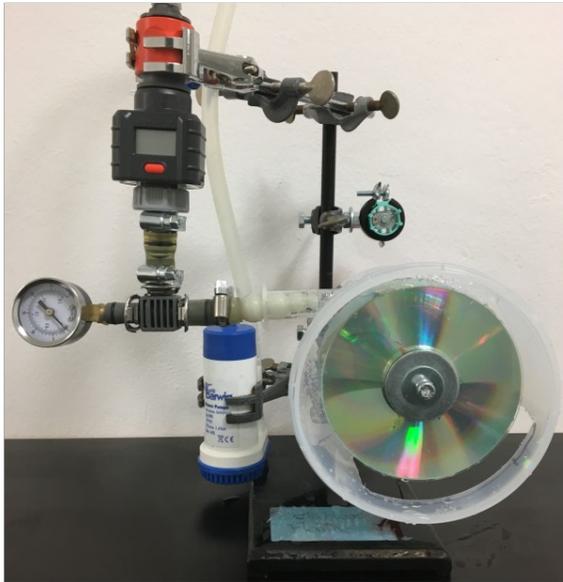
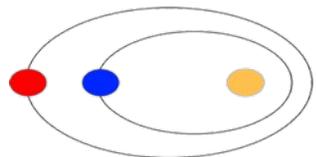
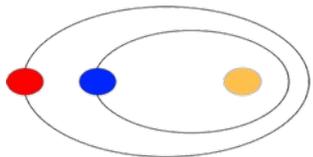
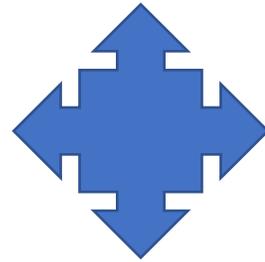


Abb. 9



Anforderungen an ein gutes Schülerexperiment?

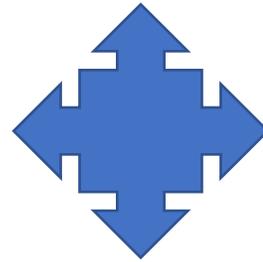


Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Anforderungen an ein gutes Schülerexperiment?

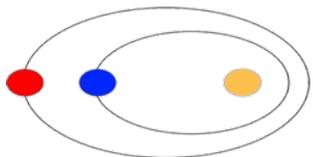
Wenig Zeitaufwand

Quantifizierbarkeit



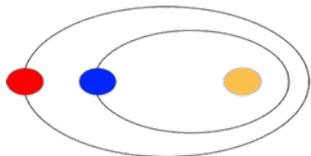
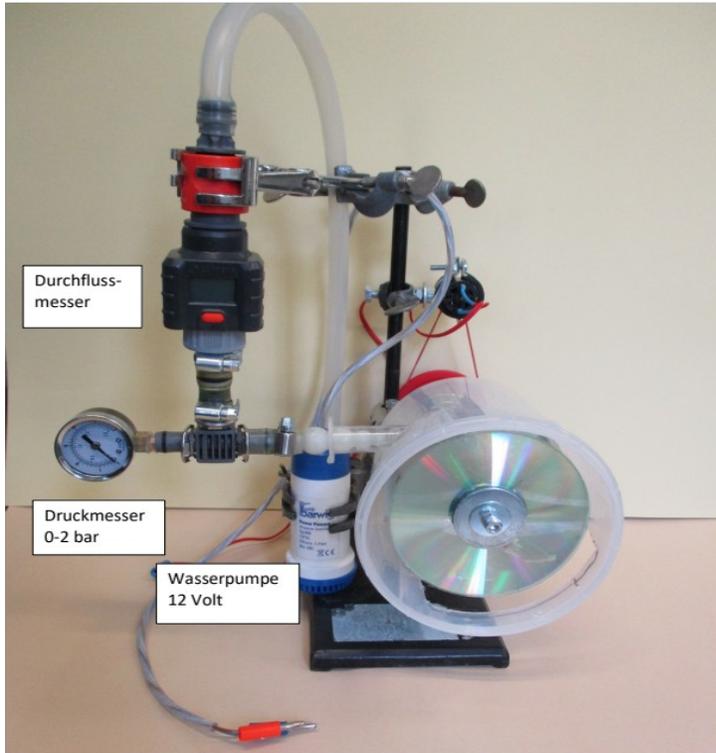
mechanische Robustheit

Individualisierbarkeit



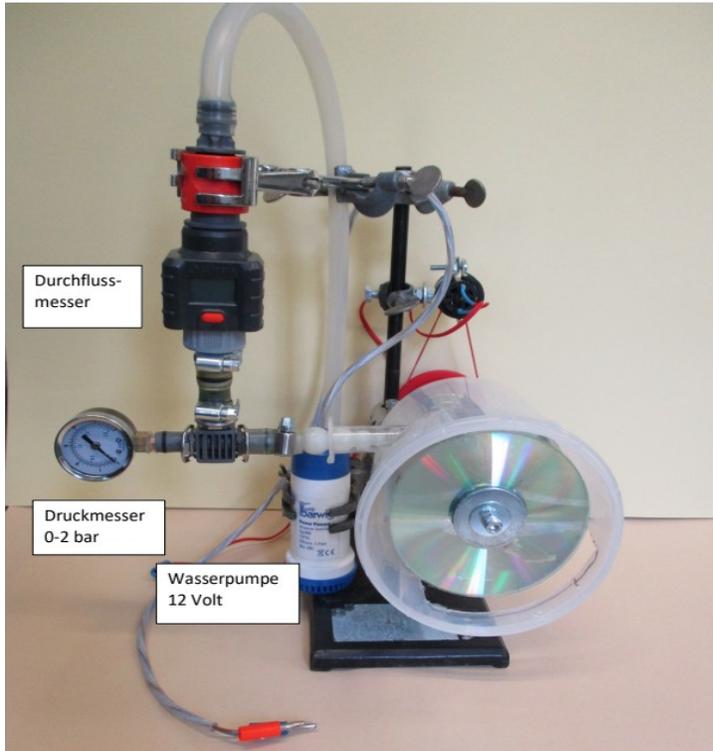
Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Energieumwandlung mit der Wasserturbine



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

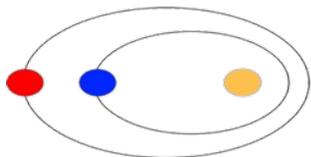
Energieumwandlung mit der Wasserturbine



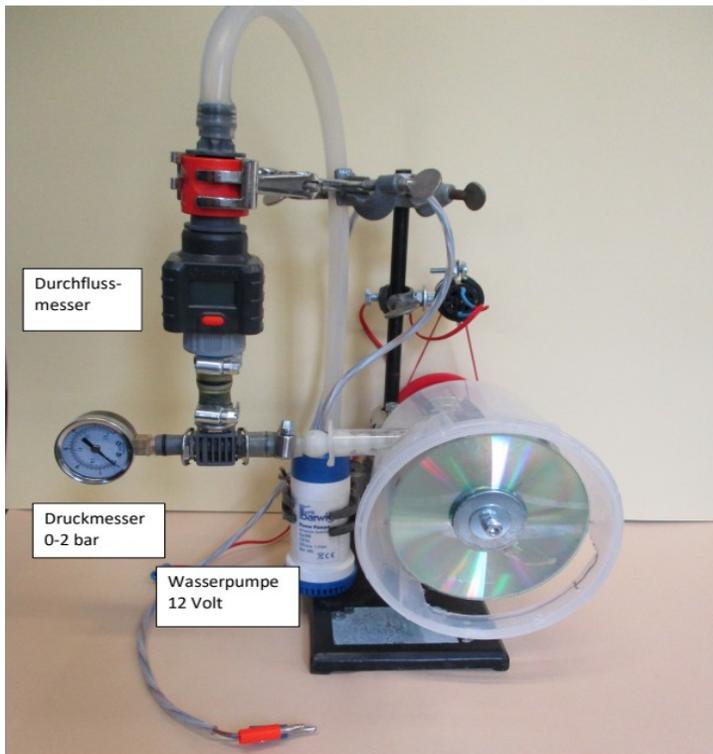
Mögliche Fragestellungen

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

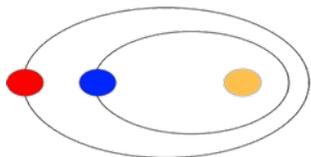
die Parameter sollten messbar sein!



Energieumwandlung mit der Wasserturbine

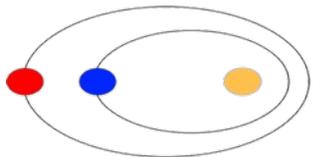
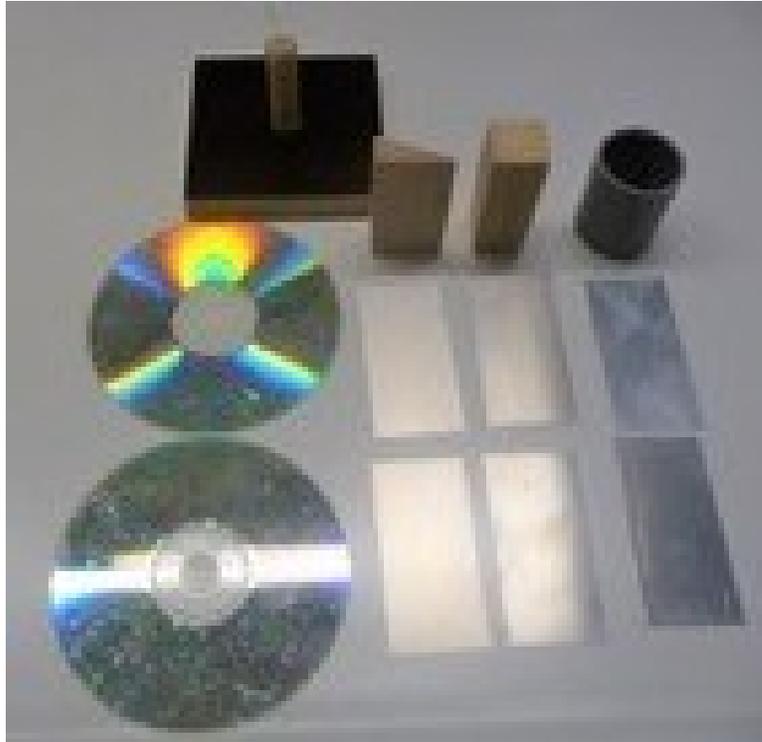


Aufgabe:
Konstruiere ein
„optimales“
Turbinenrad
aus 6 Schaufeln



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Energieumwandlung mit der Wasserturbine



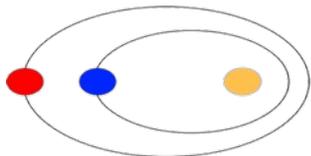
Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Energieumwandlung mit der Wasserturbine

Aufgaben:

1. Wieviel Leistung gibt die Turbine ab ?

$$P_{\text{Turbine}} = F_T * v_T$$



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Energieumwandlung mit der Wasserturbine

Aufgaben:

1. Wieviel Leistung gibt die Turbine ab ?

$$P_{\text{Turbine}} = F_T * v_T$$

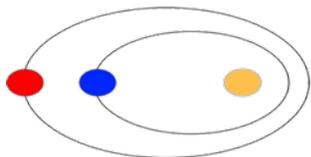


Messung von Kraft F

Geschwindigkeit v

Berechnung von P

$$P = F * v$$



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

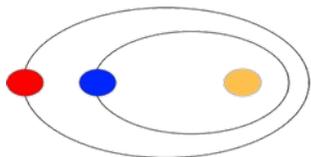
Energieumwandlung mit der Wasserturbine

Aufgaben:

- 1. Wieviel Leistung gibt die Turbine ab ?**

$$P_{\text{Turbine}} = F_T * v_T$$

- 2. Bestimmung des optimalen Betriebsbereichs (mpp)**



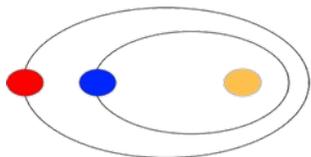
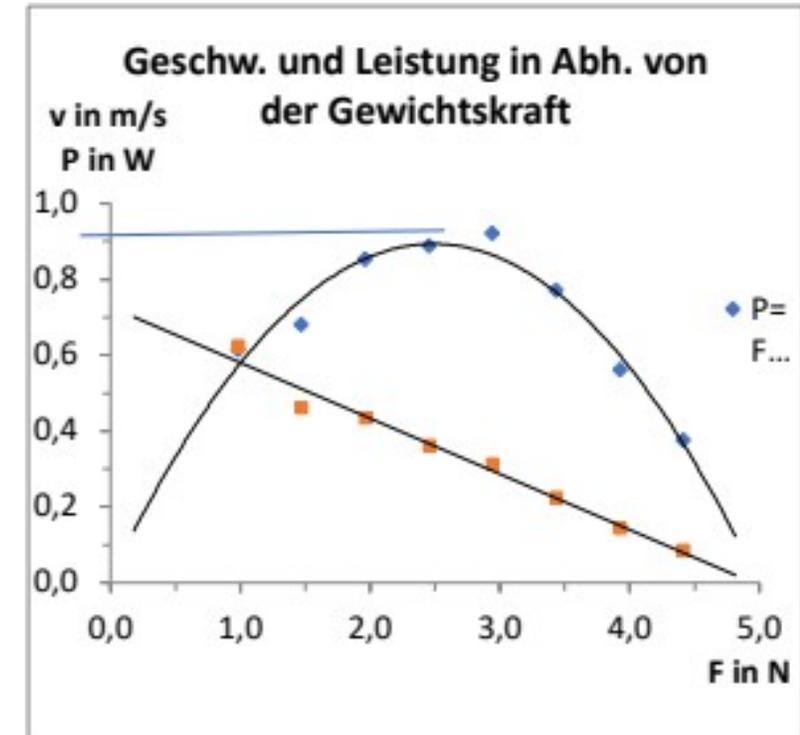
Energieumwandlung mit der Wasserturbine

Aufgaben:

1. Wieviel Leistung gibt die Turbine ab ?

$$P_{\text{Turbine}} = F_T \cdot v_T$$

2. Bestimmung des optimalen Betriebsbereichs (mpp)



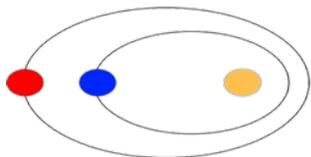
Energieumwandlung mit der Wasserturbine

Aufgaben:

1. Wieviel Leistung gibt die Turbine ab ?

$$P_{\text{Turbine}} = F_T * v_T$$

2. Bestimmung des optimalen Betriebsbereichs (mpp)
3. Bestimme den Wirkungsgrad der Turbine



Energieumwandlung mit der Wasserturbine

Aufgaben:

1. Wieviel Leistung gibt die Turbine ab ?

$$P_{\text{Turbine}} = F_T * v_T$$

2. Bestimmung des optimalen Betriebsbereichs (mpp)

3. Bestimme den Wirkungsgrad der Turbine



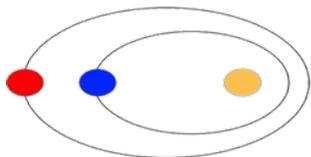
Leistung des Wasserstrahls

$$P_{\text{Wasser}} = F_w * v_w$$

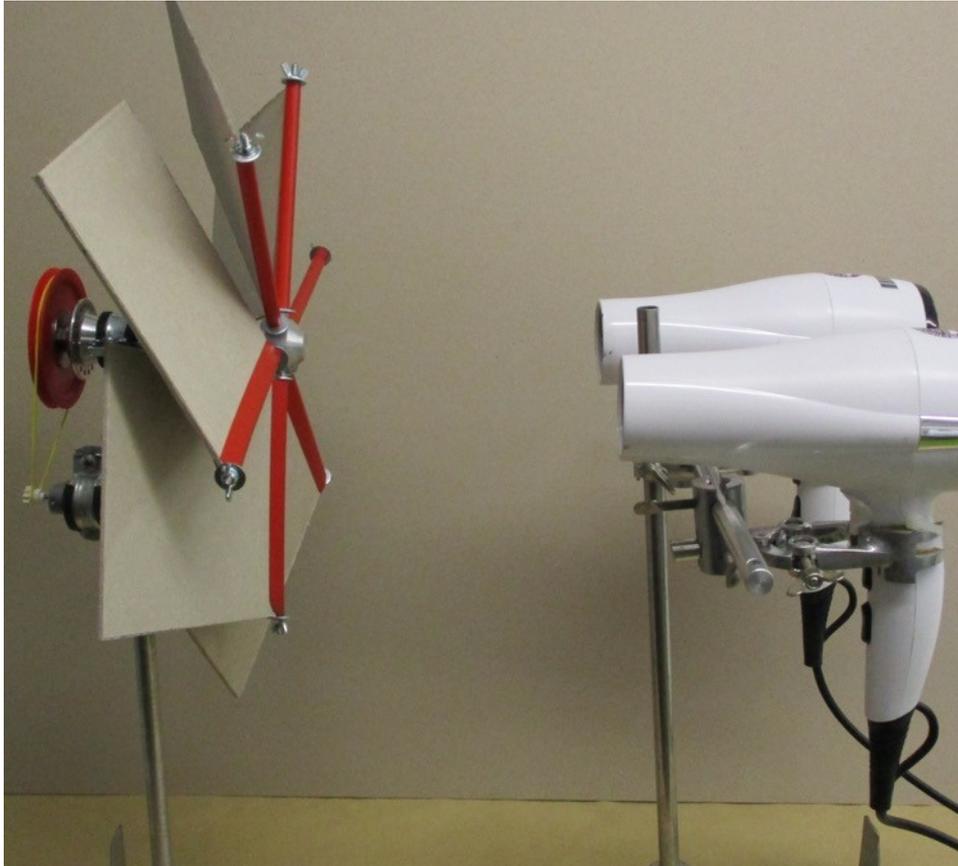
$$P_w = F_w * v_w = p * A * s/t = p * V/t$$

Wirkungsgrad η :

$$\eta = P_{\text{Turbine}} / P_{\text{Wasser}}$$



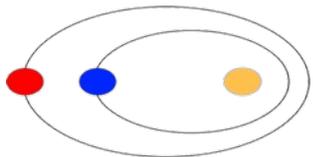
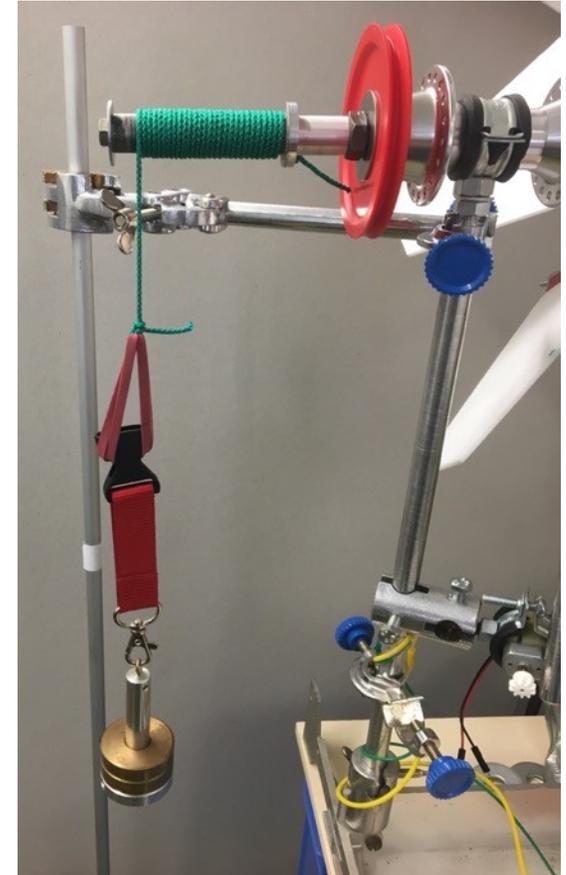
Energieumwandlung mit dem Windrad



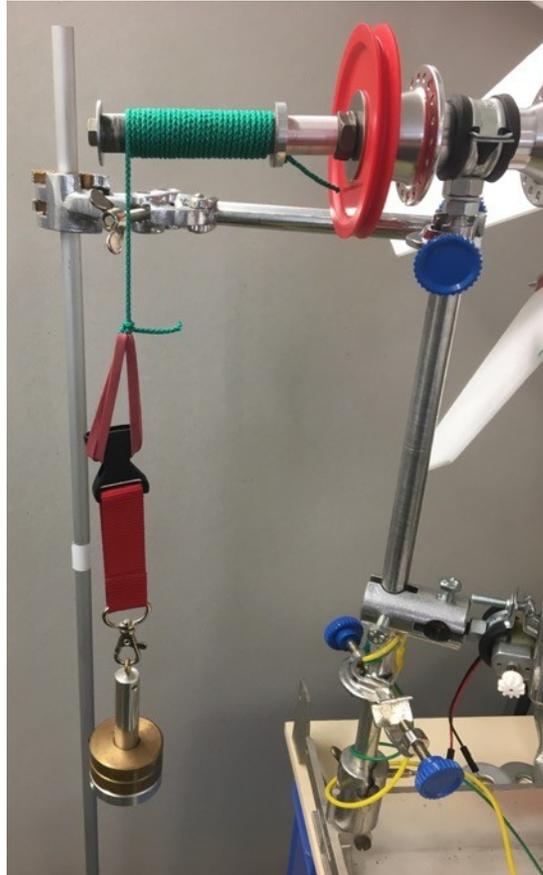
Aufgabe:
Schneide aus 6
quadratischen
Styroporplatten (3mm)
Flügel mit einer
maximalen Fläche von
 $\frac{2}{3}$ der Ausgangsfläche

**Miss die mechanische
Leistung des Windrades**

**Miss die elektrische
Leistung des Windrades**



Energieumwandlung mit dem Windrad

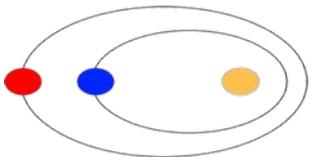


Aufgabe

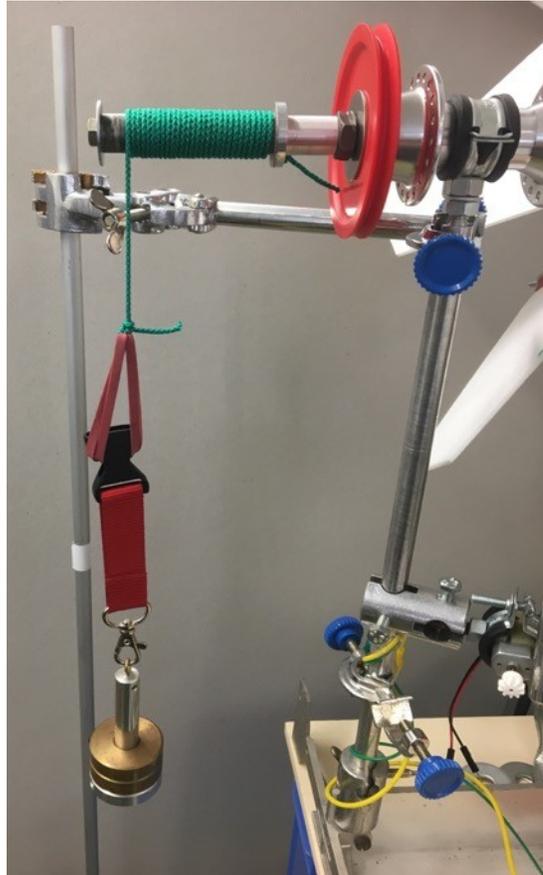
Bestimmung der
mechanischen .

Leistung $P = F \cdot v$
durch Messung von
Kraft F

Geschwindigkeit v



Energieumwandlung mit dem Windrad



Aufgabe
Bestimmung der
mechanischen .
Leistung $P = F \cdot v$
durch Messung von
Kraft F
Geschwindigkeit v

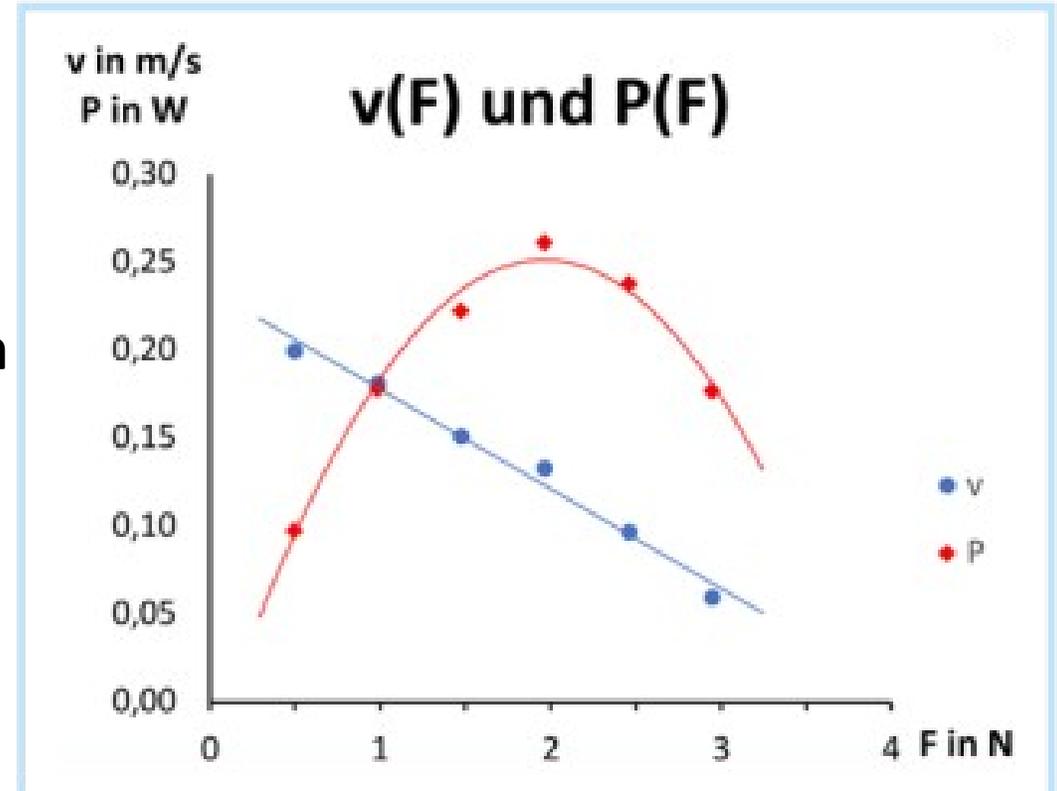
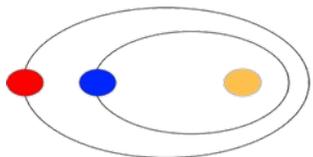
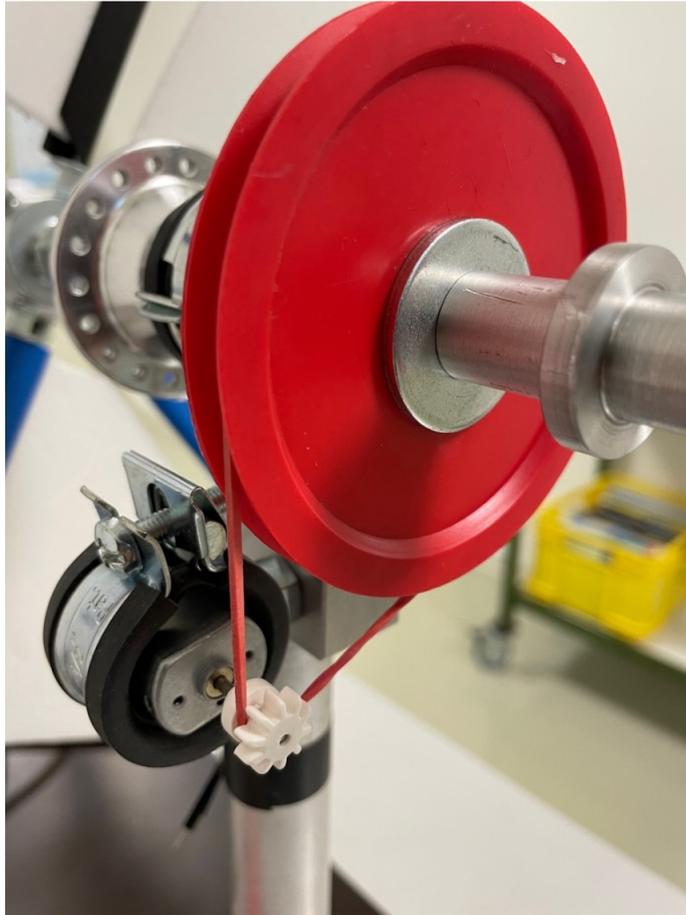


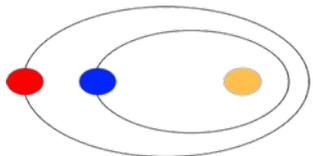
Abb. 6. Mechanische Leistung des Windrads beim Heben der Massestücke (50g bis 250g)



Energieumwandlung mit dem Windrad

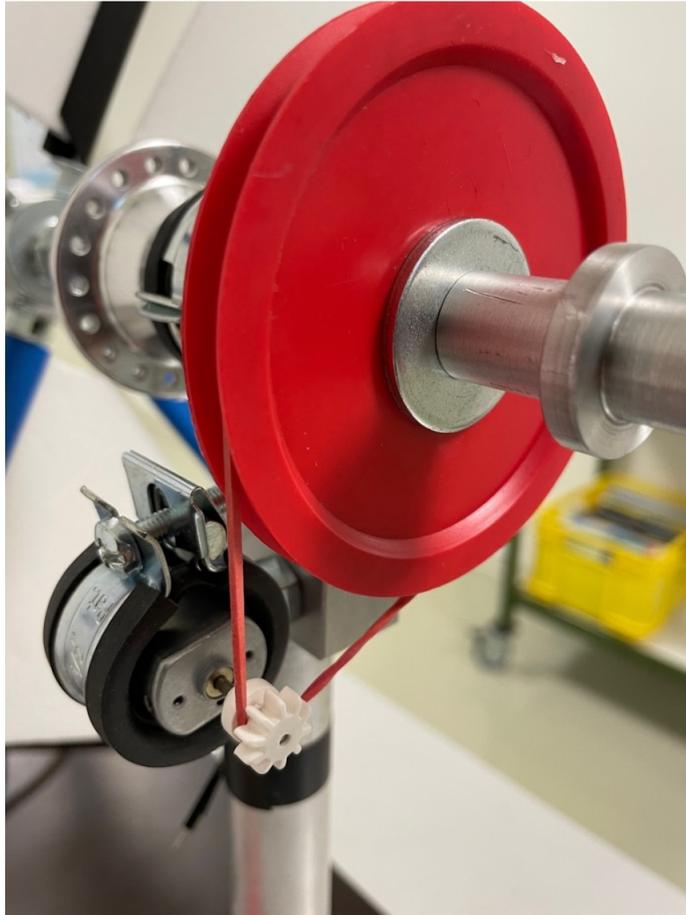


Aufgabe
Bestimmung der
elektrischen
Leistung $P = U \cdot I$
durch Messung
von
Spannung U
Stromstärke I

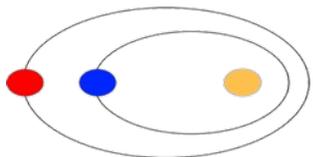
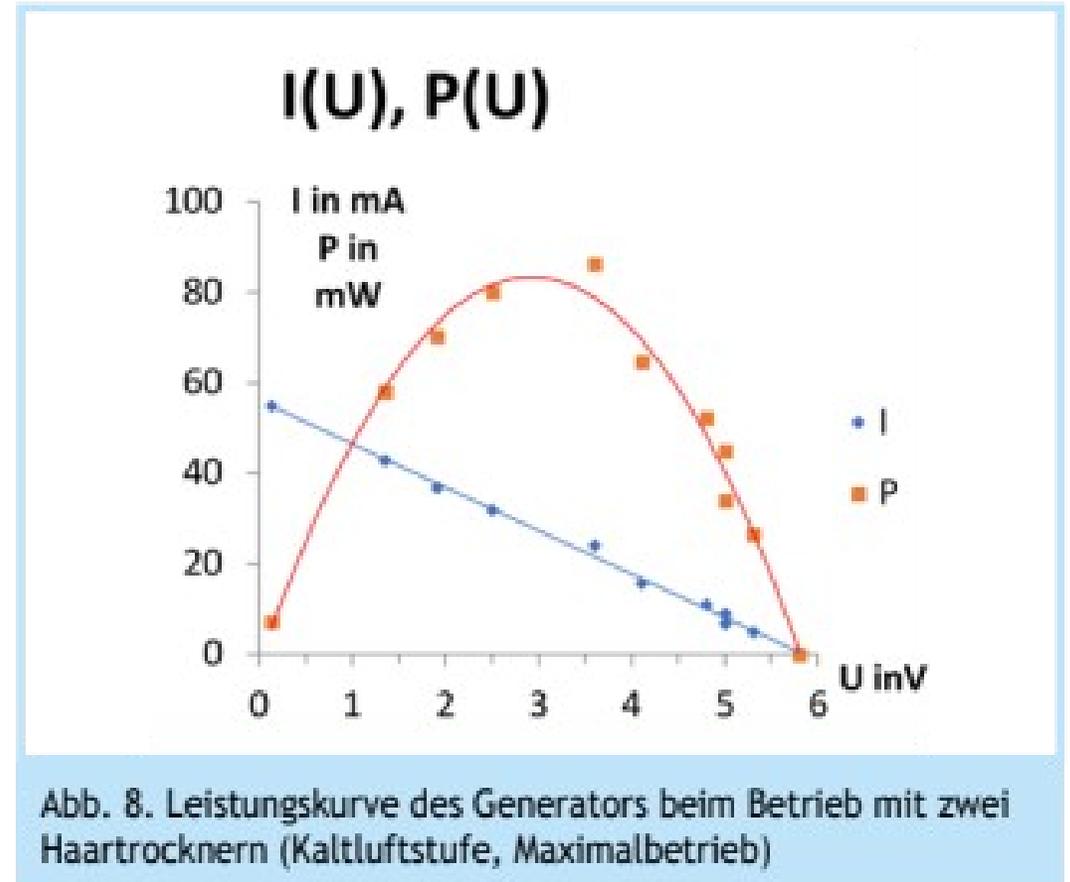


Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Energieumwandlung mit dem Windrad



Aufgabe
Bestimmung der
elektrischen
Leistung $P = U \cdot I$
durch Messung
von
Spannung U
Stromstärke I



Energieumwandlung mit dem Windrad

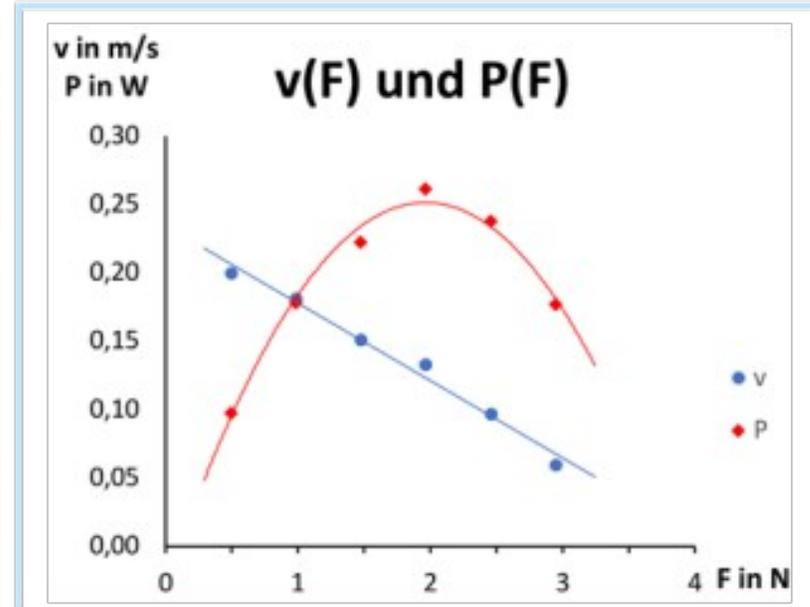


Abb. 6. Mechanische Leistung des Windrads beim Heben der Massestücke (50g bis 250g)

Mechanische Leistung

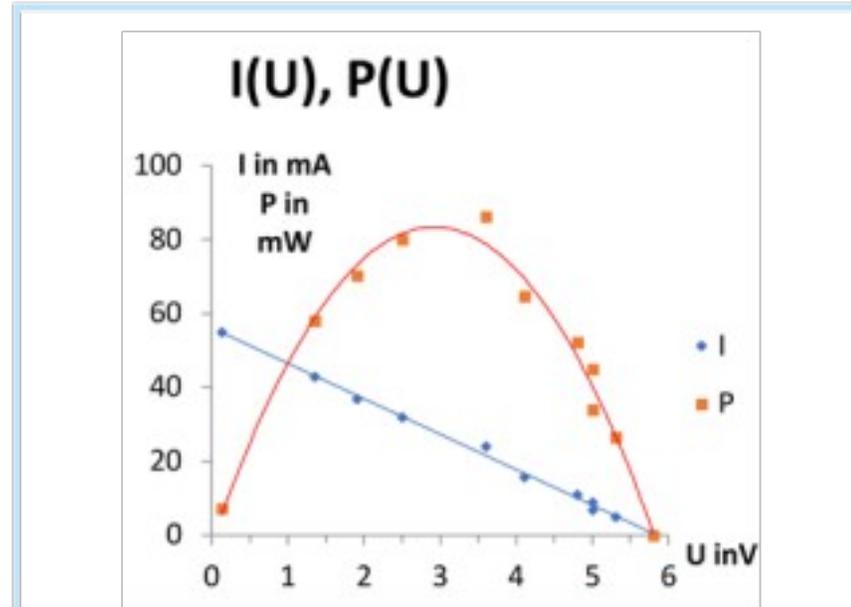
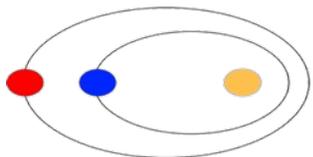


Abb. 8. Leistungskurve des Generators beim Betrieb mit zwei Haartrocknern (Kaltluftstufe, Maximalbetrieb)

Elektrische Leistung



Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.



Energieumwandlung mit dem Windrad

Wirkungs-
grad

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

Leistung des Generators

Leistung des Windes

100 %

η

Zugeführte Energie E_{Zu}

Windenergie

Windenergie

P_{Zu}

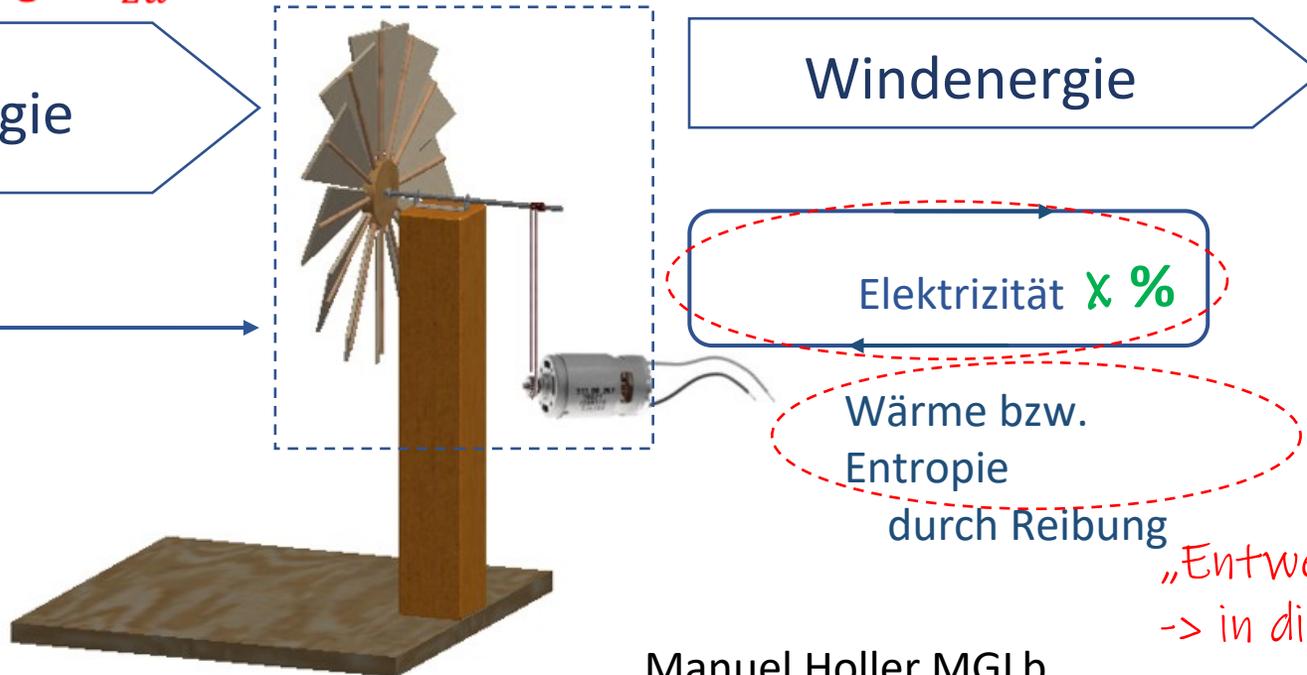
Bewegte Luft

Elektrizität $x\%$

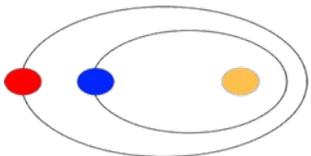
P_{Nutz}

Wärme bzw.
Entropie
durch Reibung

„Entwertete“ Energie
-> in die Umgebung

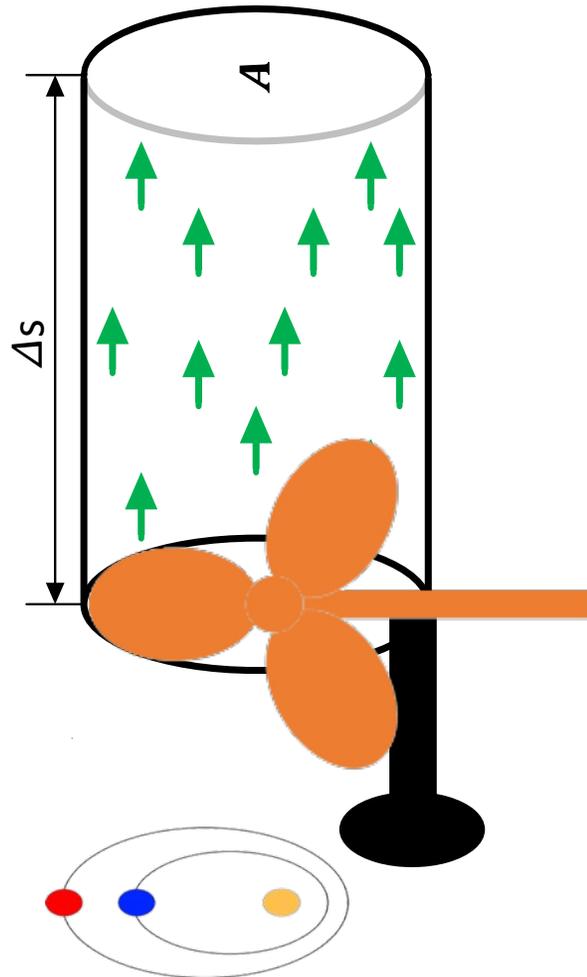


Manuel Holler MGLb



Energieumwandlung mit dem Windrad

Leistung P des Luftstromes



$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\rho Vv^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\rho Asv^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

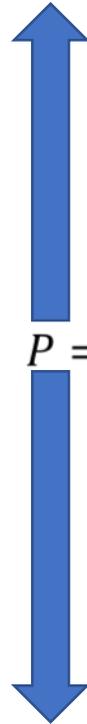
Bewegungsenergie

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

Manuel Holler MGLb

Schülerforschungslabor Kepler-Seminar e.V.

Energieumwandlung mit dem Windrad

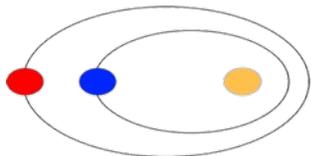


$$P = F \cdot v$$

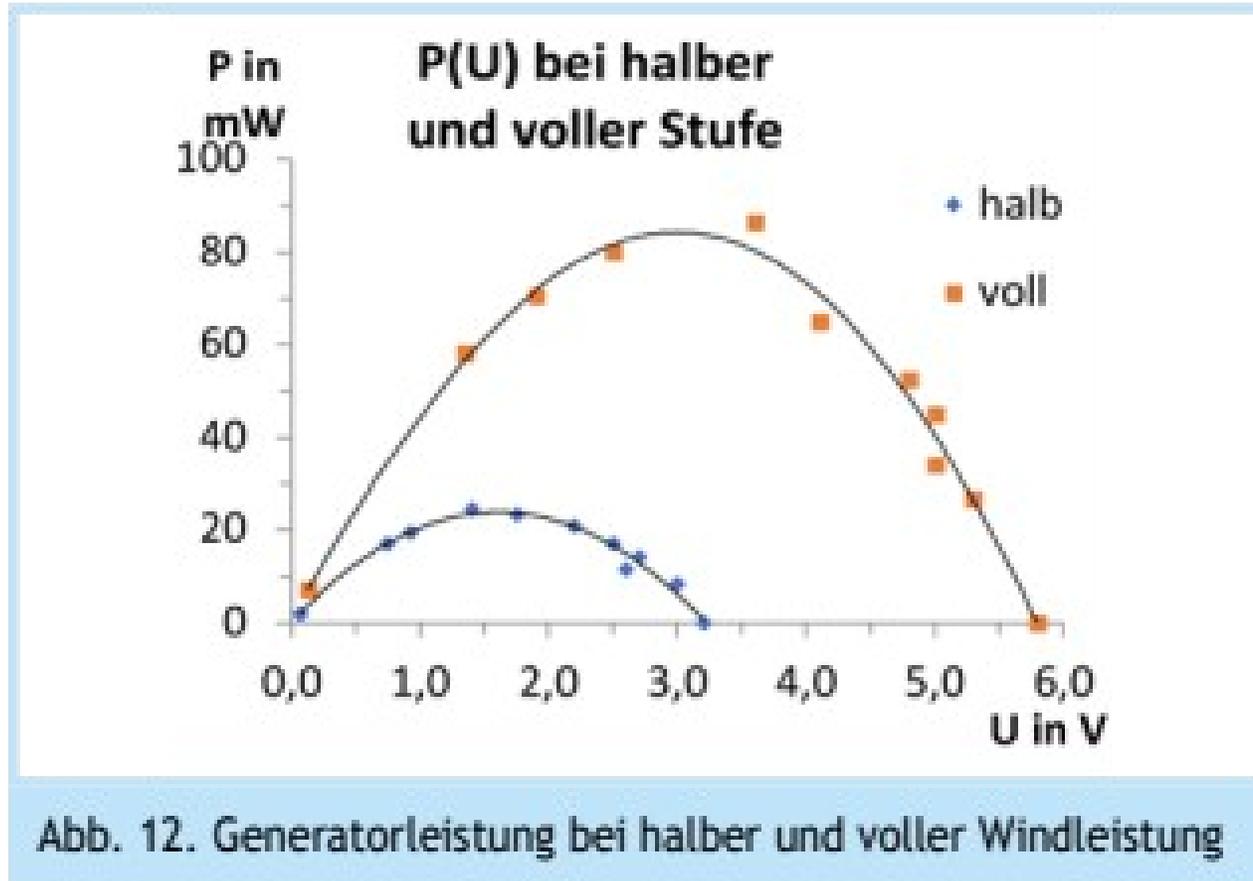
Windleistung P \longrightarrow Kraft des Fön F
an der Fönöffnung *auf die Waage*

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

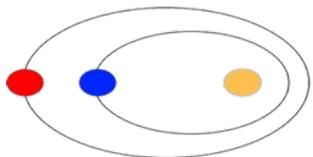
Bestimmung der Windgeschwindigkeit über die Kraft auf die Waage (bei gegebenem Strömungsquerschnitt)



Energieumwandlung mit dem Windrad

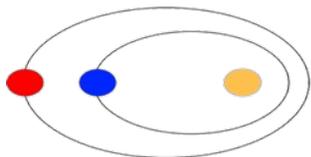


Gilt das v^3 - Gesetz?



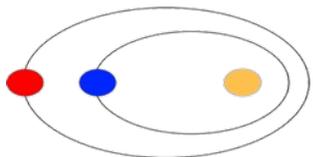
Energieumwandlung mit dem Windrad

Gebälsestufe (Kaltluft)	Kraft beider Haartrockner auf die Waage	Wind- geschwindigkeit	Windleistung der Haartrockner	Mechanische Leistung des Windrads im mpp	Generatorleistung im mpp
		$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$			
halb	F ₁ =0,22N	v ₁ =16,52m/s			
voll	F ₂ =0,52N	v ₂ =25,39m/s			
Quotient	2,36	1,54			
	gemessen	berechnet			



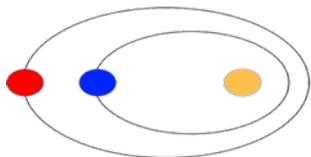
Energieumwandlung mit dem Windrad

Gebälsestufe (Kaltluft)	Kraft beider Haartrockner auf die Waage	Wind- eschwindigkeit	Windleistung der Haartrockner	Mechanische Leistung des Windrads im mpp	Generatorleistung im mpp
		$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$	$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$		
halb	F ₁ =0,22N	v ₁ =16,52m/s	P _{1,W} =3,63W		
voll	F ₂ =0,52N	v ₂ =25,39m/s	P _{2,W} =13,20W		
Quotient	2,36	1,54	3,63		
	gemessen	berechnet	berechnet		



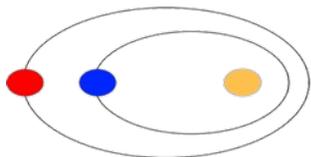
Energieumwandlung mit dem Windrad

Gebälsestufe (Kaltluft)	Kraft beider Haartrockner auf die Waage	Wind- geschwindigkeit	Windleistung der Haartrockner	Mechanische Leistung des Windrads im mpp	Generatorleistung im mpp
		$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$	$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$	$P_m = F \cdot v$	
halb	F ₁ =0,22N	v ₁ =16,52m/s	P _{1,W} =3,63W	P _{1,mech} = 75mW	
voll	F ₂ =0,52N	v ₂ =25,39m/s	P _{2,W} =13,20W	P _{2,mech} = 250mW	
Quotient	2,36	1,54	3,63	3,33	
	gemessen	berechnet	berechnet	gemessen	



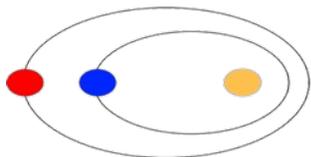
Energieumwandlung mit dem Windrad

Gebälsestufe (Kaltluft)	Kraft beider Haartrockner auf die Waage	Wind- geschwindigkeit	Windleistung der Haartrockner	Mechanische Leistung des Windrads im mpp	Generatorleistung im mpp
		$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$	$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$	$P_m = F \cdot v$	$P_{el} = U \cdot I$
halb	F ₁ =0,22N	v ₁ =16,52m/s	P _{1,W} =3,63W	P _{1,mech} =75mW	P _{1,el} =25mW
voll	F ₂ =0,52N	v ₂ =25,39m/s	P _{2,W} =13,20W	P _{2,mech} =250mW	P _{2,el} =85mW
Quotient	2,36	1,54	3,63	3,33	3,40
	gemessen	berechnet	berechnet	gemessen	gemessen



Energieumwandlung mit dem Windrad

Gebälsestufe (Kaltluft)	Kraft beider Haartrockner auf die Waage	Wind- geschwindigkeit	Windleistung der Haartrockner	Mechanische Leistung des Windrads im mpp	Generatorleistung im mpp
		$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$	$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$	$P_m = F \cdot v$	$P_{el} = U \cdot I$
halb	F ₁ =0,22N	v ₁ =16,52m/s	P _{1,W} =3,63W	P _{1,mech} = 75mW	P _{1,el} =25mW
voll	F ₂ =0,52N	v ₂ =25,39m/s	P _{2,W} =13,20W	P _{2,mech} = 250mW	P _{2,el} =85mW
Quotient	2,36	1,54	3,63	3,33	3,40
	gemessen	berechnet	berechnet	gemessen	gemessen
$1,54^3 \approx 3,6$					

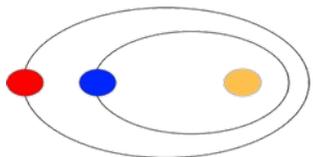


Energieumwandlung mit dem Windrad

Gebälsestufe (Kaltluft)	Kraft der Haartrockner auf die Waage	Wind- geschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{2 \cdot F}{\rho \cdot A}}$	Windleistung der Haartrockner $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$	mechanische Leistung des Windrades $P = F \cdot v$	Generatorleistung im mpp $P = U \cdot I$
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 $A = 0,00126 \text{ m}^2$)

Ermittlung / Bestätigung des v^3 Gesetzes ist mit dem Fön gut möglich



Vortrag und Material zum Download

<https://kepler-seminar.de/lehrerfortbildung.html>

