

Physik * Klasse 9b * Energieübertragung mit Hochspannung

Das Berghüttenproblem

Eine Berghütte hat keinen Netzanschluss.

Der Hüttenwirt, der eine 100W Glühbirne anschließen will, hat folgende Idee:



Vom nächstgelegenen Netzanschluss mit 230 V in 5,0 km Entfernung von der Hütte will er mit einem zweiadrigen Stahlkabel die Stromversorgung der Glühlampe sicherstellen.

Obwohl das Kabel eine relativ große Querschnittsfläche hat, muss man pro 10 Meter Kabel mit einem elektrischen Widerstand von etwa 0,80 Ω rechnen.

Aufgabe 1:

Berechne den Widerstand der Glühbirne und den Widerstand der Leitung.

Zeichne ein Schaltbild und berechne die Spannung, die an der Glühlampe anliegt.

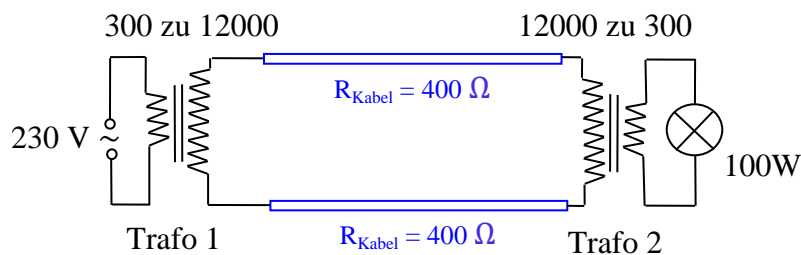
Wird die Glühlampe hell leuchten?

Welcher Prozentsatz der eingespeisten elektrischen Leistung geht in der Leitung verloren?

Geniale Idee des Hüttenwirts – ein Trafo:

Der (physikalisch gebildete) Hüttenwirt überlegt und kommt auf folgende Lösung des Problems. Er versucht die elektrische Energie mit Hilfe eines Trafos bei hoher Spannung zu übertragen und vor Ort wieder herab zu transformieren.

Folgenden Versuchsaufbau wählt er:



Aufgabe 2:

a) Mit dem abgebildeten Versuchsaufbau will der Hüttenwirt die benötigte Leistung von 100W übertragen.

Welche Stromstärke muss dazu im Primärkreis des Trafo 1 fließen? Welche Spannung liegt dann an den Kabeln an und welche Stromstärke fließt dann in den Kabeln?

b) Zeige, dass beim Versuch mit Trafo für die in der Übertragungsleitung verlorene Leistung P_{Verlust} gilt: $P_{\text{Verlust}} = 2 \cdot R_{\text{Kabel}} \cdot I_{\text{Kabel}}^2$.

Begründe nun, warum beim Versuch mit Trafos der Leistungsverlust in der Übertragungsleitung wesentlich geringer ist.

c) Zeige: Wird die elektrische Leistung P_{el} mit einer Hochspannung U_{H} über die Leitung mit dem Gesamtwiderstand $R_{\text{Leitung}} = R_{\text{L}}$ übertragen, dann gilt für die in der Leitung verlorene Leistung P_{Verlust} :

$$P_{\text{Verlust}} = \frac{R_{\text{L}} \cdot P_{\text{el}}^2}{U_{\text{H}}^2}$$

d) Welcher Prozentsatz der eingespeisten elektrischen Energie geht nun nach dem „Hochtransformieren“ noch verloren? (Vergleiche mit dem Ergebnis der Aufgabe 1.)

Aufgabe 3:

Das **Walchenseekraftwerk** ist eines der größten Speicherkraftwerke in Deutschland, das bei plötzlichem Bedarf von elektrischer Energie in wenigen Minuten seine Leistung von 124 MW an das elektrische Netz abgeben kann. Seit 1924 wird der Höhenunterschied von 200m zwischen Walchen- und Kochelsee zur Stromerzeugung genutzt.

Das Wasser aus dem Speicher Walchensee wird über 4 Pelton- und 4 Francis-Turbinen in den Kochelsee geleitet.

Der Wirkungsgrad von Wasserkraftwerken liegt in der Regel bei 85 bis 90%.



Für das Walchenseekraftwerk soll im Folgenden mit einem Wirkungsgrad von 90% gerechnet werden.

- a) Wie viele Kubikmeter Wasser müssen pro Sekunde durch die 8 Turbinen fließen, wenn das Kraftwerk seine Spitzenleistung abgeben soll?

Die vom Kraftwerk abgegebene Leistung von 124 MW wird über eine etwa 70 km lange 220 kV- Überlandleitung nach München übertragen. Der elektrische Widerstand pro Kilometer Übertragungsleitung beträgt ca. $0,10 \Omega$.

- b) Wie viel Prozent der eingespeisten Leistung verliert man in der Hochspannungsleitung? (Beachte, dass die Fernleitung aus einer Doppelleitung besteht.)

Im Folgenden soll die vom Walchenseekraftwerk abgegebene Leistung mit einer 230 V - Überlandleitung nach München übertragen werden.

- c) Wie groß wäre die Stromstärke in der Leitung?
d) Welchen Widerstand dürfte die Leitung höchstens haben, wenn der Energieverlust beim Transport maximal 10% betragen soll?

Im Jahr liefert das Walchenseekraftwerk ca. 320 Millionen kWh.

- e) Wie viele Stunden am Tag "arbeitet" das Walchenseekraftwerk durchschnittlich?

Physik * Klasse 9b * Energieübertragung mit Hochspannung * Lösungen

Aufgabe 1:

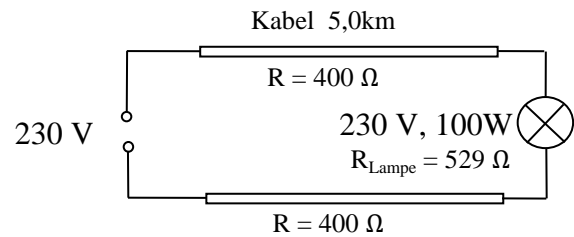
$$R_{\text{Lampe}} = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{I \cdot U} = \frac{(230\text{V})^2}{100\text{W}} = 529\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = 2 \cdot 400\Omega + 529\Omega = 1,33\text{k}\Omega$$

$$I_{\text{Lampe}} = I_{\text{ges}} = \frac{230\text{V}}{1329\Omega} = 0,173\text{A}$$

$$U_{\text{Lampe}} = 529\Omega \cdot 0,173\text{A} \approx 92\text{V}, \text{ d.h. die Lampe leuchtet nicht!}$$

$$U_{\text{Leitung}} = 230\text{V} - 92\text{V} = 138\text{V} \quad \text{und} \quad \frac{P_{\text{Verlust}}}{P_{\text{ges}}} = \frac{138\text{V} \cdot 0,173\text{A}}{230\text{V} \cdot 0,173\text{A}} = 60\%$$



Aufgabe 2:

$$\text{a) } P = U \cdot I \Rightarrow I_{p,1} = \frac{P}{U} = \frac{100\text{W}}{230\text{V}} = 0,435\text{A}$$

$$\frac{U_K}{230\text{V}} = \frac{12000}{300} \Rightarrow U_K = 40 \cdot 230\text{V} = 9,2\text{kV} \quad \text{und} \quad I_K = \frac{P}{U_K} = \frac{100\text{W}}{9200\text{V}} = 0,011\text{A}$$

$$\text{b) } P_{\text{Verlust}} = \Delta U_{\text{Kabel}} \cdot I = R_{\text{Kabel,ges}} \cdot I \cdot I = 2 \cdot R_{\text{Kabel}} \cdot I^2 = 2 \cdot 400\Omega \cdot (0,011\text{A})^2 = 0,0968\text{W} \approx 0,1\text{W}$$

Mit Trafos wird die Spannung „hochtransformiert“, d.h. die Stromstärke in der Leitung ist damit wesentlich kleiner als ohne Trafo.

Die Verlustleistung ist proportional zum Quadrat der Stromstärke und daher wesentlich kleiner als ohne Trafo.

$$\text{c) } P_{\text{el}} = U_H \cdot I_L \text{ d.h. } I_L = \frac{P_{\text{el}}}{U_H} \quad \text{und} \quad P_{\text{Verlust}} = \Delta U_{\text{Leitung}} \cdot I_L = R_{\text{Leitung}} \cdot I_L \cdot I_L = R_L \cdot \left(\frac{P_{\text{el}}}{U_H}\right)^2 = \frac{R_L \cdot P_{\text{el}}^2}{U_H^2}$$

d) Ohne Trafo gingen 60% der eingespeisten Leistung verloren (siehe Aufgabe 1).

Nach dem Hochtransformieren gilt:

$$P_{\text{Verlust, mit Trafo}} = \frac{R_L \cdot P_{\text{el}}^2}{U_H^2} \approx \frac{2 \cdot 400\Omega \cdot (100\text{W})^2}{(9200\text{V})^2} = 0,95\text{W} \approx 1\% \text{ von } P_{\text{el}}$$

Aufgabe 3:

$$\text{a) } 124\text{MW} = \frac{124\text{MJ}}{1\text{s}} \quad \text{also} \quad 90\% \cdot m \cdot g \cdot h = 124\text{MJ} \Rightarrow$$

$$m = \frac{124 \cdot 10^6 \text{ J}}{0,90 \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 200\text{m}} = 70223\text{kg} = 70,2\text{t} \hat{=} 70,2 \text{ m}^3$$

$$\text{b) } P_{\text{el}} = U_H \cdot I_{\text{Leitung}} \quad \text{d.h.} \quad I_{\text{Leitung}} = \frac{P_{\text{el}}}{U_H} = \frac{124 \cdot 10^6 \text{ W}}{220 \cdot 10^3 \text{ V}} = 564\text{A} \quad \text{und}$$

$$\frac{P_{\text{Verlust}}}{P_{\text{ges}}} = \frac{R_L \cdot I_L^2}{P_{\text{ges}}} = \frac{2 \cdot 70 \cdot 0,10\Omega \cdot (564\text{A})^2}{124 \cdot 10^6 \text{ W}} = \frac{14\Omega \cdot (564\text{A})^2}{124 \cdot 10^6 \text{ W}} = 0,0359... = 3,6\%$$

$$\text{c) } I_{\text{Leitung}} = \frac{P_{\text{el}}}{230\text{V}} = \frac{124 \cdot 10^6 \text{ W}}{230\text{V}} = 539\text{kA}$$

$$\text{d) } P_{\text{Verlust}} = R_L \cdot (I_L)^2 \leq 10\% \cdot 124\text{MW} \Rightarrow R_{\text{Leitung}} \leq \frac{0,10 \cdot 124 \cdot 10^6 \text{ W}}{(539000\text{A})^2} = 0,000043\Omega$$

$$\text{e) } 320 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 365 \cdot x \cdot 124\text{MW} \Rightarrow x = \frac{320 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{365 \cdot 124000\text{kW}} = 7,1\text{h}$$