

Lösungen : Fahrradergometer

Der Grundumsatz einer Person mit **70 kg** liegt bei ca. **85 W**. Somit stehen für das Ergometertraining noch **350 W – 85 W = 265 W** zur Verfügung. Da eine mechanische Leistung von **75 W** erzielt wird, gilt für den Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{75 \text{ W}}{265 \text{ W}} = 28\%$$

Energieverbrauch in der BRD

a) Umrechnung in Joule:

$$5,8 \text{ t SKE} = 5,8 \cdot 10^3 \text{ kg SKE} = 5,8 \cdot 10^3 \cdot 29,31 \text{ MJ} = 170 \cdot 10^3 \text{ MJ} = 170 \cdot 10^9 \text{ J}$$

b) Arbeit an einem Tag:

$$\Delta W_{\text{Tag}} = 75 \cdot 8,0 \cdot 3600 \text{ J} = 2,2 \text{ MJ}$$

Arbeit in einem Jahr:

$$\Delta W_{\text{Jahr}} = 365 \cdot \Delta W_{\text{Tag}} = 365 \cdot 2,2 \text{ MJ} = 0,80 \text{ GJ}$$

c) Die jährliche Nutzenergie beträgt 30% der jährlichen Primärenergie, also

$$\text{jährliche Nutzenergie} = 0,30 \cdot 170 \text{ GJ} = 51 \text{ GJ}$$

Somit ergibt sich

$$\text{Zahl der Arbeitskräfte} = \frac{51}{0,80} = 64$$

Jeder Bundesbürger müsste etwa 64 Arbeitskräfte einstellen.

Mit der Energie 1 kWh kann man beispielsweise:

- 111 Stunden mit einem WLAN-Router einen Haushalt mit dem Internet verbinden (bei einer Leistung von 9 Watt)
- 50 Stunden an einem Laptop arbeiten (bei einer Leistung von 20 Watt)
- Fünf Stunden am Desktop-Computer arbeiten (bei einer Leistung von 200 Watt; bei voller Leistung, in der Regel schwankt diese sehr)
- Rund 15 Stunden fernsehen mit einem Gerät mit Flüssigkristallanzeige (bei einem Leistungsbedarf von rund 65 Watt)
- Rund 67 Minuten staubsaugen (bei einer Leistung von 900 Watt)
- Eine Dreiviertelstunde Haare trocknen (bei einer Leistung von 1400 Watt)
- 40 Minuten auf einer Kochplatte auf Höchststufe kochen (bei einer Leistung von 1500 Watt)
- Etwa elf Minuten lang seinen durchschnittlichen Bedarf an Primärenergie (Leistungsaufnahme in Deutschland im Schnitt etwa 5,5 kW) decken
- Einen Eimer voll Wasser (10,75 Liter) unter normalem Druck von 20 °C auf 100 °C erhitzen
- Mit einem Pkw mit Verbrennungsmotor rund 1,7 km weit fahren (bei einem typischen Energiebedarf von 6 Liter Benzin bzw. 60 kWh pro 100 km)
- Mit einem Elektroauto rund 6,7 km weit fahren (bei einem typischen Energiebedarf von 15 kWh pro 100 km)
- Mit einem Pedelec bei mäßigem Mittreten rund 130 km fahren (bei rund 40 bis 45 km Reichweite einer Batterieladung von 330 Wh)

Zum Vergleich ist die folgende Faustregel für den Energiegehalt von Primärenergieträgern erwähnenswert:

10 kWh \approx 1 m³ Erdgas \approx 1 l Öl \approx 1 l Benzin \approx 1 kg Kohle \approx 2 kg Holz \approx 10 h direktes Sonnenlicht auf 1 m² auf der Erde

wobei je nach Wirkungsgrad von Kraftwerk und Stromleitung nur ca. 40 % beim Verbraucher ankommen.^[3]

Skisprung

- a) Am Skispringer wird durch die Erdanziehungskraft Beschleunigungsarbeit verrichtet. Hineingesteckt wird die Lageenergie, die in Bewegungsenergie umgewandelt wird.
b) Die Lageenergie berechnest du mit

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow E_{\text{pot}} = 80 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 80 \text{ m} = 64000 \text{ J} = 64 \text{ kJ}$$

Die Bewegungsenergie ergibt sich aus

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} \cdot \left(30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 36000 \text{ J} = 36 \text{ kJ}$$

Der Wirkungsgrad ist somit

$$\eta = \frac{E_{\text{kin}}}{E_{\text{pot}}} = \frac{36 \text{ kJ}}{64 \text{ kJ}} = 0,56 = 56\%$$

Esel

Für die Hubarbeit gilt

$$W_{\text{Hub}} = m_{\text{Last+Esel+Karren}} \cdot g \cdot h \Rightarrow W_{\text{Hub}} = (800 \text{ kg} + 300 \text{ kg} + 100 \text{ kg}) \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100 \text{ m} = 1200000 \text{ J} = 1200 \text{ kJ} = 1,2 \text{ MJ}$$

Die vom Esel aufgewendete Arbeit ist wegen der Reibung doppelt so groß wie die Hubarbeit, also

$$W_{\text{Esel}} = 2 \cdot W_{\text{Hub}} = 2 \cdot 1,2 \text{ MJ} = 2,4 \text{ MJ}$$

Die Nutzenergie ist

$$E_{\text{Nutz}} = m_{\text{Last}} \cdot g \cdot h \Rightarrow E_{\text{Nutz}} = 800 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100 \text{ m} = 800000 \text{ J} = 800 \text{ kJ} = 0,8 \text{ MJ}$$

Damit ist der Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{E_{\text{Nutz}}}{W_{\text{Esel}}} = \frac{0,8 \text{ MJ}}{2,4 \text{ MJ}} = 0,33 = 33\%$$

Achterbahnaufzug

- a) Berechnung der Hubarbeit:

$$\Delta W_{\text{hub}} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow \Delta W_{\text{hub}} = 2000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 28 \text{ m} \approx 550 \text{ kJ}$$

Berechnung der Leistung:

$$P = \frac{\Delta W_{\text{hub}}}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{550 \cdot 10^3 \text{ J}}{30 \text{ s}} \approx 18 \text{ kW}$$

- b) Berechnung des Wirkungsgrades:

$$\eta = \frac{\Delta W_{\text{hub}}}{\Delta W_{\text{elekt}}} \Rightarrow \eta = \frac{550 \text{ kJ}}{750 \text{ kJ}} \approx 73\%$$

Walchensee Energie

- a) In der Rohrbahn wird die Lageenergie des Wassers in Bewegungsenergie des Wassers umgewandelt.
In der Turbine wird die Bewegungsenergie des Wassers in Bewegungsenergie der Maschinenteile umgewandelt.
Im Generator wird die Bewegungsenergie der Maschinenteile in elektrische Energie umgewandelt.

- b) Berechnung des Wasservolumens im Walchensee:

$$V = A \cdot t \Rightarrow V = 16 \cdot 10^6 \cdot 90 \text{m}^2 \cdot \text{m}$$

$$V = 1,4 \cdot 10^9 \text{m}^3$$

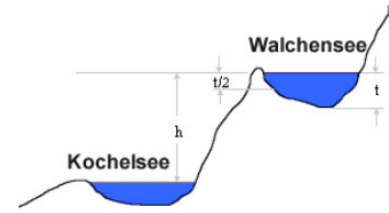
Berechnung der potentiellen Energie des Wassers gegenüber dem Niveau des Kochelsees:

$$\Delta E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h^* \Rightarrow$$

$$\Delta E_{pot} = \rho \cdot V \cdot g \cdot \left(h - \frac{t}{2}\right) \Rightarrow$$

$$\Delta E_{pot} = 1,0 \cdot 10^3 \cdot 1,4 \cdot 10^9 \cdot 9,81 \cdot (200 - 45) \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2}$$

$$\Delta E_{pot} = 2,1 \cdot 10^{15} \text{J}$$



© Abb. 2 Skizze zur Lösung

- c) Berechnung der elektrischen Energie, die bei einem Wirkungsgrad von 80% mit der bei Teilaufgabe a) berechneten potentiellen Energie gewonnen werden könnte:

$$\eta = \frac{\Delta E_{el}}{\Delta E_{pot}} \Rightarrow \Delta E_{el} = \eta \cdot \Delta E_{pot} \Rightarrow \Delta E_{el} = 0,80 \cdot 2,1 \cdot 10^{15} \text{J} \approx 1,7 \cdot 10^{15} \text{J}$$

Berechnung der Zeitdauer wie lange Bayern mit dieser elektrischen Energie versorgt werden könnte:

$$P_{el} = \frac{\Delta E_{el}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta E_{el}}{P} \Rightarrow \Delta t = \frac{1,7 \cdot 10^{15} \text{W} \cdot \text{s}}{4000 \cdot 10^6 \text{W}} = 4,3 \cdot 10^5 \text{s} \approx 5 \text{d}$$

Donau

- a) Wenn die dreifache elektrische Energie abgegeben wird, muss bei gleichem Wirkungsgrad die dreifache potentielle Energie beim Jochensteinkraftwerk (im Vergleich zum Walchenseekraftwerk) vorliegen:

$$\Delta E_{pot,J} = 3 \cdot \Delta E_{pot,W} \Leftrightarrow m_J \cdot g \cdot \Delta h_J = 3 \cdot m_W \cdot g \cdot \Delta h_W \Leftrightarrow m_J = \frac{3 \cdot m_W \cdot \Delta h_W}{\Delta h_J}$$

Einsetzen der gegebenen Werte liefert

$$m_J = \frac{3 \cdot m_W \cdot 200 \text{m}}{10 \text{m}} = 60 \cdot m_W$$

Durch das Jochensteinkraftwerk muss also 60-mal soviel Wasser fließen wie durch das Walchenseekraftwerk.

- b) Wenn der Wasserspiegel des Walchensees bei der üblichen Wasserentnahme durch das Kraftwerk um **10cm** absinken würde, so würde er bei der **60**-fachen Wassermenge um **60 · 0,10m = 6,0m** absinken.

- c) Das ein Flusskraftwerk durchströmende Wasser kann nicht ohne weiteres gestaut werden. Der Wasserdurchsatz ist zu groß, und es gäbe oberhalb des Kraftwerks Überschwemmungen. Man könnte natürlich das Wasser einfach um die Turbinen herumleiten. Dann aber ginge die gesamte Energie "verloren".

Speicherkraftwerke haben einen geringeren Wasserzulauf und das Wasser kann sich über eine sehr große Fläche (Speichersee) verteilen. Man kann sie also über eine längere Zeit abschalten, ohne dass der Wasserspiegel zu sehr ansteigt. Man kann sogar Wasser hochpumpen und somit überschüssige elektrische Energie als Lageenergie des Wassers zwischenspeichern (Pumpspeicherkraftwerk).