

### Aufgabe 1: Wir leben über unsere Verhältnisse

Früher übernahmen Sklaven die mechanische Arbeit in der Landwirtschaft, im Bergbau, im Gewerbe, im Haus und beim Antrieb von Wagen und Schiffen. Heute übertragen wir diese Aufgaben Maschinen, die Primär- und Sekundärenergie umwandeln. Wir halten uns sogenannten "Energiesklaven".

a) Der jährliche Pro-Kopf-Bedarf an Primärenergie beträgt in Deutschland zurzeit 5,8 t SKE.

Rechne diesen in J um! (1 kg Steinkohle liefert  $2,93 \cdot 10^4 \text{ kJ}$ )

b) Ein Mensch kann täglich 8 Stunden lang eine mechanische Leistung von 75 W erbringen. Welche mechanische Arbeit verrichtet er an einem Tag bzw. innerhalb eines Jahres?

c) Etwa 30% der aufgewandten Primärenergie steht uns als Nutzenergie zur Verfügung. Über wie viel Energiesklaven verfügt ständig ein Durchschnittsbürger Deutschlands, wenn einem Energiesklaven die in b) berechnete Energiemenge entspricht?

**Lösungen:** zu a) Einfach den gesunden Menschenverstand einsetzen und verstehen, dass 1 kg Steinkohle beim Verbrennen  $2,93 \cdot 10^4 \text{ kJ}$  an die Umgebung abgibt (das ist die Energie, mit der man früher die Wohnungen erwärmt hat.) Verbrennt man  $5,8 \text{ t} = 5800 \text{ kg}$ , so bekommt man  $E_1 = 5800 \cdot 2,93 \cdot 10^4 \text{ kJ} = 16994 \cdot 10^4 \text{ kJ} \approx 17 \cdot 10^3 \cdot 10^4 \cdot 10^3 \text{ J} = 1,7 \cdot 10^{1+3+4+3} \text{ J} = 1,7 \cdot 10^{11} \text{ J} = 170 \text{ GJ}$

Zu b) An einem Arbeitstag kann ein Mensch also :

$$E_2 = t \cdot P = 8 \text{ h} \cdot 75 \text{ W} = 8 \cdot 3600 \text{ s} \cdot 75 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 216000 \text{ J} \approx 2,2 \text{ MJ} \text{ an Energie aufbringen.}$$

In einem Jahr ist das  $E_3 = 365 \cdot 2,2 \text{ MJ} = 803 \text{ MJ} = 0,8 \text{ GJ}$

Zu c) Die Nutzenergie der Teilaufgabe a), d.h. die Energie, die man beim Verbrennen nutzen kann (der Rest ist Abwärme, er erwärmt die Luft, die Flüsse) ist  $E_4 = 0,3 E_1 = 0,3 \cdot 170 \text{ GJ} = 51 \text{ GJ}$

Anzahl der Energiesklaven  $n = \text{Gesamtverbrauch pro Jahr} / \text{Energie einer Person pro Jahr} = \frac{51 \text{ GJ}}{0,8 \text{ GJ}} = 63,75 \approx 64$

Wir würden also 64 Sklaven benötigen, um die Arbeit verrichten zu können, die wir mit der Nutzenergie erledigen (sie wird uns in Form von Strom oder Benzin oder .... Zur Verfügung gestellt.) Nebenbei: In Athen kamen im Jahr 300 v.Chr auf einen Bürger rund 6 Arbeitssklaven, sie machten den Haushalt, bauten, machten das Essen und arbeiteten vor allem auch im Bergbau, um Silber zu gewinnen.

### Aufgabe 2: Fragen zur Wärmelehre

a) Erkläre mithilfe des Teilchenmodells, wie man sich das Verdampfen einer Flüssigkeit vorstellen kann.

b) Was versteht man (in der Physik) unter „Temperatur“?

c) Beschreibe, was man spürt, wenn man (im Sommer) ein wenig Wasser auf dem Handrücken verreibt. Erkläre diesen Effekt.

d) Erkläre aus Sicht der Energie, weshalb gleich viel Wasser von  $0^\circ\text{C}$  viel weniger kühlt, als Eis von  $0^\circ\text{C}$ .

e) Um die Temperatur von 2,0 kg Eisen bei Raumtemperatur um  $10^\circ\text{C}$  zu erhöhen benötigt man 9,04 kJ. Berechne die spezifische Wärmekapazität von Eisen.

**Lösungen:**

Zu a) Die Teilchen sind teilweise elektrisch aneinander gebunden. Es wird Energie benötigt, damit die Bindung zerstört werden kann, anschaulich, man muss die Teilchen auseinanderreißen.

Zu b) Die Temperatur ist eine Maß für die mittlere kinetische Energie (Bewegungsenergie) der Teilchen.

Zu c) Man spürt die „Verdunstungskälte“: Die schnellen Teilchen können sich leichter entfernen als die langsamen, also sinkt die Durchschnittsgeschwindigkeit, wenn die schnellen verdunsten. Außerdem wird noch Verdunstungsenergie benötigt, d.h. dem Körper entzogen.

Es wird also kälter, wenn Wasser verdunstet.

d) Eis muss zusätzlich geschmolzen werden. Beim Schmelzen wird also der Umgebung Wärme „entzogen“, d.h. die Umgebung wird kälter. (Beim Gefrieren wird entsprechend Wärme frei, also erwärmt kaltes Wasser, das gefriert, die Umgebung.

d) Es gilt  $E = c \cdot m \cdot \Delta T$  Also ist  $c = \frac{E}{m \cdot \Delta T} = \frac{9,04 \text{ kJ}}{2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ K}} = 0,452 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

**(Aufgabe 4: Milch)**

Tanja erwärmt einen halben Liter Milch von 20°C auf 70°C und muss hierfür 97 kJ Wärme zuführen.

Bestimme aus Tanjas Messung die spezifische Wärmekapazität  $c$  von Milch. Du kannst davon ausgehen, dass 1l Milch die gleiche Masse hat wie 1l Wasser.

**Lösungen:**

Es gilt  $E = c \cdot m \cdot \Delta T$  Also ist  $c = \frac{E}{m \cdot \Delta T} = 3,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

**(Aufgabe 5: Elektrische Energie aus der Sahara)**

Im Jahre 1999 war der weltweite Bedarf an elektrischer Energie von der Größenordnung  $5,3 \cdot 10^{19} \text{ J}$ . Davon beanspruchten die Industriestaaten den Löwenanteil.

**Hinweis:** Die jährliche Sonneneinstrahlung in der Sahara beträgt ca. 2200 kWh/m<sup>2</sup>.

a) Drücke die Energie in kWh aus. Wie viele Quadratkilometer müsste man in der sehr sonnenreichen Sahara mit Solarzellen (Wirkungsgrad 10%) auslegen, damit man die erforderliche elektrische Energie aus dem Sonnenlicht gewinnen könnte? Veranschauliche diese Fläche durch ein Quadrat auf einem Landkartenausschnitt ihrer Gegend.

b) Nenne einen Grund warum die in Teilaufgabe a) abgeschätzte Fläche nicht ausreichen dürfte.

**Lösungen:**

Benötigte Energie in kWh (einfach umrechnen  $1 \text{ kWh} = 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s}$  oder  $1 \text{ J} = \frac{1}{3600000} \text{ kWh}$ ):

$$E_1 = 5,3 \cdot 10^{19} \cdot \frac{1}{3600000} \text{ kWh} = 1,47 \cdot 10^{19-6} \text{ kWh} \approx 1,5 \cdot 10^{13} \text{ kWh}.$$

Benötigte Sonnenenergie  $E_2 = 10 \cdot 1,5 \cdot 10^{13} \text{ kWh} = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ kWh}$  (man braucht 10 mal soviel Energie von der Sonne, wenn nur 10% genutzt werden können)

Wird pro Quadratmeter 2200 kWh Energie eingestrahlt, so benötigt man die Fläche

$$A = \frac{1,5 \cdot 10^{14} \text{ kWh}}{2200 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} = 6,8 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 = 6,8 \cdot 10^4 \text{ km}^2. \text{ Das ist ein Quadrat der Seitenlänge } 260 \text{ km}$$

Beim Transport wird Energie verloren.

Siehe [Leifi](#)

### **Aufgabe 6: Richtig oder falsch?**

Gib für die folgenden Aussagen an, ob sie richtig oder falsch sind und begründe deine Entscheidung jeweils durch eine kurze Aussage.

- Man kann einen Gegenstand nur durch mechanische Arbeit erwärmen.
- Wenn bei einem nassen Badetuch Wasser verdunstet, sinkt die Temperatur des Handtuchs.
- Ein Uhrpendel ist ein gutes Beispiel für einen irreversiblen Vorgang. **Nicht behandelt:** Reversibel heißt, man kann den Vorgang auch umgekehrt ablaufen lassen, z.B. einen Ball von links nach rechts werfen – irreversibel: Man kann den Vorgang nicht umgekehrt ablaufen lassen, z.B. kann man eine Tasse in viele Teile zerlegen, wenn man sie fallen lässt, aber das umgekehrte kann man nicht machen )
- Wenn ich ein Kilogramm Kartoffeln von 20°C auf 40°C erhitze, brauche ich viermal so viel Energie, wie wenn ich ein halbes Kilogramm Kartoffeln von 10°C auf 20°C erhitze.
- Ein Wollpullover hält nur deshalb so gut warm, weil die Wollfäden selbst so dünn sind.

### **Lösungen:**

- Falsch. Man kann auch Wärme zuführen
- Richtig: Beim Verdunsten entweichen die schnellsten Teilchen aus der Flüssigkeit, so dass die mittlere kinetische Energie und somit die Temperatur in der Flüssigkeit abnimmt. Dadurch fühlt sich auch das Handtuch kälter an (Verdunstungskälte).
- Falsch: Ein Uhrpendel ist gerade ein gutes Beispiel für einen reversiblen Vorgang. Würde man sich einen Film von der Pendelbewegung anschauen, könnte man nicht feststellen ob dieser vorwärts oder rückwärts abläuft.)
- Richtig: Die zuzuführende Energie ist proportional zur Temperaturerhöhung und zur zu erwärmenden Masse.  
Die Masse von ½ kg wird um 20°C - 10°C = 10°C erwärmt.  
Die doppelte Masse von 1 kg wird um 40°C - 20°C = 20°C um den doppelten Temperaturunterschied erwärmt.  
Damit benötigt man für die Erwärmung der größeren Kartoffelportion die vierfache Energie.
- Falsch: Ein Wollpullover enthält viel Luft und hält warm, weil stehende Luft schlecht Wärme leitet.

### **(Aufgaben 7: Platzregen)**

An einem regnerischen Wochenende im Sommer 1998 fielen im Münchner Osten innerhalb kurzer Zeit so viel Regen, dass in allen Töpfen das Wasser 50 mm hoch stand.

- Wie viele Liter pro Quadratmeter waren dies?
- Die beregnete Fläche war ca. 30 km<sup>2</sup> groß, die Wolken befanden sich in einer Höhe von ca. 1,5 km. Wie viel Energie wurde bei diesem Platzregen insgesamt freigesetzt?  
Vergleiche: In welcher Zeit "produziert" das Kernkraftwerk Isar II (Leistung: 1300 MW) dieselbe Energie?
- Regentropfen erreichen Fallgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 10 m/s. Wie groß war ihre gesamte kinetische Energie?

**Lösungen:**

Zu a)  $V = A \cdot h = 50 \text{ l}$ , also regnete es  $50 \text{ l/m}^2$

Zu b)  $V = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ,  $m = \rho \cdot V = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 1,5 \cdot 10^9 \text{ kg}$

Potentielle Energie:  $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 1,5 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1,5 \text{ m} = 2,2 \cdot 10^{13} \text{ J}$

Betriebsdauer Kraftwerk: Aus  $E = P \cdot t$  folgt  $t = \frac{E}{P} = \frac{2,2 \cdot 10^{13} \text{ J}}{1,3 \cdot 10^9 \text{ W}} = 4,7 \text{ h}$

Zu c)  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 = 7,5 \cdot 10^{10} \text{ J}$

$$\frac{E_{\text{kin}}}{E_{\text{pot}}} = 0,3\%$$

Der Rest wird über Reibung zur Wärme. 99,7% der Lageenergie erwärmt die Luft.

Siehe [Leifi](#)

### **Aufgaben 8: Der Hammer von Wetten-Dass**

Bei der Sendung "Wetten Dass" brachte ein Schmied ein Stück Eisen. **Diese Aufgabe ist schwer! - nur was für Leute, die eine Eins haben wollen.**

[Masse des Hammers:  $m = 150 \text{ g}$ ; spezifische Wärme von Eisen:  $c = 0,46 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$ ] durch Hammerschläge ( $m_{\text{Ham}} = 1400 \text{ g}$ ) zum Glühen ( $T \approx 500 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Der Hammer prallte dabei jedes Mal mit einer Geschwindigkeit von  $30 \text{ m/s}$  auf das Eisenstück.

a) Wie oft musste der Schmied hämmern, um das Eisen zum Glühen zu bringen? Gehe davon aus, dass ca. 80% der Bewegungsenergie des Hammers in innere Energie des Eisenstückes umgewandelt werden.

b) Warum konnte sich der Schmied für diesen Vorgang nicht beliebig viel Zeit lassen?

**Lösungen:**

a) kin. Energie pro Hammerschlag:  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 = 630 \text{ J}$  80% davon sind  $E_2 = 500 \text{ J}$ .

Energie die zur Erwärmung des Eisens auf  $500^\circ\text{C}$  nötig ist.  $E_3 = c \cdot m \cdot \Delta T = 3,3 \cdot 10^4 \text{ J}$

Zahl der Hammerschläge:  $n = \frac{E_3}{E_2} = 66$

Er sollte schnell arbeiten, da sonst wieder viele Wärme an die Umgebung abgegeben wird.

### **Aufgaben 9: Duschen oder Baden**

Fast 10% der in einem mittleren Haushalt umgesetzten Energie geht in den Warmwasserverbrauch. Um Energie in diesem Bereich einzusparen, wird empfohlen anstelle eines Vollbades ein Duschbad zu nehmen.

a) Schätze den Energieumsatz bei einem deiner Duschbäder grob ab und vergleiche mit dem Energieumsatz bei einem Wannenbad (Wasservolumen in der Wanne ca.  $190 \text{ l}$ ).

Ersinne Dir ein Experiment, um den Wasserverbrauch beim Duschen abzuschätzen.

b) Welche Heizleistung muss der Duschboiler bei deinem Duschbad aufbringen?

Wie viele 75-W-Glühlampen könnte man mit einer elektrischen Leistung betreiben, die gleich der Heizleistung des Duschboilers ist?

c) Der Boiler habe einen Wirkungsgrad von 85%. Wie teuer kommt dein Duschbad, wenn man für 1kWh elektrischer Energie 0,18 € bezahlen muss?

**Lösungen:**

Zu a) Experiment: 5l-Eimer mit der Dusche füllen: Es dauert etwa 50s lang. Also fließen 6 l/min durch die Dusche.

Duscht man 6 min lang (Wasser an!), wo werden 36 l benötigt.

Wird das Wasser von 10° auf 40° erwärmt, so benötigt man die Energie  $E_1 = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,5 \cdot 10^6 J$

Eine Badewanne fasst etwa 200l. Man benötigt dazu rund  $200/36 = 5,5$  Mal so viel Energie.

Zu b) Heizleistung ist Energie pro Zeit also  $P = \frac{E}{t} = \frac{4,5 \cdot 10^6 J}{360s} = 13kW$ . Damit könnte man gut

170 Glühlampen betreiben.

Zu c) Der Wirkungsgrad ist  $\eta = \frac{E_{heiz}}{E_{Strom}}$  also ist

$$E_{Strom} = \frac{E_{heiz}}{0,85} = \frac{4,5 \cdot 10^6 J}{0,85} = 5,3 \cdot 10^6 J = 5,3 \cdot 10^6 \frac{kWh}{3,6 \cdot 10^6} = 1,5kWh . \text{ Damit kostet ein Duschbad}$$

etwa 30Ct.