„Energie quantitativ“
Script mit Beispielaufgaben

1 Wiederholung

1.1 Was ist Energie?

Energie ist der Antrieb allen Geschehens. Sie kann gespeichert sein und von einer Form in eine andere übertragen werden.

Meistens bekommt man von der Energie nur etwas mit, wenn sie übertragen oder umgewandelt wird, z.B. wenn aus einer Lampe Lichtenergie in unsere Augen fällt, wenn eine Heizung Wärmeenergie auf unsere Haut überträgt, wenn die Kochplatte Wärmeenergie auf das Essen überträgt oder wenn unsere Muskel Bewegungsenergie auf die Pedalen des Fahrrades übertragen, damit das Fahrrad fährt.

Man könnte sagen, dass alles, was überhaupt passiert, letztlich eine Übertragung von Energie von einem Punkt und einer Energieform zu einem anderen Punkt und evtl. einer anderen Form darstellt. Andersherum kann man immer, wenn etwas geschieht, angeben, welche Energieform auf welchem Weg in welche evtl. andere Energieform gewandelt wird.

Um also etwas „passieren zu lassen“, also Musik zu hören, zu telefonieren oder am PC zu chatten, sein Zimmer zu beleuchten, Fahrrad zu fahren, warm (aber auch kalt) zu duschen usw. verwenden die Menschen Energie. Deswegen ist die Suche nach neuen Energiequellen auch so wichtig, weil praktisch unsere ganze Gesellschaft / Kultur im Moment davon abhängt.

Wichtig: Energie ist nicht Kraft! Kraft heißt nur, dass irgendetwas irgendwoanders gegen drückt oder etwas in eine Richtung „gezogen“ wird. Eine Kraft aufzubringen, benötigt keine Energie, man kann sich zum Beispiel sehr bequem irgendwo gegen lehnen, schon übt man eine Kraft auf den Gegenstand aus, ohne Energie aufbringen zu müssen. Auch wenn man sich auf einen Stuhl (oder irgendwo anders) drauf setzt, übt man eine Kraft auf den Stuhl oder den Gegenstand aus, ohne dass das in irgendeiner Form anstrengend wäre, also Energie umgesetzt würde…

Energie braucht man erst, wenn die Kraft über einen bestimmten Weg ausgeübt wird., wenn also der Schrank, gegen den man sich lehnt, verrutscht und man ihn z.B. durch den ganzen Raum schieben muss. Dann wird’s anstrengend und daran merkt man, dass man Energie braucht, also „Energie umgesetzt wird“.

Man könnte auch sagen: Kraft bringt man beim Armdrücken auf, Energie setzt aber nur um, wer ausdauernd ist, also seine Kraft über eine bestimmte Strecke aufbringen kann (Man kann das auch in Bierzelten beobachten: Vom Armdrücken nimmt man offenbar nicht ab, vom Langstreckenlauf aber schon ;-)).

Trotzdem: Sehr viele Menschen sagen Kraft, wo sie (mechanische) Energie meinen. Man versteht das meistens, nur in der Physik muss man natürlich immer den richtigen Ausdruck verwenden!

1.2 Energiequellen

Die Energie, die wir verwenden und die alles Geschehen auf der Erde antreibt, stammt letztlich zum allergrößten Teil von der Sonne. Dort ist sie in Form von Kernenergie gespeichert und wandelt sich laufend in Licht und Wärmeenergie um. Diese Wärmeenergie strahlt die Sonne ab und ein ganz kleiner Teil trifft die Erde. Mit dieser Energie geschieht hier auf der Erde u.A. folgendes:

- Ein Teil der Lichtenergie, die die Erde trifft, wird von der Erdoberfläche reflektiert und sofort wieder abgestrahlt (und dadurch sehen wir was ☺).
- Wasser verdunstet, steigt auf, bildet Wolken und regnet wieder herunter. Dann fließt es durch unsere Flüsse bergab wieder ins Meer.
- Luft erwärmt sich, steigt auf und erzeugt dabei Wind.
- Der Boden erwärmt sich.

- Pflanzen bilden mithilfe der aufgenommenen Energie „Biomasse“, also z.B. Früchte, Stroh, Holz usw. Aus den vor Jahrmillionen gewachsenen Pflanzen ist im Laufe der Zeit Kohle und Erdöl geworden.
- (und noch viel mehr...)

Ein Teil der von der Sonne eingestrahlten Energie wird direkt umgewandelt und wieder abgestrahlt, ein Teil in eine andere Energieform umgewandelt und dann auf die eine oder andere Weise gespeichert. Diese Speicherformen werden z.T. vom Menschen genutzt, um die gespeicherte Energie für sich zu verwenden. Beispiele sind z.B. das Verbrennen von Holz und Öl zur Gewinnung von Wärmeenergie für den Haushalt oder die Nutzung des Windes zur Erzeugung elektrischer Energie.

1.3 Umwandlung von Energie

Energie lässt sich immer nur von einer Form in eine andere umwandeln. Vernichten oder erzeugen lässt sie sich nie! In manchen Fällen geht die Umwandlung sehr einfach oder von alleine, in anderen braucht man technische Geräte dafür.

Der einfachste Fall ist die Umwandlung von Lageenergie, z.B. einer Blumenvase, die auf dem Tisch steht, in kinetische Energie: Man stößt die Blumenvase einfach vom Tisch und schon nimmt sie auf ihrem Fall Geschwindigkeit auf und wandelt ihre Lageenergie in kinetische Energie um.

Sehr einfach ist auch die Umwandlung von kinetischer Energie, z.B. wenn man Fahrrad fährt, in Wärmeenergie: Man bremst einfach (oder springt ab), die Umwandlung in Wärmeenergie bemerkt man daran, dass die Bremsen (oder der Hintern...) warm werden (häufig nicht sehr stark, aber das ist egal).

Schwieriger ist schon die Umwandlung von elektrischer Energie in Bewegungsenergie: Man muss dafür einen Elektromotor bauen. Auch umgekehrt braucht man ein technisches Gerät: einen Generator („Dynamo“).

Sehr schwierig ist die Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie, z.B. in einem Kohlekraftwerk. Man erhitzt mit der Wärme Wasser, das kocht, wird zu Dampf, der strömt durch eine Turbine, die dreht sich, treibt einen Generator an und der erzeugt elektrische Energie. Dass dabei von der ursprünglich in der Kohle enthaltenen chemischen Energie nur ein kleiner Teil letztlich zu elektrischer Energie wird, kann man sich leicht vorstellen. Man nennt den Anteil (also z.B. 30%), der letztlich zu der gewünschten Energieform wird, den „Wirkungsgrad“ (siehe Kap. 2.2).

2 Rechnen mit Energie: Energie quantitativ

2.1 Messung der Energiemenge: Joule (J), Kalorien (cal)

Man misst Energie in der Einheit Joule (J).

Ein Joule ist recht wenig. Man kann mit einem Joule z.B. ein halbes Schnapsglas Wasser um 1/40 Grad Celsius wärmer machen oder man kann mit einem Joule selber 2 mm hochklettern... Deswegen verwendet man häufig auch kJ, also 1000 J (steht auf dem Snickers, weil so viel Energie drin ist ;-)) oder Megajoule (MJ), also 10^6 J. Eine noch größere Einheit für Energie ist die „Kilowattstunde“. Eine Kilowattstunde sind 3,6 MJ (bzw. $3{,}6 \cdot 10^6$ J oder 3.600.000 J). Bei Akkus wird häufig auch die Angabe „Wattstunde“ (Wh) verwendet. Eine Wh sind 3600 J.

Daneben ist bei Lebensmitteln die Einheit „Kalorie“ (cal) für Energie üblich. Eine Kalorie sind 4,17 J[*]. Eine Kalorie ist also auch recht wenig, und deswegen werden auch bei Kalorien meist „Kilokalorien“ (kcal) angegeben. Ein Riegel Snickers hat also ca. 300 kcal (= ca. 1250 kJ) Energie in sich. Und ein Mensch benötigt ungefähr 2000 Kilokalorien (also ca. 8300 kJ) Energie am Tag.

[*] Die eigenartige Zahl kommt daher, dass für eine Kalorie die Energiemenge genommen hat, die man benötigt, um 1 Gramm Wasser um ein °C zu erwärmen. Und das sind, wie Du in Kap. 4.3 lernst, genau 4,17 Joule.

Aber ACHTUNG: Viele Menschen sagen trotzdem Kalorien zu den Kilokalorien... Wenn man das nicht weiß und damit rechnet, verrechnet man sich um das 1000-fache!

2.2 Wirkungsgrad

In manchen Fällen wandelt sich die Energie von einer Form in die andere praktisch zu 100 % um, in manchen Fällen allerdings lässt sie sich nicht ganz vollständig in die gewünschte Form umwandeln, sondern nur z.B. zu 30% (der Rest wird praktisch immer zu Wärmeenergie). Das nennt man dann „Wirkungsgrad", Abkürzung η (griechisch: „eta"). Der Wirkungsgrad hat keine Einheit, man gibt ihn meistens in Prozent an. Es gilt also:

$$E_{Eingesetzt} \cdot \eta = E_{abgegeben}$$

Je höher der Wirkungsgrad ist, desto mehr von der eingesetzten Energie wird zur gewünschten Energie umgewandelt. Anders herum muss man logischerweise bei hohem Wirkungsgrad (also nahe 100 %) weniger Energie (z.B. in Form von Benzin) in den Motor stecken, um die gleiche Energiemenge herauszubekommen. Viele Ingenieure arbeiten daher z.B. daran, den Wirkungsgrad von Automotoren, Heizungen, Lampen usw. zu erhöhen. Beim oben erwähnten Kohlekraftwerk wird, wenn das Kraftwerk sehr modern ist, ca. 40 % der in der Kohle enthaltenen Energie zu elektrischer Energie. Der Rest wird leider Wärmeenergie. Weil die irgendwo bleiben muss, baut man Kraftwerke meistens an Flüssen. Dann kann man Wasser aus den Flüssen abzapfen, mit den 60 % „Abfallenergie" erwärmen und wieder in den Fluss einleiten. Im Sommer ist das allerdings schlecht, weil dann das Wasser der Flüsse zu warm würde und die Fische sterben würden. Deshalb baut man riesige „Kühltürme", die die „Abfallenergie" an die Luft abgeben. Manchmal verwendet man die Energie auch, um Wohnungen zu heizen, dann muss das Kraftwerk aber ganz nahe an einer Stadt stehen und das wollen wiederum auch viele nicht...

Ein Beispiel für verbesserten Wirkungsgrad sind LED Lampen. Ihr Wirkungsgrad ist ca. 5-mal so groß wie der von Glühlampen. Daher halten die Batterien in einer LED-Taschenlampe bei gleicher Helligkeit ca. 5-mal so lange wie in einer alten Taschenlampe, die noch eine Glühbirne enthält. Oder eine LED Lampe zu Hause benötigt nur 1/5 der elektrischen Energie wie eine gleich helle Glühlampe, spart also viel Strom!

Logisch ist natürlich auch, dass ein Wirkungsgrad nie über 100 % sein kann.[1]

Wirkungsgrade (ca. Werte):

Gerät	**E** $_{zugeführt}$	**E**$_{abgegeben}$	**η** (ca. Wert)	**Rest ist... / wo bleibt's?**
Glühlampe	Elektrisch	Licht	3 %	Wärme → Raum
LED-Lampe / Energiesparlampe	Elektrisch	Licht	15 %	Wärme → Raum
Kraftwerk zur Stromerzeugung	Chemisch	Elektrisch	40 %	Wärme → Fluss / Kühlturm
Elektromotor	Elektrisch	Mechanisch	80 %	Wärme → Luft
Automotor	Chemisch	Mechanisch	25 %	Wärme → Kühler→ Luft
Kaminofen	Chemisch	Wärme	80 %	im Kamin
Zentralheizung	Chemisch	Wärme	95 %	im Kamin

2.3 Übung zum Wirkungsgrad / Exkurs Prozentrechnung

Rechnen mit dem Wirkungsgrad ist eine Gelegenheit, die Prozentrechnung besser zu verstehen, daher hier zwei Beispiele:

Vorweg: 50 % ist nur ein anderer Ausdruck für die Zahl „0,5", 30 % also für die Zahl „0,3".

Eine Skizze mit „was rein geht" und „was raus kommt" sorgt dafür, dass man richtig herum rechnet. Die Formel ist dann leicht daraus erstellt:

[1] Bei manchen Heizkesseln wird allerdings „geschummelt". Dort stehen Wirkungsgrade von z.B. 108 %. Dabei wird aber die Rechnung auf den Heizwert bezogen und dennoch der höhere „Brennwert" (siehe Kapitel chemische Energie) ausgenutzt.

Bei einer Glühlampe mit 5 % Wirkungsgrad, die z.B. 300 J elektrische Energie benötigt hat, sieht das so aus:

„Was rein geht“	mal Wirkungsgrad	=	„Was raus kommt“
300 J Elektrische Energie	· 5% bzw. · 0,05		15 J Lichtenergie
E_{rein}	$\cdot\ \eta$	=	E_{raus}

Aufgabe:
Ein Elektromotor habe den Wirkungsgrad 50 %, also wird das 0,5-fache der hineingesteckten elektrischen Energie in Form von mechanischer Energie vom Motor abgegeben.

a) *Der Motor erhält 800 J elektrische Energie. Wie viel mechanische Energie kommt heraus?*
Lösung:

$$800\text{ J} \cdot 0{,}5 = 400\text{ J}$$

b) *Der Motor soll 700 J mechanische Energie abgeben. Wie viel elektrische Energie muss er dafür aufnehmen?*
Lösung:
Die unbekannte aufgenommene Energie nennen wir E_{auf}.
Dann übersetzen wir von „deutsch“ auf „mathematisch“:

Das 0,5	-fache	der aufgenommenen Energie	ist gleich	700 J
0,5	·	E_{auf}	=	700 J

Die Gleichung lautet also:

$$0{,}5 \cdot E_{auf} = 700$$

Teilen durch 0,5 ergibt dann:

$$E_{auf} = \frac{700}{0{,}5} = 1400$$

Der Motor muss also 1400 J Energie aufnehmen, um 700 J abzugeben.

2.4 Wozu das Ganze?

Mit Energie zu rechnen hat zwei wichtige Gründe:

1. Energie ist teuer, wird immer teurer und ihre Bereitstellung schädigt in vielen Fällen die Umwelt. Um zu wissen, wie viel Energie man für irgendeinen Vorgang (Heizen, Duschen, Autofahren etc.) benötigt, und um zu wissen, ob sich eine bestimmte Maßnahme zum Energiesparen lohnt, muss man ausrechnen können, wie viel Energie man dafür benötigt, bzw. wie viel Energie man sparen kann. In diesem Bereich rechnet man meistens mit Energiemengen von weit über 1000 J.
2. Viele Ergebnisse in der Physik lassen sich mit einer Rechnung über die Energie viel einfacher als auf andere Weise berechnen. Man verwendet dabei im Allgemeinen die Erkenntnis, dass Energie nicht verschwindet „Energieerhaltungssatz“. Wenn man also z.B. weiß, wie viel Bewegungsenergie in einem bewegten Gegenstand drinsteckt, kann man über die Formel für die Bewegungsenergie auch sehr leicht ausrechnen, wie schnell er ist. Das hilft in sehr vielen Fällen bei neuen Erkenntnissen der Physik. Da es

dabei häufig um kleine Gegenstände oder kleinste Teilchen geht, sind die Energiemengen hier häufig sehr klein, bis zu 10^{-20} J und z.T. noch darunter.

3 Geschwindigkeit des Energieumsatzes: „Leistung“

3.1 Bestimmen der Leistung: Watt (W), Kilowatt (kW) und PS

Energie kann schnell oder langsam von einer Form in die andere umgesetzt werden.

Bei einem „starken“ Wasserkocher z.B. wird die elektrische Energie sehr schnell in Wärmeenergie umgesetzt, das Wasser kocht dementsprechend schnell. Man sagt: Der Wasserkocher hat eine hohe Leistung (Abkürzung „P“ von „Power“). Die Leistung gibt also an, wie viel Joule Energie pro Sekunde umgesetzt werden. Andere Beispiele sind Lampen: Solche mit einer hohen Leistung setzen viele Joule elektrische Energie pro Sekunde in Lichtenergie um. Auch ein Ofen oder Kamin hat eine hohe oder niedrige Leistung: Ein großer starker Ofen kann viel Holz pro Sekunde (oder natürlich auch Minute oder Stunde...) verbrennen und damit entsprechend viel thermische Energie pro Sekunde produzieren. So ein Ofen hat eine hohe Leistung.

Leistung misst man dementsprechend logischerweise in Joule pro Sekunde $\frac{J}{s}$. Meistens sagt man aber kürzer statt „Joule pro Sekunde“ einfach „Watt“ bzw. schreibt „W“.

Setzt also eine Lampe in 10 Sekunden 200 Joule elektrische Energie um, so hat sie eine Leistung von $\frac{200J}{10s} = 20\frac{J}{s} = 20\,W$. Es gilt also:

$$\boxed{P = \frac{E}{t}}$$

Möchte man umgekehrt wissen, wie viel Energie ein Gerät, das eine bestimmte Leistung hat, über eine bestimmte Zeit hinweg umgesetzt hat, so rechnet man natürlich umgekehrt:

$$\boxed{E = P \cdot t}$$

Umgesetzte Energie = Leistung mal Zeit.

Und möchte man wissen, wie lange man ein Gerät mit einer bestimmten Energiemenge betreiben kann, so stellt man nach t um:

$$\boxed{t = \frac{E}{P}}$$

Setzt ein Gerät sehr viel Energie pro Sekunde um, also mehrere Tausend Joule pro Sekunde, gibt man logischerweise die Leistung nicht mehr von Watt, sondern in Kilowatt (kW) an.

Und noch eine Besonderheit am Schluss: Automotoren setzen auch sehr viel Energie pro Sekunde um, ein typischer Automotor gibt z.B. bei Vollgas pro Sekunde 80.000 J ab (und nimmt dafür ca. 300.000 auf). Seine abgegebene Leistung beträgt also 80 kJ/s also 80 kW. Aus historischen Gründen gibt man aber bei Automotoren die sekündlich abgegebene Energiemenge („Leistung“) nicht in Kilowatt, sondern in Pferdestärken (PS) an. Eine Pferdestärke ist ungefähr so viel wie ein normales Pferd dauerhaft leisten kann. Das sind 736 Watt, also 0,736 kW.

Es gilt also: $\boxed{\text{Leistung in PS} \cdot 0{,}736 = \text{Leistung in kW}}$

Beispiel 1: Welche Leistung in kW hat ein 80 PS Automotor?
Lösung: 80 · 0,736 = $\underline{\underline{58{,}88\text{ kW}}}$

Beispiel 2: Wie viel PS hat ein 50 kW Motor?
Lösung: x · 0,736 = 50 ➔ x = 50/0,736 = 67,93 → Motor leistet 67,93 kW

3.2 Einige typische Leistungswerte

Bei Elektrogeräten steht die aufgenommene Leistung immer irgendwo auf dem Gerät auf dem sog. „Typschild" aufgedruckt. Aber Achtung: Bei manchen Geräten ist das nur die maximal mögliche Leistung, die durchschnittliche Leistung ist häufig geringer[2].

Leistung von Elektrogeräten

Gerät	**Energieumsatz pro Sekunde / Leistung** (i.A. aufgenommen)
Smartphone, eingeschaltet	1 W
LED Lichterkette	1 W
Modernes Handyladegerät wenn's grad lädt	4 W
Mittlere Lampe (Energiesparlampe)	15 W
Laptop	15 W
Fernseher, durchschnittliche Größe	100 W
Normaler PC mit Bildschirm	150 W
Staubsauger	1 kW = 1000 W
Wasserkocher	1,8 kW = 1800 W
Backofen, solange er noch aufheizt	6 kW = 6000 W
Warmwasser-Durchlauferhitzer beim Duschen	21 kW = 21.000 W
Flutlicht im Weserstadion bei Werder	400 kW = 400.000 W
Windkraftwerk bei vollem Wind	3 MW = 3.000.000 W (abgegeben!)
Großes Kohlekraftwerk oder Atomkraftwerk	1 GW = 1.000.000.000 W (abgegeben!)

Andere Leistungen

Mensch im Sofa	100 W
Mensch beim Ausdauersport	160 W
Heizkörper im Zimmer, mittlere Größe	2 kW = 2000 W
Solaranlage auf einem Einfamilienhaus	4 kW = 4.000 W (abgegeben!)
Kaminofen im Wohnzimmer	5 kW = 5000 W (abgegeben!)
Starkes Pferd kurzfristig	10 kW = 10.000 W (abgegeben!)
Brenner der Zentralheizung im Einfam.haus	15 kW = 15.000 W (abgegeben!)
Mittlerer Automotor bei Vollgas	100 kW = 100.000 W (abgegeben!)

Beispiel 1: Vergleichbare Energiemengen zum Nachrechnen

- Eine Minute Facebook mit dem PC benötigt so viel Energie (60 s · 150 J/s = 9000 J) wie...
  - 15 Minuten mit dem Laptop (15 · 60 s · 10 J/s = 9000 J)
  - 150 Minuten, also 2 ½ Stunden mit dem Handy (150 · 60 s · 1 J/s = 9000 J).
  - 0,4 Sekunden Duschen (0,4 s · 21.000.000 J/s = 8400 J)

[2] Ein Kühlschrank z.B. schaltet sein Kühlaggregat immer nur für einige Minuten ein, das hört man ja auch deutlich. Nur wenn das Aggregat läuft, wird die angegebene Leistung benötigt, sonst gar keine.

- Vier Wintermonate lang jeden Abend 6 Stunden die LED Lichterkette brennen zu lassen benötigt so viel Energie ($120 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 60$ s $\cdot$ 1 J/s = 2.592.000 J) wie...
  - gut 2 Minuten Duschen (120 s $\cdot$ 21.000 J/s = 2.520.000 J)
  - gut 7 Minuten den Backofen einschalten ($7 \cdot 60$ s $\cdot$ 6.000 J/s = 2.520.000 J)
- Einmal Brötchen mit dem Backofen erhitzen (ca. 10 Minuten) benötigt so viel Energie (600 s $\cdot$ 6000 J/s = 3.600.000 J) wie...
  - 10 Stunden Fernsehen ($10 \cdot 60 \cdot 60$ s $\cdot$ 100 J/s = 3.600.000 J)
  - 100 Stunden, also gut 4 Tage Dauersurfen mit dem Laptop ($100 \cdot 60 \cdot 60$ s $\cdot$ 10 J/s = 3.600.000 J)
  - oder wie über 1 Monat Dauertelefonieren ;-) (selber nachrechnen)
- Eine halbe Stunde Duschen benötigt so viel Energie ($30 \cdot 60$ s $\cdot$ 21.000 J/s = 37.800.000 J) wie...
  - gut 1,5 Minuten Flutlicht im Weserstadion ($1{,}5 \cdot 60$ s $\cdot$ 400.000 J/s = 36.000.000 J)
  - 105 Stunden Fernsehen ($105 \cdot 60 \cdot 60$ s $\cdot$ 100 J/s = 37.800.000 J)
  - über 1000 Stunden bei Licht lesen ($1000 \cdot 60 \cdot 60$ s $\cdot$ 10 J/s = 36.000.000 J)
- 10 Minuten Vollgas auf der Autobahn benötigt so viel Energie ($10 \cdot 60$ s $\cdot$ 300.000 J/s = 180.000.000 J) wie...
  - Drei Wochen Dauerfernsehen (ab jetzt selber nachrechnen ;-))
  - Einen Tag lang im Winter sein Zimmer heizen
  - 5 Jahre ununterbrochen mit dem Handy dauer - facebooken
- Einmal mit Vollgas überholen (20 s) benötigt so viel Energie (20 s $\cdot$ 80.000 J/s = 1.600.000 J) wie...
  - knapp 4,5 Stunden Fernsehen
  - Zwei Tage ununterbrochen die Schreibtischlampe eingeschaltet lassen
- Ein 90 Minuten-Spiel mit Flutlicht im Weserstadion benötigt so viel Energie ($90 \cdot 60$ s $\cdot$ 400.000 J/s = 2.160.000.000 J) wie...
  - Zwei Tage im kalten Winter ein Einfamilienhaus zu heizen
  - wenn jeder Zuschauer (40.000 Zuschauer) anschließend 2,5 Sekunden (!) duscht
- Einen Tag lang im kalten Winter sein Zimmer heizen benötigt so viel Energie ($24 \cdot 60 \cdot 60$ s $\cdot$ 2000 J/s = 172.800.000 J) wie...
  - 480 Stunden Fernsehen
  - 4800 Stunden (200 Tage) ununterbrochen mit dem Laptop im Netz sein

Beispiel 2: Erhitzen von Wasser:

Wie heiß werden 500 ml Wasser, wenn man 3 Minuten lang einen Tauchsieder mit 1000 W Leistung hineinhält?

Ansatz: Die abgegebene elektrische Energie landet im Wasser, muss also gleich der aufgenommenen thermischen Energie des Wassers sein, es ist hier also:

$$E_{elektrisch} = E_{thermisch}$$

Für $E_{elektrisch}$ und $E_{thermisch}$ werden die Formeln eingesetzt
(Bei E_{therm} die Formel für die Erwärmung):

$$P \cdot t = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Da ja die Erwärmung berechnet werden soll, wird nach ΔT aufgelöst:

$$\Delta T = \frac{P \cdot t}{c \cdot m}$$

Mit den Zahlen aus der Aufgabe ergibt sich dann:

$$\Delta T = \frac{1000\,W \cdot 180\,s}{4170 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 0{,}5 kg} = \underline{\underline{86\ K}}$$

Das Wasser erwärmt sich also um 86 Kelvin, also auch um 86 °C.

Beispiel 3: Handystrahlung

Wie stark erwärmt sich Dein Gehirn, wenn Du 10 Minuten mit dem Handy telefonierst?

Annahmen: Das Handy sendet mit maximal 2 W. Die vom Handy abgegebene elektrische Energie landet zu ca. 25 % in Deinem Gehirn. Dein Gehirn wiegt ca. 1 kg und besteht überwiegend aus Wasser (das stimmt wirklich, nicht nur für Deins, sondern für alle Gehirne!). Die Hälfte der vom Gehirn in den 10 Minuten absorbierten Strahlungsenergie wird vom Blut wieder abgeleitet.

Ansatz: Der Teil (die 25 %) der vom Handy abgegebenen Strahlungsenergie, der vom Gehirn aufgenommen wird, landet dort als thermische Energie und erwärmt zu 50 % das Gehirn.

Die Rechnung unter Berücksichtigung des „Wirkungsgrads“ lautet also:

$$E_{elektrisch} \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}5 = E_{thermisch}$$

Für $E_{elektrisch}$ und $E_{thermisch}$ werden wieder die Formeln eingesetzt
(Bei E_{therm} die Formel für die Erwärmung):

$$P \cdot t \cdot 0{,}125 = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Da ja die Erwärmung berechnet werden soll, wird nach ΔT aufgelöst:

$$\Delta T = \frac{P \cdot t \cdot 0{,}125}{c \cdot m}$$

Mit den Zahlen aus der Aufgabe ergibt sich dann:

$$\Delta T = \frac{2\,W \cdot 600\,s \cdot 0{,}125}{4170 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1\,kg} \approx \underline{\underline{0{,}036\ K}}$$

Dein Gehirn erwärmt sich also beim zehnminütigen Plaudern durch die Handystrahlung um ungefähr 0,04 °C.

Beispiel 4: Holzbedarf eines Kaminofens

Wie viel Holz muss man an einem Abend (4 Stunden) in einen Kaminofen legen, wenn der Ofen eine Heizleistung von 5 kW hat und einen Wirkungsgrad η von 80 %?

Ansatz: Erst die in 4 Stunden vom Ofen abgegebene (thermische) Energiemenge berechnen:

$$E = P \cdot t = 5000\,W \cdot 14400\,s = 72\ MJ$$

Der Ofen gibt jedoch nur 80% der im Holz gespeicherten chemischen Energie ab, der Rest geht durch den Schornstein verloren. Die Energiemenge im Holz muss also höher sein:

$$E_{Holz} = \frac{E_{abgegeben}}{0{,}8} = \frac{72MJ}{0{,}8} = 90\ MJ$$

Nun muss noch die dafür benötigte Holzmenge bestimmt werden:
Brennholz enthält durchschnittlich 15 MJ pro Kilogramm (siehe Kap. 4.4)
Also rechnet man:

$$m_{Holz} = \frac{90\ MJ}{15\frac{MJ}{kg}} = \underline{\underline{6\ kg}}$$

Man muss also ca. 6 kg Holz an einem Abend in den Ofen legen.

3.3 Die „Kilowattstunde“ (kWh) und die „Wattstunde“ (Wh)

Wenn man eine große Menge Energie messen will, sind das sehr viele Joule. Logisch erscheint, dass man dann von „Megajoule“ oder „Gigajoule“ reden würde.

Im Alltag verwendet man aber eine andere Einheit, weil auch sie Vorteile hat: Die „Kilowattstunde“ (Niemals, nie, überhaupt gar nicht und auf keinen Fall: „Kilowatt pro Stunde“. Das ist absoluter Unsinn und zeigt, dass man nix verstanden hat!!!)

Das Prinzip ist folgendes: Wenn ein Gerät eine Leistung von 1 kW hat, setzt es folglich pro Sekunde 1000 J Energie um. Lässt man so ein Gerät nun eine Stunde (=3600 s) laufen, so hat es in dieser Stunde 1000 J/s · 3600 s = 3.600.000 Joule Energie umgesetzt. Eine Kilowattstunde ist also das selbe wie 3,6 MJ (Ein Kilowatt pro Stunde hingegen ist einfach nur Blödsinn...).

Beispiel: Ein Gerät mit 2 kW läuft 3 Stunden lang. Es gilt dann für den Energieumsatz::
E = P · t , also E = 2 kW · 3 h = 6 kW · h = <u>6 kWh</u>
Alternativrechnung mit Joule: 3 Stunden = 3 · 60 · 60s = 10.800 s. Benötigte Energie in Joule: 10.800 s · 2000 J/s = 21.600.000 J = <u>21,6 MJ</u>. (Rechnung ist deutlich umständlicher!)

Beispiel 2: Ein Gerät mit 50 W läuft 10 Stunden lang: Es gilt dann für den Energieumsatz::
E = P · t , also E = 50 W · 10 h = 500 W · h = 500 Wh = <u>0,5 kWh</u>
Alternativrechnung mit Joule: 10 Stunden = 10 · 60 · 60s = 36.000 s. Benötigte Energie in Joule: 36.000 s · 50 J/s = 1.800.000 J = <u>1,8 MJ</u>. (Rechnung ist auch umständlicher!)

Rechnen mit Kilowattstunden ist also in vielen Fällen, in denen leistungsstarke Verbraucher längere Zeit laufen, deutlich einfacher als Rechnen mit J, kJ oder MJ.

Rechnen mit Kilowattstunden

Auf jedem elektrischen Gerät steht auf dem „Typschild“, wie viel elektrische Energie es pro Sekunde „aus der Leitung zieht“, also seine „Leistung“. Bei einem Staubsauger sind das z.B. ca. 1000 W, also 1 kW. Nun muss man nur noch wissen, wie lange man den Staubsauger eingeschaltet hat. Ist das eine halbe Stunde, hat man logischerweise eine halbe Kilowattstunde elektrische Energie „verbraucht“. Was das Ganze kostet, ist dann auch schnell berechnet: Auf der Stromrechnung oder im Internet steht, wie viel eine Kilowattstunde elektrischer Energie bei dem „Stromlieferanten“, mit dem man einen Vertrag hat, kostet. Meistens sind das ca. 28 Cent. Damit hat die halbe Stunde Staubsaugen ca. 14 Cent gekostet.

Energie im Handyakku: Wattstunden

Bei kleineren elektrischen Energiemengen hat sich noch eine ähnliche Einheit für Energie durchgesetzt: Die „Wattstunde“. Das Prinzip ist natürlich das Selbe: Eine Wattstunde ist die Energiemenge, die umgesetzt wird, wenn ein Gerät mit einer Leistung von 1 Watt eine Stunde lang läuft. Für eine Wattstunde gilt also logischerweise:

$$\underline{\underline{1\ Wh}} = 1W \cdot 1\ h = 1\frac{J}{s} \cdot 3600\ s = \underline{\underline{3600\ J}}$$

Du findest eine Wattstunden (Wh)-Angabe häufig auf dem Akku von elektronischen Geräten wie Handy, Smartphone, Tablet oder Laptop. So kannst Du gut vergleichen, welcher Akku am meisten Energie enthält und mit dem Du folglich am längsten online sein kannst ;-)

Auch das Ausrechnen der Betriebszeit ist dadurch einfach:

Beispiel: Ein Notebook-Akku habe z.B. 60 Wh. Das Notebook benötigt z.B. 10 W. Wie lange kann es also aus dem Akku laufen?

Lösung: $$\frac{60\,Wh}{10W} = \underline{\underline{6\;h}}$$

Das Notebook kann man also ca. 6 Stunden aus diesem Akku betreiben.

3.4 Wärmeleitung / Energiebedarf von Gebäuden

Im Winter ist es draußen kalt und drinnen soll es warm sein. Das heißt, dass die Außenwand des Hauses, des Daches und der Fenster jeweils außen kalt und innen warm sind. Wie man weiß, leiten aber praktisch alle Materialien die Wärme, das heißt, dass immer, wenn es auf einer Seite warm ist und auf der anderen kalt, Wärmeleistung von der warmen zur kalten Seite fließt. Jede Sekunde fließt also eine bestimmte Menge thermischer Energie von der Innenseite des Hauses nach draußen. Damit es dann drinnen nicht kalt wird, muss man nachheizen und das kostet natürlich Geld und belastet die Umwelt. Wichtig ist also, zu wissen, wie viel Energie pro Sekunde nach draußen fließt und wie man das eventuell verringern kann.

Wie viel Energie pro Sekunde nach draußen fließt, hängt natürlich von ein paar Faktoren ab:

- Der Temperaturdifferenz zwischen drinnen und draußen, also letztlich, wie warm es drinnen und wie kalt es draußen ist,
- Wie groß die Wand ist, ist sie doppelt so groß, geht natürlich auch doppelt so viel Energie jede Sekunde nach draußen,
- Aus welchem Material und wie dick und wie gut isoliert die Wand ist.

Wie viel Joule pro Sekunde nach draußen fließen (also den Wärmedurchlass P in Watt), berechnet man also, indem man die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$ (in °C oder K, das ist bei Differenzen ja egal) mit der Größe der Wand A (in m^2) und der Wärmedurchlässigkeit der Wand u (in Watt pro qm und °C) multipliziert:

$$P = u \cdot A \cdot \Delta T$$

ΔT, deshalb kann Kelvin oder °C eingesetzt werden

Beispiel:
Wie viel Wärmeenergie fließt im Winter pro Sekunde durch die Außenwand eines Einfamilienhauses nach draußen und was kostet das pro Tag?

Annahmen: Außentemperatur: –10°C, Innentemperatur: +20°C, Fläche der Außenwand: ca. 200 m^2, Mittelgute Wand: u-Wert: $1\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Man rechnet also:

$$P = u \cdot A \cdot \Delta\vartheta = 1\frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 200m^2 \cdot 30\;K = 6000W$$

Pro Sekunde gehen also 6000 Joule Wärmeenergie nur durch die Wand nach draußen (Dach, Fenster und Kellerdecke nicht mitgerechnet).

Wie viel kostet das?
Lösung: Ein Tag hat 60 · 60 · 24 = 86.400 Sekunden. An einem Tag gehen also 6000 J/s · 86.400 s = 518.400.000 J, also ca. 520 MJ Energie durch die Wände nach draußen.

Ein Liter Öl enthält ca. 42 MJ, man benötigt also zum Warmhalten des Hauses ($\frac{520\;MJ}{42\;MJ/L} \approx 12\,L$ Öl. Bei einem Preis von ca. 90 Cent pro Liter sind das also 11 Euro.

<u>Aber Achtung:</u> Hier wurde völlig vernachlässigt, dass auch durch Dach, Fenster und Fußböden noch Energie nach außen fließt und dass die Heizung leider aus 1 J Energie, die im Öl steckt nur ca. 0,9 J Wärmeenergie erzeugt (siehe Wirkungsgrad, Kap. 2.2. So kann dann das Heizen eines Einfamilienhauses im Winter an einem kalten Tag schon mal 30 Euro kosten...

Was also tun, um Heizenergie zu sparen?
Wie die Rechnung zeigt, hängt die Energiemenge, die man zum Heizen benötigt, von drei Faktoren ab (den Tag kann man ja nicht kürzer machen ;-)): Der Temperaturdifferenz, der Fläche der Wand und dem „u-Wert". An jedem Faktor kann man etwas ändern, damit man letztlich weniger Energie zum Heizen benötigt:

- ΔT verringern: Nicht so warm heizen oder: Die Heizung immer runterdrehen, wenn man nicht da ist[3] (draußen wärmer machen geht ja leider nicht...)
- A verringern: In ein kleineres Haus ziehen (will man meistens nicht)
- u-Wert verringern: Die Wand isolieren (das Bequemste, kostet aber auch Geld...)

4 Die Speicherformen von Energie

4.1 Kinetische[4] Energie E_{kin}

Kinetische Energie besitzen alle bewegten Gegenständen. Je schneller sie sich bewegen, desto mehr (logisch...) und je schwerer der bewegte Gegenstand ist, desto mehr kinetische Energie enthält er ebenfalls (auch logisch...).

Das Besondere bei der kinetischen Energie ist aber, dass ein Gegenstand bei doppelter Geschwindigkeit nicht doppelt so viel kinetische Energie enthält, sondern vier Mal so viel, bei dreifacher Geschwindigkeit ist es neunmal so viel und bei vierfacher Geschwindigkeit sechzehn mal so viel. Die kinetische Energie wächst also mit dem Quadrat der Geschwindigkeit! Die Formel lautet:

$$E_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

(Das /2 ist nicht so einfach zu verstehen...)

Beispiel: Wie viel Energie benötigt man, um ein Fahrrad mit Fahrer (100 kg) auf eine Geschwindigkeit von 5 $^{m}/_{s}$ (= 18 $^{km}/_{h}$) zu beschleunigen? Wie viel benötigt man, um es auf 10 $^{m}/_{s}$ (= 36 $^{km}/_{h}$) zu beschleunigen?

Lösung:

Für 5 $^{m}/_{s}$ benötigt man: $$\underline{\underline{E_{kin}}} = \frac{m}{2} \cdot v^2 = \frac{100\,kg}{2} \cdot \left(5\frac{m}{s}\right)^2 = \underline{\underline{1250\,J}}$$

Für 10 $^{m}/_{s}$ benötigt man: $$\underline{\underline{E_{kin}}} = \frac{m}{2} \cdot v^2 = \frac{100\,kg}{2} \cdot \left(10\frac{m}{s}\right)^2 = \underline{\underline{5000\,J}}$$

Die selbe Energiemenge muss auch dem Fahrrad „entzogen" werden, wenn man es abbremst. Das übernehmen i.A. die Bremsen, die die Energie in Wärmeenergie umwandeln (und deshalb natürlich warm werden). Da bei doppelter Geschwindigkeit viermal so viel Energie im bewegten Gegenstand enthalten ist, müssen die Bremsen also die vierfache Energiemenge aufnehmen können, um das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen! Bei schnellen Autos oder dem ICE sind daher die Bremsen sehr groß und gut gekühlt.

4.2 Potenzielle[5] Energie E_{pot} / Lageenergie

In Kap. 1.1 wurde schon geklärt: Wenn man nur Kraft auf einen Gegenstand ausübt, benötigt man keinerlei Energie dafür (Sich irgendwo gegen lehnen ist nicht wirklich Training ;-)). Energie benötigt man erst, wenn man die Kraft über einen bestimmten Weg ausübt, z.B. beim Fahrrad schieben oder Schlitten ziehen. Die Menge Energie, die man dabei überträgt hängt

[3] Dass es mehr Energie kosten könnte, nachher wieder aufzuheizen, ist ein Märchen!
[4] Kinetisch von griechisch: „kinetikos": Bewegung, daher auch Kino, weil sich dort die Bilder bewegen
[5] Potenziell: „Möglich".

logischerweise ab von der Kraft die man ausübt und der Strecke, die man „schiebt“ oder „zieht“. Es gilt also:

$$E = F \cdot s$$

Weil das die Form von Energie ist, die die Menschen am längsten kennen (Pflug ziehen, Fass rollen, Mehlsack hinter sich her schleifen) und das echt anstrengend war, nennt man diese Form der Energie manchmal auch „Arbeit“ und spricht von „Arbeit verrichten“. Es bleibt aber Energie, nur der Begriff ist ein anderer.

Wenn nun ein Gegenstand <u>von alleine</u> eine Strecke s zurücklegen kann und dabei Kraft F aufbringt (z.B. eine gespannte Feder oder ein angehobener Sack Mehl), so kann er ja, wenn man ihn lässt (Feder flipschen lassen oder Sack runterfallen lassen) Energie freisetzen. Wo die dann bleibt, ist egal (hier in beiden Fällen erst mal Geschwindigkeit, dann nach dem unvermeidlichen Aufprall Wärme-E.).

Man sagt deshalb, ein Gegenstand, der das kann, also von alleine eine bestimmte Strecke zurücklegen und dabei Kraft aufbringen, enthält Potenzielle Energie. Potenzielle Energie enthält also z.B. eine gespannte Feder oder ein Gegenstand, der angehoben ist.

Die Menge der potenziellen Energie, die der Gegenstand enthält, ist dann das Produkt aus der aufgebrachten Kraft und der Strecke, die der Körper maximal zurücklegen kann.

$$E_{pot} = F \cdot s$$

Der häufigste Fall potenzieller Energie ist die Lageenergie: Jeder Gegenstand besitzt wegen seiner Masse ja eine Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$ (m: Masse; g: Ortsfaktor). Liegt der Gegenstand nicht auf dem Boden, sondern ist in einer gewissen Höhe h, so kann er diese Höhe h unter Einfluss seiner Gewichtskraft F_G herunterrutschen / fallen. Die Formel für potenzielle Energie bei Gegenständen in einer gewissen Höhe ist also:

$$E_{pot} = F \cdot s = (m \cdot g) \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

Im Fall von Lageenergie (die in angehobenen Gegenständen enthaltene Energie) gilt also:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Beispiel 1: Wie viel potenzielle Energie steckt in einem 2 kg schweren Gegenstand, der 4 m tief fallen kann?

Lösung:
Da es sich um potenzielle Energie im Fall der Lageenergie handelt, gilt die Formel:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Mit seiner Masse von 2 kg, dem Ortsfaktor g = 9,81 m/s^2 und der Höhe h von 4 m ergibt sich eine potenzielle Energie von 80 Joule.

Beispiel 2: Wie viel Energie benötigt man, um einen Hebel um 2 cm herunterzudrücken, bei dem man 0,1 N Kraft zum Drücken benötigt?

Lösung:
Da es sich um potenzielle Energie handelt, gilt die Formel:

$$E_{pot} = F \cdot s = 0{,}1\ N \cdot 0{,}02\ m = 0{,}002\ J = \underline{\underline{2\ mJ}}$$

Die benötigte Energie für das Herunterdrücken beträgt 2 mJ.

Beispiel 3 (Potenzielle Energie und Wirkungsgrad):

a.) *Wie viel Energie benötigt man (m = 50 kg), um auf den Kölner Dom (80 m) zu klettern?*
Lösung: Energie = Gewichtskraft m · g multipliziert mit der Strecke s
50 kg · 9,81 N/kg · 80 m ≈ 40.000 J = 40 kJ

b.) *Wie viel Gramm Snickers müsste man dafür essen ohne den Wirkungsgrad der Muskeln zu berücksichtigen?*

Lösung: Erst mal auf die Packung oder ins Internet schauen: 100 g Snickers enthalten 2110 kJ Energie, 1 g also 21 kJ (In der Klassenarbeit würde das natürlich dabei stehen, auswendig wissen sollte man nur, dass es verdammt viel ist…). Man würde also ca. 2 g Snickers zum Hochlaufen im Körper „verbrennen“, wenn die Muskeln η = 100 % hätten.

c.) *Wie viel Gramm wären es mit Berücksichtigung des Wirkungsgrads der Muskeln ($\eta \approx$ 25 %)? Wie oft muss man auf den Kölner Dom klettern, um einen Riegel Snickers wieder „abzuarbeiten“?*

Lösung: Die Muskeln erzeugen aus einem J chemischer Energie in der Nahrung nur 0,25 J mechanische Energie. Man benötigt also für die 40 kJ mechanischer Energie 4 mal so viel chemische Energie, also 160 kJ. Das Aufsteigen auf den Kölner Dom verbraucht also die Energie von 8 g Snickers. Um einen ganzen Riegel (ca. 60 g) durch Sport wieder auszugleichen, müsstest Du also ca. 7 Mal auf den Kölner Dom klettern.

d.) *Woran merkt man an seinem Körper, dass der Muskelwirkungsgrad nicht 100 % beträgt?*
Lösung: Die nicht in mechanische Energie umgewandelte Energie wird als Wärmeenergie frei. Deshalb wird einem warm, wenn man mit seinen Muskel Arbeit verrichtet.

Beispiel 4 (Potenzielle in kinetische Energie umwandeln): *Wie schnell triffst Du auf der Wasseroberfläche auf, wenn Du vom 10 m Turm springst (Der Luftwiderstand wird vernachlässigt)?*

Lösung:
Zwei Energieformen spielen hier eine Rolle: Die Lageenergie vorher (weil Du ja oben auf dem Turm bist) und die kinetische Energie nachher (weil Du unten ja mächtig schnell bist).

Da die potenzielle Energie vollständig in kinetische Energie umgewandelt wird, sind beide Energiemengen gleich: Die potenzielle Energie oben vor dem Sprung ist so groß wie die kinetische Energie unten kurz vor dem Auftreffen (Energieerhaltungssatz).

Der Rechenansatz ist also:

$$\underbrace{E_{pot}}_{\text{oben}} = \underbrace{E_{kin}}_{\text{unten, kurz vorm Auftreffen}}$$

Für die Energieformen gelten die Formeln:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h \qquad\qquad E_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

Damit folgt durch Einsetzen der Formeln:

$$\frac{m}{2} \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

Die Masse „kürzt sich raus“. Es ist also hier völlig egal, wie schwer Du bist! Ein schwerer Gegenstand fällt deshalb nicht schneller als ein leichter Gegenstand, (wenn der Luftwiderstand nicht zu groß ist).

Dann lautet die Formael:

$$\frac{1}{2} \cdot v^2 = g \cdot h$$

Da die Geschwindigkeit vor dem Auftreffen interessiert, wird nach v umgestellt:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Einsetzen der Werte aus der Aufgabenstellung liefert dann das Ergebnis:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10} \approx \underline{\underline{14 \frac{m}{s} \approx 50 \frac{km}{h}}}$$

(Umrechung m/s in km/h: 1 m/s = 3,6 km/h)

Du triffst also mit der Geschwindigkeit eines Autos in der Stadt auf: mit ca. 50 km/h!

Oder umgekehrt: Ob Du mit dem Roller mit 50 km/h irgendwo gegen fährst oder aus 10 m Höhe, d.h. vom Dach der Schule springst: Die Verletzungen sind die gleichen!!

Und die Energie wächst quadratisch mit der Geschwindigkeit: Fährst Du statt der 50 km/h nun 100 km/h, so ist die Energie die Vierfache!

4.3 Thermische[6] Energie (Wärmeenergie) E_{th}

Wärme stellt man sich als ein extrem kleines „Zittern“ der Atome des Materials vor, je wärmer, desto stärker „zittern“ die Atome, je kälter, desto weniger. Die Temperatur, bei der die Atome absolut stillstehen, nennt man den „absoluten Temperaturnullpunkt“. Er beträgt -273,16 °C. Kälter kann man keinen Gegenstand abkühlen.

Wärmeenergie enthält daher jeder Gegenstand, der wärmer als der absolute Temperaturnullpunkt ist. Die Menge Wärmeenergie, die er enthält, hängt davon ab, wie viel °C er wärmer ist als der absolute Nullpunkt. Man misst diese Temperatur über dem Nullpunkt in Kelvin (K)[7] und kürzt sie mit einem großen T ab (Die Temperatur in Celsius kürzt man zur Unterscheidung mit dem griechischen kleinen Theta (ϑ) ab). Bei $\vartheta = 20°C$ hat also ein Gegenstand eine absolute Temperatur von T = 293,16 K, bei $\vartheta = 100°C$ entspricht T = 373,16 K (Kelvin immer ohne Grad!).

Die Wärmeenergie, die ein Gegenstand enthält, hängt aber auch noch von seiner Masse m und seiner spezifischen Wärmekapazität c in Joule pro Kilogramm und Kelvin bzw. °C ab.

$$E_{th} = c \cdot m \cdot T$$

Wie viel Wärmeenergie ein Gegenstand absolut gesehen enthält, ist aber normalerweise uninteressant, weil man ihn ja nicht auf –273 °C abkühlen lassen kann. Wichtig ist also nur die Wärmeenergie, die man benötigt, um ihn von einer Temperatur auf eine andere zu erwärmen bzw. wie viel Wärmeenergie herauskommt, wenn man den Gegenstand von einer höheren auf eine niedrige Temperatur abkühlen lässt. Es kommt also nur auf den Temperaturunterschied an. Unterschiede bezeichnet man mit dem griechischen Buchstaben Δ („Delta“). Die Formel sieht dann so aus:

$$E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Beispiel 1: *Wie viel Energie benötigt man, um ein Glas (300 g) Bier von Kühlschranktemperatur (8°C) auf Raumtemperatur (20°C) zu erwärmen* $c_{Bier} \approx c_{Wasser} \approx 4170 \frac{J}{kg \cdot K} = 4170 \frac{J}{kg \cdot °C}$ *?*

Lösung: Da es sich um thermische Energie handelt, gilt die Formel:

$$E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

[6] Griechisch „Thermos“: warm
[7] Lord Kelvin, englischer Physiker

Mit den Angaben aus der Aufgabe ergibt sich:

$$E_{th} = 4170 \frac{J}{kg \cdot °C} \cdot 0{,}3\,kg \cdot 12°C = \underline{\underline{15012\text{ J}}}$$

Man benötigt also gut 15 kJ, um das Bier warm zu bekommen (ob man das will, ist eine andere Frage...).

Beispiel 2: *Wie viel Energie benötigt man ungefähr, um eine halbe Stunde zu duschen?(Pro Minute kommen ungefähr 11 Liter Wasser aus einer normalen Dusche.)*

Lösung:

Die benötigte Energie ist thermische Energie. Es gilt also die Formel:

$$E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

c ist die spezifische Wärmekapazität von Wasser [8], also $4170 \frac{J}{kg \cdot °C}$.

Also erst mal die benötigten Werte beschaffen: ΔT ist die Temperatur, um die das Wasser erwärmt werden muss. Kaltes Wasser kommt aus der Erde, hat also ca. 8°C. Damit Ihr nicht friert, muss das Duschwasser ca. 40 °C haben. ΔT ist also 40°C – 8°C = 32°C (Wenn ihr etwas andere Werte verwendet, ist das genauso richtig).

Der Wert für m, also die Masse des Wassers, muss kurz berechnet werden: Ihr duscht eine halbe Stunde lang. In 30 Minuten haben sich also $11\,{}^{L}/_{min} \cdot 30\,min = 330$ Liter Wasser über Euch ergossen. Ein Liter Wasser hat eine Masse von 1 kg, es sind also auch 330 kg Wasser auf Euch geflossen.

Damit ergibt sich für die benötigte Energie:

$$E_{th} = 4170 \frac{J}{kg \cdot °C} \cdot 330\,kg \cdot 32°C = 44.035.200\text{ J} \approx \underline{\underline{44\,MJ}}$$

Du (bzw. die Heizung Deiner Eltern) hast also ca. 44 MJ, also 44 Millionen Joule bzw. ca. 12 kWh Energie benötigt, um eine halbe Stunde warm zu duschen. Das kostet je nachdem, wie das Wasser bei Euch erwärmt wird, zwischen nichts (Solaranlage) und 3,50 € (Strom). Das Wasser selber kostet noch einmal 2-3 Euro.

Beispiel 3: *Wie stark muss ein Gerät sein (also seine Leistung), das das warme Wasser zum Duschen während des Duschens erwärmt („Durchlauferhitzer“)?*

Lösung:

Das Gerät muss pro Minute ca. 10 Liter Wasser von 8°C auf 40°C erwärmen, pro Sekunde also ca. 0,17 kg. Es benötigt also pro Sekunde

$$E_{th} = 4170 \frac{J}{kg \cdot °C} \cdot 0{,}17\,kg \cdot 32°C = 22684{,}8\text{ J} \approx 23\,kJ$$

Seine Leistung muss also ca. 23 kW betragen (also so viel wie 23.000 Handys gleichzeitig)

Beispiel 4 (Mischen verschieden warmer Flüssigkeiten):
Ist der Tee zu heiß und soll schnell kühler werden, kann man etwas kaltes Wasser dazugeben. Nur wie viel?

Wie heiß ist die Mischung von 300 ml Tee (Wasser) von 80 °C und 100 ml Wasser von 10 °C?

[8] ACHTUNG! Häufig ist in Büchern die Wärmekapazität in Joule pro *Gramm* und °C bzw. K angegeben. Der Wert ist dann nur 1/1000 des Kilogramm-Wertes, also z.B. bei Wasser 4,17 statt 4170!

Lösungsansatz: Die Wärmeenergie, die vorher in beiden Teilen (dem heißen Tee und dem kalten Wasser) zusammen enthalten ist, muss nachher in der Mischung sein. Also:

$$E_{th,Tee,vorher} + E_{th,Wasser,vorher} = E_{th,Mischung,nachher}$$

Mit den Formeln für thermische Energie ergibt sich dann:

$$c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot T_{Tee} + c_{Wasser} \cdot m_{Wasser} \cdot T_{Wasser} = c_{Mischung} \cdot m_{Mischung} \cdot T_{Mischung}$$

Diese Gleichung muss man jetzt nur noch nach $T_{Mischung}$ umstellen, dann müsste man wissen, wie warm die Mischung nachher ist:

(Kein Problem, einfach durch $c_{Mischung} \cdot m_{Mischung}$ teilen):

$$\frac{c_{Tee} \cdot m_{Tee} \cdot T_{Tee} + c_{Wasser} \cdot m_{Wasser} \cdot T_{Wasser}}{c_{Mischung} \cdot m_{Mischung}} = T_{Mischung}$$

Dummerweise sind in dieser Gleichung aber noch viel mehr Variablen drin, als wir kennen, sodass wir noch keinen Wert für $T_{Mischung}$ ausrechnen können.

Zwei Tatsachen helfen aber bei der Lösung:

1. Die Wärmekapazitäten von Tee und Wasser sind praktisch gleich, man kann also statt c_{Tee} bzw. c_{Wasser} einfach c schreiben und später 4170 $\frac{J}{kg \cdot K}$ dafür einsetzen.
2. Die Masse der Tee-Wasser-Mischung am Ende ist natürlich genau die Summe der Massen von Tee und Wasser am Anfang. Man kann also statt $m_{Mischung}$ auch schreiben $m_{Wasser} + m_{Tee}$

Die rechte Seite der Gleichung enthält dann nur noch die Massen und Temperaturen von Tee und Wasser vorher:

$$T_{Mischung} = \frac{c \cdot m_{Tee} \cdot T_{Tee} + c \cdot m_{Wasser} \cdot T_{Wasser}}{c \cdot \left(m_{Tee} + m_{Wasser}\right)}$$

Jetzt fällt noch auf, dass man c kürzen kann (im Zähler natürlich in beiden Summanden!!)

$$T_{Mischung} = \frac{m_{Tee} \cdot T_{Tee} + m_{Wasser} \cdot T_{Wasser}}{m_{Tee} + m_{Wasser}}$$

Damit ist auch klar, dass es gar nicht drauf ankommt, ob man zwei Anteile Wasser oder zwei Anteile Öl mischt, es kommt immer die gleiche Mischungstemperatur heraus. Nur gleich müssen die beiden Flüssigkeiten sein!

Mit ein wenig Rechnerei[9] kann man zeigen, dass man statt der absoluten Temperaturen in Kelvin auch die Temperaturen in °C einsetzen kann:

$$\vartheta_{Mischung} = \frac{m_{Tee} \cdot \vartheta_{Tee} + m_{Wasser} \cdot \vartheta_{Wasser}}{m_{Tee} + m_{Wasser}}$$

Jetzt noch die Werte einsetzen und wir sind fertig:

$$\vartheta_{Mischung} = \frac{300g \cdot 80°C + 100g \cdot 10°C}{400g} \approx \underline{\underline{62{,}5°C}}$$

[9] Rechenweg: T = (ϑ +273) setzen, dann ausmultiplizieren und kürzen.

P.S.: Natürlich sind Tee und Wasser nur ein Beispiel. Allgemein lautet die Formel:

$$T_{Mischung} = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2}$$

bzw. mit Celsius-Temperaturen:

$$\boxed{\vartheta_{Mischung} = \frac{m_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 + m_2}}$$

Beispiel 5 (Umwandlung von potenzieller in thermische Energie):

Wie stark erwärmt sich ein Knetgummiklumpen ($c_{Knetgummi} \approx 1500 \frac{J}{kg \cdot °C}$ *), der aus 10 m Höhe auf den Boden fällt? Nimm dabei an, dass die gesamte potenzielle Energie in Wärmeenergie im Knetgummi umgewandelt wird.*

Lösungsidee:

Zwei Energieformen spielen hier eine Rolle: Die Lageenergie vorher und die Wärmeenergie nachher. Für die Energieformen gelten die Formeln:

$$E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T \qquad\qquad E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Da die potenzielle Energie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt wird, muss hier wieder der Energieerhaltungssatz gelten:

$$E_{pot} = E_{th}$$

Daraus folgt:

$$c \cdot m \cdot \Delta T = m \cdot g \cdot h$$

Die Masse „kürzt" sich wieder raus (es ist also für die Erwärmung völlig egal, wie viel Knete man hinunterwirft, das was unten ist, erwärmt sich immer um die gleiche Temperatur!).

Damit ergibt sich:

$$c \cdot \Delta T = g \cdot h$$

Da man die Erwärmung berechnen soll, stellt man nach ΔT um:

$$\Delta T = \frac{g \cdot h}{c}$$

Einsetzen der Werte aus der Aufgabenstellung liefert dann das Ergebnis:

$$\Delta T = \frac{9{,}81 \cdot 10}{1500} = 0{,}0654\ K$$

Da es sich nur um eine Erwärmung handelt, kann man statt 0,0654 K auch 0,0654 °C sagen.

Der Knetgummiklumpen erwärmt sich also nur sehr wenig: um ca. 0,07 °C. Man müsste ihn also aus der 14-fachen Höhe, d.h. aus 140 m Höhe herunterwerfen, damit er sich um nur 1°C erwärmt.

4.4 Chemische Energie: Verbrennung von Gas, Holz und Öl / Benzin

Verbrennt man Holz, Gas oder Öl, entsteht thermische Energie (klar, die Flamme ist ja heiß...). Wie viel das ist, kann man nicht einfach berechnen, andere haben es gemessen und man kann es in Tabellen z.B. im Internet nachschauen. Wie viel thermische Energie beim

Verbrennen frei wird, nennt man „Heizwert“ H_u[10] und misst ihn in Megajoule pro Kilogramm bzw. in kWh pro Kilogramm.

Hier einige Beispiele:

Brennstoff	**Heizwert Hu [MJ /kg] (ca.-Werte)**	**Heizwert Hu [kWh /kg] (ca.-Werte)**
Holz	15	4
Steinkohle	30	8
Öl, Benzin	42	12

Man sieht schnell, dass Öl sehr viel Energie enthält (43 Millionen Joule pro Kilogramm!). Das ist der Grund, warum Öl für so viele Zwecke verwendet wird[11] und daher langsam knapp wird, aber auch nicht leicht durch einen anderen Energieträger ersetzt werden kann.

Beispiel 1:
Wie viel Energie wird frei, wenn man 4 kg Öl verbrennt?.

Lösung:

$$E_{chem} = 43\frac{MJ}{kg} \cdot 4\;kg = \underline{\underline{172\;MJ}}$$

(Eine Formel gibt’s hier nicht, weil das zu einfach ist...)

Man erhält 172 Millionen Joule Wärmeenergie, wenn man 4 kg Öl verbrennt.

Beispiel 2: (Umwandlung von chemischer Energie in Wärmeenergie, Wirkungsgrad):
Wie viel Öl benötigt man, um eine Badewanne voll Wasser (150 Liter) schön warm zu machen (von 8°C auf 40°C erwärmen)?

Zusatzaufgabe: Der Heizungsanlage zum Erwärmen des Wassers hat nur einen Wirkungsgrad von η = 80 %. Wie viel Öl benötigt man also in Wirklichkeit?

Lösung in zwei Schritten: Erst die benötigte Energie zum Erwärmen des Wassers berechnen, dann ausrechnen, wie viel Öl man dafür braucht.

1. Benötigte Energie zum Erwärmen des Wassers:

$$E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Mit Zahlen:

$$E_{th} = 4170\frac{J}{kg \cdot °C} \cdot 150\;kg \cdot 32°C = 20.016.000\;\mathrm{J} \approx \underline{\underline{20\;MJ}}$$

2. Benötigte Menge Öl zur Erzeugung dieser Energie:

$$\frac{20\mathrm{MJ}}{43\frac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}} \approx \underline{\underline{0{,}47\;kg}}$$

Man benötigt also im optimalen Falle (Wirkungsgrad der Heizung = 100%) 0,47 kg Öl, um das Wasser in der Badewanne auf 40 °C zur erwärmen.

---

[10] H_u steht für „unterer Heizwert“. Es gibt auch noch den „oberen Heizwert“ bzw. „Brennwert“. Dieser bezieht noch die Energie mit ein, die frei wird, wenn der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert. Dann wird dessen Verdampfungsenergie (siehe Kapitel 4.6) zusätzlich nutzbar. Der Brennwert ist daher etwas höher als der Heizwert.

[11] Jeden Tag werden auf der Erde ca. 14.000.000.000 Liter Öl verbraucht!

3. Zusatzaufgabe:

Da ja für den Wirkungsgrad η gilt:

$$E_{Eingesetzt} \cdot \eta = E_{abgegeben}$$

ergibt sich nach $E_{Eingesetzt}$ umgestellt:

$$E_{Eingesetzt} = \frac{E_{abgegeben}}{\eta}$$

Abgeben muss die Heizungsanlage 20 MJ. Einsetzen in Form von Öl muss sie also

$$20MJ : 0{,}8 = 25MJ$$

Und an Öl benötigt die Heizung dafür:

$$\frac{25\ \mathrm{MJ}}{42\frac{\mathrm{MJ}}{\mathrm{kg}}} \approx \underline{\underline{0{,}6\ kg}}$$

Realistisch benötigt man also 0,6 kg Öl (das ist knapp 1 Liter und kostet knapp 1 Euro), um die Badewanne schön warm zu bekommen (Erinnerung: Die halbe Stunde Duschen brauchte 450 Liter Wasser der gleichen Temperatur, da kostet alleine die Energie zum Erwärmen natürlich das Dreifache, also knapp 3 Euro! 5 Minuten Duschen kosten natürlich dann nur ca. 50 Cent...)

4.5 Schmelzen von Eis: Schmelzenergie

Bekannt ist: Um Material zu erwärmen, benötigt man Energie. Umso mehr, je stärker man es erwärmt.

Das gilt allerdings nur, solange das Material seinen „Aggregatzustand“ nicht ändert. Das heißt, solange es flüssig, fest oder gasförmig bleibt!

Ändert das Material allerdings seinen Aggregatzustand, d.h. schmilzt es beim Erwärmen, benötigt man dafür eine Extraportion Energie, die sog. „Schmelzenergie“ oder „Schmelzwärme“ q_S. Sie hängt vom Material ab, man braucht also z.B. sieben Mal so viel Energie, um ein Kilogramm Kupfer zu schmelzen (176 kJ) wie um ein Kilogramm Blei zu schmelzen (25 kJ). Bei Wasser benötigt man 335 kJ, also 335.000 J, um ein Kilogramm Eis zu schmelzen (Vergleicht mal: Das ist ganz schön viel im Vergleich zur Energie, die man braucht, um das Wasser um 1 K zu erwärmen!).

Die Formel für die Schmelzenergie ist daher auch sehr einfach:

$$E_{Schmelz} = q_S \cdot m$$

Wichtig: Diese Energiemenge ist nur die, die zum Schmelzen benötigt wird (also z.B. von 0°-C-Eis zu 0°C-Wasser)! Soll der Stoff noch zusätzlich erwärmt werden, benötigt man noch extra Energie!

Beispiel 1:

Wie viel Energie benötigt man, um 3 kg Eis von 0°C in Wasser von 0°C zu verwandeln, also das Eis zu schmelzen?

Lösung:

Es gilt:

$$E_{Schmelz} = q_S \cdot m$$

Mit den Werten aus der Aufgabe ergibt sich:

$$E_{Schmelz} = 335\frac{kJ}{kg} \cdot 3\,kg = 1005\,kJ \approx \underline{\underline{1\,MJ}}$$

Man benötigt also ca. 1 MJ (=1 Million Joule), um 3 kg Eis zu schmelzen.

Beispiel 2 (Erwärmen und Schmelzen in einer Rechnung):

Wie viel Energie benötigt man, um aus 2 kg Eis mit einer Temperatur von –10°C warmes Wasser mit einer Temperatur von 50°C zu machen?

Lösung:
Drei Abschnitte müssen unterschieden werden:

1. Erwärmen des Eises von –10°C auf 0°C:

   (ACHTUNG: Eis hat nur knapp die halbe spezifische Wärmekapazität wie Wasser: $c_{Eis} = 2060\frac{J}{kg \cdot K}$)

$$E_{Eis\,erwärmen} = c_{Eis} \cdot m \cdot \Delta T$$

2. Schmelzen des Eises zu Wasser:

$$E_{Schmelz} = q_S \cdot m$$

3. Erwärmen des Wassers von 0°C auf 50°C:

$$E_{Wasser\,erwärmen} = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T$$

Die Energie, die man insgesamt benötigt, ist natürlich die Summe von allen Energien zusammen:

$$E_{Gesamt} = E_{Eis\,erwärmen} + E_{Eis\,schmelzen} + E_{Wasser\,erwärmen}$$

Mit den Formeln für die jeweiligen Energien wird daraus:

$$E_{Gesamt} = c_{Eis} \cdot m \cdot \Delta T_{Eis} + q_S \cdot m + c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T_{Wasser}$$

Achtung: Kilojoule!

Die Werte aus der Aufgabe eingesetzt ergeben dann:

$$E_{Gesamt} = \left(2060\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 2kg \cdot 10K + 335\frac{kJ}{kg} \cdot 2kg + 4170\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 2kg \cdot 50k\right)$$

$$= 1.128.200\text{J} \approx \underline{\underline{1{,}1\,\text{MJ}}}$$

Einfacher rechnet es sich, wenn man m vorher ausklammert:

$$E_{Gesamt} = m \cdot \left(c_{Eis} \cdot \Delta T_{Eis} + q_S + c_{Wasser} \cdot \Delta T_{Wasser}\right)$$

Mit den Werten aus der Aufgabe ergibt sich dann:

$$E_{Gesamt} = 2kg \cdot \left(2060\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 10K + 335\frac{kJ}{kg} + 4170\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 50k\right) \approx \underline{\underline{1{,}1\,\text{MJ}}}$$

Man benötigt also 1,1 MJ, (= 1.100.000 J) um 2 kg –10°C kaltes Eis zu 50°C warmem Wasser zu erwärmen.

Beispiel 3:

Einer Erwärmung des Wassers um wie viel °C entspricht die Energie, die man zum Schmelzen des Eises benötigt ?

Lösung:
Zum Schmelzen benötigt man die Energiemenge:

$$E_{Schmelz} = q_{schmelz} \cdot m$$

Zum Erwärmen des Wassers benötigt man:

$$E_{Wasser\,erwärmen} = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T$$

Die Energien sollen laut Aufgabe gleich sein, also gilt:

$$E_{Schmelz} = E_{Wasser\,erwärmen}$$

und damit

$$q_{Eis-Wasser} \cdot m = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T$$

Die Masse m lässt sich streichen:

$$q_{Eis-Wasser} = c_{Wasser} \cdot \Delta T$$

Da nach der Temperatur(erhöhung) geftragt ist, stellt man nach ΔT um und erhält:

$$\Delta T = \frac{q_{Eis-Wasser}}{c_{Wasser}}$$

Und in Zahlenwerten:

$$\Delta T = \frac{335000 \frac{J}{kg}}{4170 \frac{J}{kg \cdot °C}} = 80{,}32\ °C \approx \underline{\underline{80\ °C}}$$

Um Eis zu schmelzen, benötigt man also genauso viel Energie, wie um Wasser von 0 °C auf 80°C zur erwärmen!

4.6 Verdampfen von Wasser: Verdampfungsenergie

So wie man zum Schmelzen von Eis zu Wasser Energie benötigt, so benötigt man auch Energie, um einen Stoff zu verdampfen.

Der im Alltag sicher häufigste Fall ist das Verdampfen von Wasser, also Wasser von 100°C in Wasserdampf von 100°C zu verwandeln.

Die Erklärung dafür, dass man zum Verdampfen Energie benötigt, ist, dass die Wassermoleküle von ihren benachbarten Wassermolekülen im flüssigen Wasser „losgerissen" werden müssen, damit sie in Form von Dampf einzeln aufsteigen können.

Die Tatsache, dass das Verdampfen von Wasser Energie benötigt, kann man auch sehr einfach spüren: Hat man z.B. nasse Haare oder Haut und geht in den Wind, so bringt man durch den Wind das Wasser besonders schnell zum Verdampfen. Und dafür braucht es Energie. Die holt es sich aus der Wärmeenergie der Haut: Es wird kalt!

Die Rechnung für die Verdampfungsenergie ist die gleiche wie bei der Schmelzwärme: Man benötigt eine bestimmte Menge Energie, um ein Kilogramm Wasser zu verdampfen. (Achtung noch einmal: Es geht hierbei nicht ums Erwärmen, sondern nur um das Umwandeln von 100°C Wasser in 100°C Dampf!).

Die Energiemenge, die man für das Verdampfen von 1 kg Material benötigt, heißt „spezifische Verdampfungsenergie“ [12], Abkürzung q_V.

Für Wasser beträgt die spezifische Verdampfungsenergie ca. 2260 $\frac{kJ}{kg}$ (Zum Verdampfen von 1 kg Wasser benötigt man also fast sieben Mal so viel Energie wie zum Schmelzen der selben Menge Eis).

Die Rechnung lautet also:

$$E_{Verdampf} = q_V \cdot m$$

Beispiel 1:

Wie viel Energie benötigt man, um 3 kg Wasser von 100°C in Dampf von 100°C zu verwandeln, also das Wasser zu verdampfen?

Lösung:

Es gilt:

$$E_{Verdampf} = q_V \cdot m$$

Mit den Werten aus der Aufgabe ergibt sich:

$$E_{Schmelz} = 2260 \frac{kJ}{kg} \cdot 3\ kg = 6.780.000\ J \approx \underline{\underline{6{,}8\ MJ}}$$

Man benötigt also ca. 6,8 MJ (fast 7 Millionen Joule), um 3 kg Wasser zu verdampfen.

Beispiel 2 (Erwärmen und Verdampfen in einer Rechnung):

Wie viel Energie benötigt man, um 2 kg Wasser von 10°C zu verdampfen („verkochen“)?

Lösung:
Zwei Abschnitte müssen unterschieden werden:

1. Erwärmen des Wassers von 10°C auf 100°C:

$$E_{Wasser\ erwärmen} = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T$$

2. Verdampfen des Wassers:

$$E_{Verdampf} = q_V \cdot m$$

Die Energie, die man insgesamt benötigt, ist natürlich die Summe von allen Energien zusammen:

$$E_{Gesamt} = E_{Wasser\ erwärmen} + E_{Wasser\ verdampfen}$$

Mit den Formeln für die jeweiligen Energien wird daraus:

$$E_{Gesamt} = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T_{Wasser} + q_V \cdot m$$

Die Werte aus der Aufgabe eingesetzt ergeben dann:

Achtung: Kilojoule!

$$E_{Gesamt} = \left(4170 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 2kg \cdot 90K + 2260 \frac{kJ}{kg} \cdot 2kg \right)$$

$$= 5.270.600\,\mathrm{J} \approx \underline{\underline{5{,}3\,\mathrm{MJ}}}$$

[12] Manche sagen dazu auch „spezifische Verdampfungswärme“

Einfacher rechnet es sich, wenn man m vorher ausklammert:

$$E_{Gesamt} = m \cdot \left(c_{Wasser} \cdot \Delta T_{Wasser} + q_V\right)$$

Mit den Werten aus der Aufgabe ergibt sich dann:

$$E_{Gesamt} = 2kg \cdot \left(4170\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 90K + 2260\frac{kJ}{kg}\right) \approx \underline{\underline{5{,}3\,\mathrm{MJ}}}$$

Man benötigt also ca. 5,3 MJ (= 5.300.000 J), um 2 kg 10°C warmes Wasser auf 100°C zu erhitzen und zu verdampfen.

Beispiel 3:

Einer Erwärmung des Wassers um wie viel °C entspricht die Energie, die man zum Verdampfen des Wassers benötigt ?

Lösung:
Zum Verdampfen benötigt man die Energiemenge:

$$E_{Verdampf} = q_V \cdot m$$

Zum Erwärmen des Wassers benötigt man:

$$E_{Wasser\,erwärmen} = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T$$

Die Energien sollen laut Aufgabe gleich sein, also gilt:

$$E_{Verdampf} = E_{Wasser\,erwärmen}$$

und damit

$$q_V \cdot m = c_{Wasser} \cdot m \cdot \Delta T$$

Die Masse m lässt sich streichen:

$$q_V = c_{Wasser} \cdot \Delta T$$

Da nach der Temperatur(erhöhung) geftragt ist, stellt man nach ΔT um und erhält:

$$\Delta T = \frac{q_V}{c_{Wasser}}$$

Und in Zahlenwerten:

$$\Delta T = \frac{2260000\frac{J}{kg}}{4170\frac{J}{kg \cdot °C}} \approx \underline{\underline{542\ K}}$$

Um Wasser zu verdampfen, benötigt man also genauso viel Energie, wie um Wasser von 0 °C theoretisch auf über 500°C zur erwärmen. Anders gesagt, weil das ja unter normalen Umständen[13] nicht geht: Die Energie, die man benötigt, um 1 kg Wasser zu verdampfen ist mehr als fünfmal so groß wie die Energie, die man benötigt, um es von 10°C (also aus der Leitung) auf 100°C (also zum Sieden) zu bringen.

[13] Setzt man das Wasser unter hohen Druck, kann man es viel höher erhitzen, es kocht erst bei viel höheren Temperaturen. Das ist zum Beispiel im „Schnellkochtopf" so und auch in vielen Kohle und Kernkraftwerken (→ „Druckwasserreaktor").

4.7 Versuch: Bestimmen der Verdampfungsenergie von Wasser

Ein isoliertes Gefäß wird mit kaltem Wasser gefüllt (nicht zu viel, nur so, dass die Heizspirale des Tauchsieders 2-3 cm unter Wasser ist) und gewogen. Anschließend hält man einen Tauchsieder hinein, der das Wasser erwärmt. Bei gutem Rühren nimmt man alle 30 Sekunden die Temperatur auf. Wenn das Wasser kocht, beendet man den Versuch nicht, sondern lässt es noch einige Minuten weiterkochen (Achtung: Falls so viel Wasser verdampft, dass die Heizwendel nicht mehr von Wasser bedeckt ist, sofort Stecker rausziehen) (Achtung 2: Wenn beim Kochen Wasser rausspritzt, ist der Versuch sinnlos geworden, abbrechen und neu anfangen...) Anschließend den Tauchsieder wieder herausnehmen und Gefäß mit verbliebenem Wasser wiegen. Aus dem mittleren Temperaturanstieg pro Sekunde bevor das Wasser kocht lässt sich die Leistung des Tauchsieders ausrechnen (das kannst Du mit einigem Überlegen!). Aus der verdampften Wassermenge und der Leistung des Tauchsieders lässt sich die Energiemenge pro verdampftem Gramm Wasser, also q_v berechnen (auch das kannst Du, wenn Du das Kapitel verstanden hast!).

5 Kosten der Energienutzung

5.1 Kosten der Energieträger Öl, Gas, Holz und Elektrizität

Da ein Joule recht wenig ist, berechnet man den Preis für Energie normalerweise in Euro pro Kilowattstunde (siehe Kap. 3.3)

Je nach Energieträger kostet Energie zurzeit (2012) ungefähr so viel:

Energieträger	ungefährer Preis
Holz	3 Cent / kWh (bei 60 € /Raummeter)
Heizöl, Erdgas	7 Cent / kWh
Benzin	20 Cent / kWh (bei 1,60 € / Liter)
Elektrische Energie aus der Leitung	28 Cent / kWh
Elektrische Energie aus Batterien	ca. 200 € / kWh (bei 80 Cent pro AA Batterie)

5.2 Beispiele

Beispiel 1: Duschen

Wie viel kostet es im Monat, wenn man jeden Tag eine halbe Stunde duscht?

In Kap. 4.3 wurde berechnet, das man ca. 60 MJ Energie benötigt, um das Wasser für eine halbe Stunde Duschen zu erwärmen. Im Monat sind das also 60 MJ · 30 = 1800 MJ.

Um die Kosten zu bestimmen, muss man erst mal ausrechnen, wie viele kWh die 1800 MJ sind (Erinnerung: Eine kWh sind 3,6 MJ):

1800 / 3,6 ≈ 500 kWh benötigt man also für die Duscherei.

Jetzt kommt's drauf an, womit man sein Duschwasser erwärmt:

- Elektrisch: $500\,kWh \cdot 28\,\frac{Cent}{kWh} = \underline{\underline{140\,Euro}}$ kostet monatlich die Energie für täglich ½ h Duschen, wenn man das Wasser elektrisch erwärmt.
- Mit Öl oder Gas: $500\,kWh \cdot 11\,\frac{Cent}{kWh} = \underline{\underline{55\,Euro}}$ kostet die Energie für ½ h Duschen, wenn man das Wasser mit Gas oder Öl erwärmt.
- Mit Sonnenkollektoren: Nix ☺ (zumindest die Energie).

Beispiel 2: Mit dem PC im Netz surfen

Wie viel kostet es im Monat, den PC immer den ganzen Tag laufen zu lassen?

Lösung: Ein Monat hat ca. 30 Tage zu je 24 Stunden, der PC hat 150 W (siehe Kap. 3.2).

Benötigte Energie in kWh: 30 · 24 h · 150 W = 108.000 Wh = 108 kWh

Kosten dafür: 108 kWh · 0,28 €/kWh = 30,24 €

Es kostet ca. 30 Euro im Monat, wenn man den PC nicht ausschaltet, sondern laufen lässt.

Beispiel 3: Handy aufladen

Wie viel kostet es im Monat, jede Nacht das Smartphone aufzuladen?

Lösung: (Das Ladegerät hat 1 W, siehe Kap. 3.2)

Benötigte Energie in kWh: 30 · 8 h · 1 W = 240 Wh = 0, 24 kWh

Kosten dafür: 0,24 kWh · 0,28 €/kWh = 0,07 € = 7 cent

Es kostet ca. 7 Cent im Monat, das Smartphone jede Nacht aufzuladen.

Beispiel 4: Haus heizen

Wie viel kostet es in einem harten Winter, das Haus mit einer Öl oder Gasheizung einen Monat zu heizen, wenn die Heizung ca. 5 kW benötigt, um das Haus warm zu halten?

Lösung:

Benötigte Energie in kWh: 30 · 24 h · 5 kW = 3.600 kWh

Kosten dafür: 3.600 kWh · 0,11 €/kWh = 396 €

Es kostet in einem harten Winter ca. 400 Euro im Monat, das Haus warm zu halten. Glücklicherweise benötigt man im Sommer gar keine Energie dafür, sodass dann auch keine Kosten anfallen.

Beispiel 5: Essen kochen

Wie viel kostet es im Monat, jeden Tag auf zwei Platten ein Essen zu kochen (Eine Kochplatte hat ca. 1500 W, das Essen koche ½ Stunde)?

Lösung:

Benötigte Energie in kWh: 30 · 0,5 h · 1500 W · 2 = 45.000 Wh = 45 kWh

Kosten dafür: 45 kWh · 0,28 €/kWh = 12,60 €

Es kostet ca. 13 Euro im Monat, jeden Tag auf zwei Platten ein Essen zu kochen.

Beispiel 6: Fernsehen

Wie viel kostet es im Monat, jeden Tag 6 Stunden den Fernseher laufen zu lassen?

Lösung (Der Fernseher hat 100 W, siehe Kap. 3.2):

Benötigte Energie in kWh: 30 · 6 h · 100 W = 18000 Wh = 18 kWh

Kosten dafür: 18 kWh · 0,28 €/kWh = 5,04 €

Es kostet ca. 5 Euro im Monat, jeden Tag sechs Stunden den Fernseher laufen zu lassen.

Schlussfolgerung: Die höchsten Kosten für Energie im Haushalt entstehen beim Heizen und beim Wasser erwärmen.

6 Umweltfolgen der Nutzung von Energie / CO_2-Ausstoß / Klimaproblematik / Problematik der Nutzung von Kernenergie („Atomkraft“)

6.1 Kohlenstoffkreislauf

Verbinden sich die chemischen Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff miteinander zu Kohlendoxid (CO_2), so wird Energie frei (einfachstes Beispiel: Ein Stück Kohle anzünden: Es wird warm, also wird offenbar thermische Energie freigesetzt).

Pflanzen sind (günstigerweise) in der Lage, die Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff wieder aufzubrechen. Sie nehmen CO_2 aus der Luft auf und erzeugen daraus wieder Sauerstoff, den sie einfach abgeben (deswegen ist im Wald so gute Luft) und Kohlenstoff, daraus produzieren sie Holz, Blätter, Blüten usw. Für das Auftrennen benötigen sie logischerweise Energie, die holen sie mit ihren Blättern aus der Sonne („Photosynthese“).

Wenn man jetzt einen Baum fällt und dessen Stamm (besteht überwiegend aus Kohlenstoff) anzündet, verbindet sich der Kohlenstoff wieder mit dem Sauerstoff aus der Luft und es wird die Energie, die die Pflanze vorher aus der Sonne aufgenommen hat, wieder frei (jedenfalls ein Teil davon).

Solange die Menschen also nur Holz und Pflanzenteile („nachwachsende Rohstoffe“) verbrennen, existiert ein idealer Kreislauf, der prinzipiell ewig so weitergehen kann.

6.2 Verbrauch fossiler Energieträger

Da die Menschen aber immer mehr wurden, benötigten sie immer mehr Holz zum Heizen. Außerdem machten sie immer neue Erfindungen, für die man (Wärme-)Energie benötigte (Herstellung von Glas, Herstellung von Eisen, Dampfmaschine zum Antrieb von Webstühlen für die Herstellung von Kleidung usw.). Daher benötigten sie immer mehr Holz und irgendwann waren die meisten Wälder abgeholzt (Auf dem ganzen Harz z.B. standen eine Zeitlang praktisch keine Bäume mehr!).

Die Menschen entdeckten aber, dass es „eine Art Stein“ gibt, der brennt und dabei sehr viel Wärmeenergie abgibt, die Kohle. Kohle besteht aus den Resten von Pflanzen und Kleintieren, die vor Jahrmillionen gewachsen sind. Damit besteht Kohle chemisch überwiegend aus Kohlenstoff (welch’ Überraschung bei dem Namen…)

Als Ersatz für das knappe Holz war Kohle ideal und so begann man, die Kohle in Kohlebergwerken in riesigen Mengen aus der Erde zu holen und zu verbrennen, um Wärmeenergie zu erzeugen. Mit Hilfe der Wärmeenergie konnte man dann alles machen, was die vielen Menschen zum Leben benötigten: Wohnungen heizen, Glas, Eisen und andere Metalle herstellen und später auch elektrische Energie herstellen um die Wohnungen und Straßen zu beleuchten oder elektronische Geräte zu betreiben.

Uns so macht man es im Prinzip bis heute: Kohle wird aus der Erde geholt (heute vor Allem in China und Südafrika) und verbrannt, um zunächst thermische Energie zu erzeugen und diese zum Teil auch in elektrische Energie umzuwandeln (in Kraftwerken). Über die Hälfte der elektrischen Energie, die bei uns aus den Steckdosen kommt, wird noch heute durch die Verbrennung von Kohle erzeugt.

Später wurden die Menschen dann zusätzlich auf das Erdöl, ebenfalls Reste urzeitlicher Pflanzen und Kleintiere, aufmerksam, das vor allem in den arabischen Ländern zum Teil von alleine aus der Erde spritze oder das man recht leicht mit einer Bohrung aus dem Boden leiten konnte. Es ungefähr genauso viel chemische Energie wie Kohle, ist aber nicht so dreckig und staubig, lässt sich dazu leichter transportieren und umfüllen und am wichtigsten: Man kann damit die ca. um das Jahr 1900 erfunden Benzin- und Dieselmotoren betreiben, und damit Auto und LKW fahren.

Letztlich fingen die Menschen auch an, das Erdgas, was meistens zusammen mit Erdöl im Boden ist und ebenfalls aus Pflanzen und Kleintieren entstanden ist, in Leitungen zu führen und ebenfalls zu verbrennen, um u.A. Häuser zu heizen und elektrische Energie zu erzeugen.

So wurden die „fossilen Energieträger“[14] Erdöl, Gas und Kohle die wichtigsten Energielieferanten des „industriellen Zeitalters“, also unserer heutigen Zeit.

6.3 Probleme der Nutzung fossiler Energieträger

Zwei Probleme tauchen bei der Nutzung fossiler Energieträger auf:

1) Die fossilen Energieträger sind irgendwann alle. Öl und Gas reichen noch einige Jahrzehnte, Kohle noch einige Hundert Jahre. Danach ist für die nächsten hundert Millionen Jahre Schluss, die Neubildung von Kohle, Öl und Gas dauert nun mal so lange. Möchte man, dass die Menschheit so weiterleben kann wie jetzt, also in warmen Häusern mit genug zu essen, elektrischem Licht usw. muss man einen Ersatz für die fossilen Energieträger finden.

2) Da die fossilen Energieträger ja überwiegend aus Kohlenstoff bestehen, entsteht bei ihrer Verbrennung CO_2, das durch den Schornstein oder Auspuff in der Luft landet. Wenn dann noch Wälder abgeholzt werden, die einen Teil des CO_2 aufnehmen können (und wieder Holz daraus produzieren), sammelt sich immer mehr CO_2 in der Luft / Atmosphäre.

   Ein höherer Anteil CO_2 in der Atmosphäre führt aber durch bestimmten klimatische Prozesse dazu, dass es auf der Erde immer wärmer wird. Dadurch entstehen Wüsten, wo man früher gut wohnen konnte, es entstehen auch Wirbelstürme und Überschwemmungen, die viel zerstören und auch die Eisberge schmelzen, sodass das deren Wasser ins Meer fließt, das Meer also immer höher steigt und ganze Landschaften überschwemmt. In vielen Gegenden, in denen jetzt Menschen wohnen, können sie dann also nicht mehr wohnen und müssen fliehen. Diese Probleme fangen schon jetzt an.

Um diese großen Probleme der Zukunft zu lösen, versuchen die Menschen also, weniger fossile Energieträger zu verbrennen und ihre Energie aus anderen „regenerativen“[15] Quellen zu beziehen. Die wichtigsten regenerativen Energieträger sind in Deutschland: Wasser, Wind, Sonne und Erdwärme. Ihre Nutzung ist im Moment aber noch etwas teurer als die Verbrennung der fossilen Energieträger.

Die Nutzung von „Biomasse“, also extra zur Gewinnung von Energie angebauten Pflanzen (Biogas), ist aus zwei Gründen sehr umstritten: Zum Einen benötigt man für den Anbau dieser Pflanzen sehr viel Energie aus fossilen Energieträgern für Dünger, Pflanzenschutz, Transport etc., sodass letztlich möglicherweise nicht viel gewonnen ist. Zum Anderen könnte man sagen, dass man ja letztlich Lebensmittel „verheizt“ während an anderen Stellen der Erde Menschen hungern.

6.4 Probleme der Nutzung von Atomkraft

In einem Atomkraftwerk befinden sich extrem gefährliche radioaktive Materialien. Wenn sie an die Umwelt gelangen, verursachen sie Krebs und Mutationen bei Lebewesen.

Dennoch kann es passieren und ist auch schon vielfach passiert, dass diese Materialien an die Umwelt gelangen, viele tausend Menschen sind schon daran gestorben oder davon sehr krank geworden.

1. Es kann ein Unfall passieren. Ein Atomkraftwerk muss ununterbrochen gekühlt werden. Wenn an der Kühlung etwas kaputt geht, kann es explodieren. Das ist schon zweimal passiert, einmal in Tschernobyl in der Ukraine, einmal in Fukushima in Japan. In den USA ist es in Harrisburg einmal beinahe passiert.
2. Die neuen Brennstäbe des Kraftwerks müssen hergestellt werden. Sie sind natürlich auch radioaktiv. Wenn bei der Herstellung oder dem Transport zum Kraftwerk etwas schief geht (Unfall / „Schlamperei“ / Kriminalität) können die radioaktiven Materialien in die Umwelt gelangen.

---

[14] Fossil: Lat: „Ausgegraben“, auch „urzeitlich. Ihr kennt als „Fossilien“ versteinerte Abdrücke von Urtieren, Muscheln, Krebsen oder sogar versteinerte Mammuts und Dinosaurier.

[15] Regenerativ: „Sich wiederherstellend, sich wieder aufbauend“. Manche sprechen auch von „alternativen“ Energien, das meint normalerweise das Gleiche, das Wort „alternativ“ ist allerdings nicht so treffend, es bedeutet nur „anders“ bzw. „eine andere Möglichkeit“.

3. Irgendwann müssen Teile des Kraftwerks (vor allem die Brennstäbe) ausgewechselt werden. Diese sind radioaktiv. Man muss diese Teile irgendwo unterbringen, wo man ganz sicher ist, dass sie für viele hunderttausend Jahre nie wieder an die Umgebung kommen („Endlagerung"). Bis heute weiß man aber nicht richtig, wo das sein soll. Man überlegt vor allem, sie unterirdisch in alte Bergwerke zu bringen. Läuft aber Wasser in das Bergwerk, werden die radioaktiven Stoffe mit dem Wasser wieder in die Umwelt gespült. Im das Bergwerk „Asse" bei Braunschweig, in das man schon sehr viel radioaktive Stoffe gebracht hat, läuft sehr viel Wasser hinein, sodass man alles wieder herausholen möchte. Das Problem ist, dass man bis jetzt keinen Platz weiß, wo man den „Atommüll" sonst hinbringen kann. Aufgrund der Halbwertszeit halbiert sich die Strahlung des Atommülls zwar alle 30.000 Jahre, aber da es eine große Menge ist, muss der Atommmüll cirka eine halbe Million Jahre so eingeschlossen sein, dass er auf keinen Fall wieder an die Umwelt gelangt. Man muss auch davon ausgehen, dass dann, falls es noch Menschen gibt, diese nichts mehr von dem strahlenden Müll wissen, also auch nicht wissen können, wo sie „aufpassen" müssen. Auch hat man nur Erfahrungen aus ca. 50 Jahren, muss aber aus diesen Erfahrungen auf 500.000 Jahre schließen. also das 10.000-fache. Das ist so, als wenn man sich den ersten Millimeter eines Baumes anschaut, und daraus berechnen möchte, wie der Baum in 10 m Höhe aussieht.

   ABER: Ein Atomkraftwerk produziert die gleiche Energiemenge wie 2000 Windkrafträder oder wie die Solaranlagen auf 1 Million Einfamilienhäusern. So einfach lassen sie sich also nicht ersetzen!

7 Aufgaben zur Selbstkontrolle

7.1 Leichte Aufgaben (muss man wirklich alle können)

Alle Lösungen in vernünftigen Einheiten, also kJ, MJ etc.. D.h maximal drei Ziffern angeben, sonst runden.

a.) Wie viel Energie benötigt ein Motor mit Wirkungsgrad 25 %, um 2 MJ Energie abzugeben?
b.) Wie viel Energie benötigt ein Backofen in 10 min in Joule und in kWh?
c.) Wie viel Energie benötigt man, um auf einen 500 m hohen Berg zu steigen (50 kg schwer, ohne Wirkungsgrad)?
d.) Wie lange kann man mit dem Laptop surfen, wenn man die gleiche Energiemenge verbrauchen will wie bei 1 min Duschen?
e.) Wofür benötigt man mehr Energie, 1 kg Blei, das die Schmelztemperatur schon erreicht hat, aber noch fest ist, zu schmelzen (q_S = 23,4 kJ/kg) oder 1000 ml Wasser um 6 °C zu erwärmen?
f.) Warum möchte man immer mehr regenerative Energien einsetzen?
g.) Wie tief kann man etwas abkühlen und warum?
h.) Wie viel Kelvin sind 60°C, wie viel °C sind 200 K?
i.) Wie viel Energie benötigt man, um 200 ml Wasser von 10°C auf 70 °C zur erwärmen?
j.) Warum spürst du Kälte, wenn Du deine Haut nass machst und darauf pustest?
k.) Wie viel Energie benötigt man, um 200 g Eis zu schmelzen?
l.) Wie stark muss eine Heizung sein, um ein Haus mit 300 m^2 Außenfläche und einem U-Wert von 1,5 W pro Quadratmeter und Kelvin bei außen –10°C auf einer konstanten Temperatur von 20°C innen zu halten?
m.) Wie viel kosten 7,2 GJ Energie in Form von elektrischer Energie aus der Leitung, Öl oder Holz?
n.) Wie viel Energie benötigt man, um einen Schlitten bei einer Schubkraft von 100 N 1 km weit zu schieben?

7.2 Durchschnittlich schwere Aufgaben (sollte man die meisten von können)

a.) Ein typischer Handyakku kenn elektrische Energie von 8 Wh speichern. Wie lange könntest Du damit einen Laptop oder einen Backofen betreiben?

b.) Wie schnell triffst Du auf (in m/s und in km/h), wenn du vom 10 m Turm im Schwimmbad springst?
c.) Wie viel MJ , wie viel kWh und wie viel Öl benötigt man, um ein Haus mit 400 m^2 Außenfläche und einem U-Wert von 1,2 W pro Quadratmeter und Kelvin bei außen –15°C und einer konstanten Temperatur von 21°C innen einen Tag warm zu halten?
d.) Du hast 200 g Eisgranulat (Eissplitter) von 0°C und steckst für 10 Min einen Tauchsieder mit 200 W Leistung hinein. Was erhältst Du?
e.) Du hast 200 g Wasser von 35 °C und steckst für 12 Min einen Tauchsieder mit 400 W Leistung hinein. Was erhältst Du?
f.) Vie viel kostet es, ein Jahr lang täglich 5 Stunden mit dem normalen PC zu spielen?
g.) Wie viel Energie benötigt man in J und in kWh, um einen 3000 t Güterzug auf 80 km/h zu beschleunigen?
h.) Du fährst 36 km/h mit dem Fahrrad, kommst an eine 10-prozentige Steigung und hörst auf zu treten. Wie hoch und wie weit würdest Du rollen, wenn Dein Fahrrad ohne Reibung rollen (und auch kein Luftwiderstand herrschen) würde?
i.) Wie viel kostet 1 kWh in Form von Snickers ungefähr? (Ein Snickers enthält 1250 kJ und koste 80 Cent)
j.) Ein Elektron enthalte eine Energie von $2 \cdot 10^{-16}$ J. Wie schnell ist es?
k.) Es gibt Durchlauferhitzer für Wasser, die nur 3 kW haben. Wie viel Wasser können damit pro Minute von Leitungstemperatur auf 40°C erhitzt werden?
l.) Wenn du Deinen kleinen Bruder 2 km weit auf dem Schlitten gezogen hast (durchschnittliche Zugkraft 80 N), wie viel Snickers müsste er Dir dann ausgeben, damit Du die Energie wieder zurück bekommst?

7.3 Schwere Aufgaben (Muss man für eine Eins können)

a.) Wie viel kg und Liter Diesel benötigt eine Lok ($\eta = 30\%$), um einen 3000 t Güterzug auf 100 km/h zu beschleunigen und wie viel kostet das (1 L wiegt ca. 700 g)? Wie viel kostet die elektrische Energie, um den ICE 3 (400 t), um auf 300 km/h zu beschleunigen ($\eta = 90\%$)?
b.) Du hast 100 g Eisgranulat von 0°C, steckst einen Tauchsieder mit 300 W Leistung hinein und gehst weg. Wann ist der Tauchsieder spätestens kaputt?
c.) Wenn man ein Uran-235-Atom spaltet, werden 230 MeV Energie frei. (1 eV = 1 „Elektronenvolt“ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J) Wie viel Kohle muss man verbrennen, um die Energie zu erhalten, die bei der Spaltung von einem Gramm Uran frei wird?

7.4 Ganz schwere, aber mit Eurem Wissen lösbare Aufgabe (kommt nicht dran)

Wie viel CO_2 entsteht, wenn man eine halbe Stunde duscht und das Wasser mit elektrischer Energie im Kraftwerk mit Wirkungsgrad 40 % durch Verbrennen von Kohle erzeugt wird?

7.5 Lösungen

Lösungen zu 7.1:

a.) 8 MJ; b.) 3,6 MJ = 1 kWh; c.)245250 J ≈ 245 kJ; d.) 84.000 s = 1400 min ≈ 23 h; e.) Blei schmelzen: 23,4 kJ, Wasser erwärmen: 25,08kJ; f.) Weil erstens die fossilen Energieträger zur Neige gehen, zweitens bei der Verbrennung fossiler Energieträger CO_2 entsteht, das zur Klimaerwärmung beiträgt und drittens Kernenergie sehr gefährlich ist. g.) Auf maximal -273,16 °C, weil dann alle Moleküle und Atome still stehen. h.) 333,16 K; -73,16 °C; i.) ca. 50 kJ;j.) Weil das Wasser verdunstet und dafür Energie benötigt, die es sich in Form von Wärmeenergie aus der Haut „holt“. k.) 67 kJ; l.) 13,5 kW; m.) Holz; ca. 60 €, Öl; ca. 220 €, el. Energie; ca. 560 €; n.) 100 kJ

Lösungen zu 7.2

a.)Laptop: 32 Min; Backofen: 4,8 s; b.) ca. 14 m/s = ca. 50 km/h; c.) (P = 17.280 W), E ≈ 415 kWh ≈ 1,5 GJ→ ca. 36 Liter Öl. d.) (Erein = 120 kJ) Zum Schmelzen: 66 kJ, bleibt zum Erwärmen 54 kJ, Wasser erwärmt sich damit um ca. 65°C; e.) (Erein = 288 kJ) Erwärmen auf 100°C: ca. 54 kJ, bleibt zum Verdampfen 234 kJ, damit verdampft ca. 100 g Wasser. Lösung also: Man hat noch 100 g Wasser im Behälter; f.) 0,15 kW . 5 h = 0,75 kWh, die kosten 21 Cent pro Tag, also ca. 77 € im Jahr.g.) ca. 741 MJ ≈ 206 kWh; h.) ca. 5,10 m hoch, das entspricht einer Strecke von 51 m. i.) Man würde 2,88 Snickers brauchen, die kosten ca. 2,31 €. j.) ca. $21 \cdot 10^6$ m/s k.) E in einer Minute: 180 kJ. Damit um 30 K erwärmbares Wasser: ca. 1,4 Liter l.) Benötigte Energie: 160 kJ, dafür braucht man ca. 0,13, also nur ca. ein Achtel Snickers :-(

Lösungen zu 7.3

a.) Güterzug: Benötigte kin. E.: ca. 1,2 GJ, wegen Wirkungsgrad wird an chemischer Energie benötigt: ca. 3,9 GJ, dafür braucht man Diesel: ca. 92 kg, das sind ca. 130 Liter, die kosten ca. 200 Euro. ICE: Benötigte kinetische E: ca. 1,4 GJ, wegen Wi'grad elektrische E. nötig: ca. 1,55 GJ ≈ 430 kWh, die würden rund 120 € kosten (die Bahn bekommt den Strom allerdings billiger als wir...)b.) Nach ca. 17 Minuten (Eis schmelzen: 110 Sekunden, Wasser erwärmen: 139 Sekunden, Wasser komplett verdampfen: ca. 750 Sekunden) c.) ca. 2200 kg (1 g U-235 sind ca. $2{,}6 \cdot 10^{21}$ Atome, freiwerdende E also ca. 94 GJ)

Lösung zu 7.4

Ca. 11 kg. (Benötigte Energie ($\Delta T = 25°C$, 15L/min Wasserdurchfluss): ca. 47 MJ, dafür Kohle benötigt bei 40% Wi'grad: ca. 2,8 kg. Die verbrennt zu CO_2, das besteht aus 1 Atom C-12 und zwei Atomen O-16, Gesamtmasse des CO_2 Moleküls also 44u, Masse des CO_2 also 44/12 mal so viel wie nur die Kohle.)

8 Kurz – Erklärung aller Formeln

8.1 Speicherformen von Energie

(Die Abgrenzung ist nicht immer ganz klar, man kann z.B. Wärmeenergie auch als Bewegungsenergie der Moleküle auffassen)

Physikalischer Name (Alltagsname)	**Gespeicherte Energiemenge hängt ab von...** Begriff, **Formelzeichen , [Einheit]**	**Formel**
Kinetische Energie (Bewegungsenergie)	Masse **m** [kg], Geschwindigkeit **v** $\left[\frac{m}{s}\right]$	$E_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$
Potenzielle Energie (z.B. Lageenergie, Spannenergie, „schieben können“ (siehe unten)	Kraft, die ein Gegenstand (z.B. ein Eisenstück auf Grund seines Gewichts oder eine Feder aufgrund Ihrer Federkraft aufbringen kann) **F [N]** Strecke **s [m]**, die der Gegenstand mit dieser Kraft zurücklegen kann.	$E_{pot} = F \cdot s$
	(Spezialfall Lageenergie: Die Kraft F ist hier die Gewichtskraft ***m · g*** *die Strecke ist die Höhe* ***h****, um die der Gegenstand hinab rutschen / fallen / fließen kann)*	*Bei Lageenergie:* $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$
Thermische Energie (Wärmeenergie)	Masse **m [kg]** spezifische Wärmekapazität **c** $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$ *(„Joule pro Kilogramm und Kelvin“)*, Temperatur in Kelvin **T [K]**. (Kelvin-Temperatur T ist Celsius-Temperatur $\vartheta + 273{,}16$)	Gesamte enthaltene thermische Energie: $E_{th} = c \cdot m \cdot T$
	Wenn nur die zugeführte oder abgegebene thermische Energie ΔE zählt, rechnet man der Einfachheit halber nur mit den Temperaturdifferenzen ΔT. Dann kann man auch die Celsius-Werte verwenden:	Zugeführte oder abgeg. Energie: $\Delta E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T$ $= c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$
Schmelzenergie	Masse **m [g]**, spezifische Schmelzenergie („Schmelzwärme“) $\mathbf{q_s}$ $\left[\frac{J}{kg}\right]$	$E_{schmelz} = q_S \cdot m$
Verdampfungsenergie	Masse **m [g]**, spezifische Verdampfungsenergie („Verdampfungswärme“) $\mathbf{q_V}$ $\left[\frac{J}{kg}\right]$	$E_{Verdampf} = q_V \cdot m$

Chemische Energie	*Bei Verbrennung (Oxidation):* spezifische Verbrennungswärme (Heizwert) **H** $\left[\frac{J}{kg}\right]$**,** Masse **m**	$E_{Verbrennung} = H \cdot m$
Kernenergie	Anzahl der gespaltenen Atomkerne n, freiwerdende Energie pro Spaltung E_{Spalt}	$E_{Kernspaltung} = n \cdot E_{Spalt}$

8.2 Übertragungsformen der Energie

Die folgenden Energieformen existieren praktisch nur bei der Übertragung von Energie. Man kann sie praktisch nicht speichern. Deshalb schaut man hier auch nur auf die Übertragungsgeschwindigkeit, die Leistung.

Physikalischer Name	Energieübertragungsgeschwindigkeit (Leistung) hängt ab von...	Formel
Elektrische Energie	Stromstärke **I**, Spannung **U**	$P_{elektrsich} = U \cdot I$
Strahlung (z.B. Handystrahlung oder im Mikrowellenofen)	Strahlungsleistung **P**	*entfällt,* *P steht ja schon da...*
Mechanische Energie	Kraft **F**, Geschwindigkeit **v**	$P_{mechanisch} = F \cdot v$

Wenn man wissen möchte, wie viel Energie insgesamt übertragen wurde, multipliziert man logischerweise die Übertragungsgeschwindigkeit / Leistung mit der Zeitdauer, in der Energie übertragen wurde.

Es gilt also bei allen Übertragungen von Energie:

$$\boxed{E = P \cdot t}$$

9 Das muss man wissen: Spickzettel Energie quantitativ

9.1 Formeln

Leistung P	Energie **E** [J], Zeit **t** [s]	$P = \frac{E}{t}$
Kinetische Energie (Bewegungsenergie)	Masse **m** [kg], Geschwindigkeit **v** $\left[\frac{m}{s}\right]$	$E_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$
Potenzielle Energie („Arbeit")	Kraft,**F [N],** Strecke **s [m]**	$E_{pot} = F \cdot s$
Lageenergie	*Ortsfaktor **g**, Höhe **h***	$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$
Thermische Energie (Wärmeenergie)	spezifische Wärmekapazität **c** $\left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$ *(„Joule pro Kilogramm und Kelvin"),* Temperatur in Kelvin **T [K]**.	$E_{th} = c \cdot m \cdot T$
	Zugeführte oder abgegebene thermische Energie	$\Delta E_{th} = c \cdot m \cdot \Delta T = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$
Schmelzenergie	spezifische Schmelzenergie („Schmelzwärme") **q_S** $\left[\frac{J}{kg}\right]$	$E_{schmelz} = q_S \cdot m$
Verdampfungsenergie	spezifische Verdampfungsenergie („Verdampfungswärme") **q_V** $\left[\frac{J}{kg}\right]$	$E_{Verdampf} = q_V \cdot m$
Chemische Energie	Spezifische Verbrennungswärme (Heizwert) **H** $\left[\frac{J}{kg}\right]$	$E_{Verbrennung} = H \cdot m$

Wärmeleistungsbedarf einer Hauswand	Fläche der Wand **A [m^2]**, Wärmedurchlässigkeit der Wand („U-Wert") **u** $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$	$P = u \cdot A \cdot \Delta T$
Wirkungsgrad η	Geräte, die E. von einer in eine andere Form umformen, haben einen Wirkungsgrad (max. 100%)	$E_{rein} \cdot \eta = E_{raus}$

9.2 Werte, die man ungefähr wissen sollte

Energiedurchsatz der Geräte

Gerät	**Ungefährer Energieumsatz pro Sekunde (= Leistung)**
Smartphone, eingeschaltet	1 W
LED Lichterkette	1 W
Modernes Handyladegerät, wenn's grad lädt	4 W
Mittlere Lampe (Energiesparlampe)	15 W
Laptop	15 W
Fernseher, durchschnittliche Größe	100 W
Mensch im Sofa	100 W
Normaler PC mit Bildschirm	150 W
Mensch beim Ausdauersport	160 W
Heizkörper im Zimmer, mittlere Größe, Heizlüfter	2 kW = 2000 W
Solaranlage auf einem Einfamilienhaus	4 kW = 4.000 W
Backofen, solange er noch aufheizt	6 kW = 6000 W
Warmwasser-Durchlauferhitzer beim Duschen	21 kW = 21.000 W
Mittlerer Automotor bei Vollgas	300 kW = 300.000 W (aufgenommen!)
Windkraftwerk bei vollem Wind	3 MW = 3.000.000 W
Großes Kohlekraftwerk oder Atomkraftwerk	1 GW = 1.000.000.000 W

Preise der Energieträger

Energieträger	**ungefährer Preis**
Sonnenenergie	0
Holz	3 Cent / kWh
Heizöl, Erdgas	7 Cent / kWh
Benzin	20 Cent / kWh
Elektrische Energie aus der Leitung	28 Cent / kWh

Wirkungsgrade η (eta) *(„wie viel % nutzbar rauskommt“)*

Gerät	**E** $_{\text{zugeführt}}$	**E**$_{\text{abgegeben}}$	**η** (ca. Wert)
Glühlampe	Elektrisch	Licht	3 %
LED-Lampe / Energiesparlampe	Elektrisch	Licht	15 %
Kraftwerk zur Stromerzeugung	Chemisch	Elektrisch	40 %
Elektromotor	Elektrisch	Mechanisch	80 %
Automotor	Chemisch	Mechanisch	25 %

9.3 Werte, die man genau wissen sollte:

Eine Kilowattstunde	3,6 MJ
Eine Kalorie	4,17 J
Spezifische Wärmekapazität von Wasser	$4170 \ \frac{J}{kg \cdot K}$
1 PS (leistet ein Pferd ungefähr auf Dauer)	0,736 kW
Absoluter Temperaturnullpunkt	-273,16 °C = 0 K

9.4 Zehnerexponenten und Vorsilben

Merke: $3 \cdot 10^{12} \cdot 2 \cdot 10^{5} = 6 \cdot 10^{17}$ (= $(3 \cdot 2) \cdot 10^{(12+5)}$), TR: $\boxed{2^{nd}}$ $\boxed{2}$

Zehnerexponent	**Zahl**	**Vorsilbe**	**Abkürzung**
$\cdot\ 10^{12}$	Billion	Tera	T (großes T)
$\cdot\ 10^{9}$	Milliarde	Giga	G (großes G)
$\cdot\ 10^{6}$	Million	Mega	M (großes M)
$\cdot\ 10^{3}$	Tausend	Kilo	k (kleines k)
$\cdot\ 10^{0} = \cdot\ 1$	--	--	--
$\cdot\ 10^{-3}$	tausendstel	Milli	m (kleines m)
$\cdot\ 10^{-6}$	millionstel	Mikro	μ (kl. griechisches „mü“)
$\cdot\ 10^{-9}$	milliardstel	Nano	n (kleines n)
$\cdot\ 10^{-12}$	billionstel	Piko	p (kleines p)

9.5 Lineare Interpolation (TR: „Data Matrix Editor - calc - linreg“:

Rauskommen muss lineare Funktion $y = m \cdot x + b$ (x: Was reinkommt, z.B. die Zeit, m: Anstieg pro Sekunde, z.B. 3°C / s, b: Startwert, z.B. 15°C)
Alle Messwerte auftragen (Zeit auf x-Achse) und Gerade durchlegen. Steigung mit Steigungsdreieck bestimmen (Δy/Δx) ergibt dann z.B. den Temperaturanstieg pro Sekunde → m. Schnittpunkt mit y-Achse ist Anfangswert (zur Zeit 0) → b. Jetzt kann man selber eine beliebige Zeit für x einsetzen und erhält die theoretische Temperatur zu der Zeit.