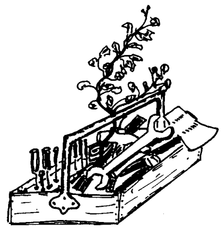
Schulbiologiezentrum
Hannover

Vinnhorster Weg 2, 30419 Hannover
Tel: 0511-168-47665/7
Fax: 0511-168-47352
Email : schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de

Hannover

Unterrichtsprojekte Natur und Technik

19.30



Joule, Watt & Co:
Eine kleine kommentierte Formel- und Materialsammlung zum Thema "Energie"

Einleitung

Bei uns im Schulbiologiezentrum hängt ein 5-Liter Boiler an der Wand. Oft ist er halb mit warmem Wasser gefüllt und der umweltbewusste Kollege, der sich nur gerade zwischendurch eine Tasse Tee machen will, steht vor der Frage: Soll ich die 2 Liter, die noch warm sind, zum Kochen bringen? Oder soll ich sie bis auf die Menge, die ich wirklich brauche, ablaufen lassen? Eifrige Diskussionen rund um diese und ähnliche Fragen führen immer wieder zu der Erkenntnis, dass das Strom-, Wärme und Benzin verbrauchende (besser - umsetzende) Wesen Mensch im Regelfall kaum eine Vorstellung davon hat, wie viel Energie es eigentlich so in Anspruch nimmt. Und selbst wenn wir dann die Strom- oder Heizkostenabrechnung in der Hand halten, fehlt uns die Vorstellung dafür, was sich hinter all den "Kilowatts", "Joules" und "Gigacals" verbirgt. Uns ist meist nicht bewusst, wie viel wir verbrauchen und leisten. Als Beispiel sei genannt: Nehmen wir an, Sie könnten die Energie, die nötig ist, um 5 Liter Wasser von 20° auf 100℃ zu erhitzen dafür verwenden könnten, diese 5 Liter in einem Eimer hochzuziehen. Wie hoch könnten Sie den Eimer damit bringen? 50 m, 100 m, 200 m, 1000 m? Alle Lösungen sind falsch! Das richtige Ergebnis finden Sie beim Durchlesen dieses Heftes. Es wird nicht nur Ihre Schüler verblüffen!

Ziel und Zweck dieser Arbeitshilfe ist es, Sie in die Lage zu versetzen, sich und Ihren Schülern Energiemengen anschaulich, erfahrbar und begreifbar zu machen. So soll Ihnen klar werden, was Sie mit einer bestimmten Kraft, einer bestimmten Energiemenge oder einer bestimmten Leistung tun können. Nur so gewinnen Sie eine Vorstellung davon, wie viel Energie Sie über Ihren eigenen Umatz hinaus verbrauchen. Durch das Rechnen mit Newton, Joule und Watt werden Sie vielleicht die Energiesparleuchten oder das Bahn fahren in ganz anderem Licht sehen.
Alle reden von Energie: Energiekrise, Energieverbrauch, Energiesparen, Niedrigenergiehäuser, der Typ hat Energie, ein bestimmter Schokoladenriegel bringt verbrauchte Energie sofort zurück, usw., usw. ... Aber was ist Energie eigentlich?
Wir wollen uns hier auf den physikalischen Energiebegriff beschränken: *Energie ist die Fähigkeit eines physikalischen Systems, Arbeit zu verrichten.* Oder anders ausgedrückt: *Energie ist die in einem physikalischen System gespeicherte Arbeit.*
Leider werden Begriffe wie **Energie**, **Leistung**, **Arbeit** und **Kraft** umgangssprachlich oft synonym verwendet. Das führt bei Einsteigern in das Energiethema oft zur Verwirrung und erheblichen Verständnisschwierigkeiten.
Im Folgenden wollen wir einen kurzen Überblick über die physikalisch-mathematischen Grundlagen des Themas wagen. Die Vielzahl der zumeist biologie-, und weniger physik-orientierten Adressaten dieser Arbeitshilfe im Blick sei der Inhalt einfach und (schul-)praxisbezogen angelegt und auf das Notwendige beschränkt.
Die Arbeitshilfe beinhaltet eine Sammlung von (einfachen) Formeln zum Thema, ergänzt durch Musteraufgaben, die leicht mit dem Taschenrechner überprüft werden können und Anregungen zur Gestaltung eigener Berechnungen abgeben sollen. Für die Herleitung der Formeln müssen wir auf die physikalische Fachliteratur verweisen. Meist reicht aber schon das Studium eines Schullehrbuches.
Die aufgezeigten *einfachen* Beispiele lassen viele Aspekte (z.B. Energieverluste durch Reibung) außer Acht. Die Lösungsergebnisse stellen daher oft nur Mindestwerte dar.

Ingo Mennerich, Juli 1997
Erweiterte Neuauflage Januar 2007

Titel: **Joule, Watt & Co**
Eine kleine kommentiere Formel- und Materialsammlung zum Thema „Energie“

Arbeitshilfe Nr. 19.30

Verfasser: Ingo Mennerich, Juli 1997, Erweiterte Neuauflage Januar 2007

Redaktion, Fotos, und Layout: Ingo Mennerich

Herausgeber: Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Bibliothek und Schule
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel.: 0511-168-47665/7
Fax: 0511-168-47352
Email: schulbiologiezentrum@hannover.de
Internet: www.foerderverein-schulbiologiezentrum.de

Hannover 2007

Inhalt

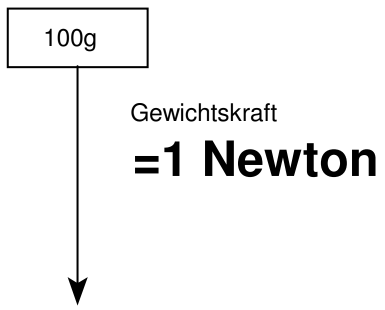
Ausgewählte physikalische Größen und Einheiten

Größe	**Formelzeichen**	**Einheit**	
Temperatur	T, υ (Theta)	K °C	(Kelvin) (Grad Celsius)
Länge	l	m	Meter
Masse	m	kg	Kilogramm
Kraft	F	N	Newton
Arbeit	W	J Nm	Joule Newtonmeter
Energie	E	J Nm	Joule Newtonmeter
Leistung	P	W	Watt
Zeit	t	s	Sekunde
Geschwindigkeit	v	m/s	Meter pro Sekunde
Beschleunigung	a	$\mathrm{m/s^2}$	Meter pro Sekunde Quadrat

Achtung: Stolperfalle! Schauen Sie genau hin, "*W*" und "W" ist nicht das gleiche! *W* ist das Formelzeichen für Arbeit ("Work"), die in der Einheit **Joule** oder **Newtonmeter** angegeben wird. W (Watt) ist die Einheit, mit der die **Leistung** (Formelzeichen *P*) bestimmt wird.
m bedeutet "Meter", *m* dagegen ist das Formelzeichen für Masse (Einheit kg)
Grundsätzlich: Formelzeichen *kursiv*, Einheiten in senkrechten (steilen) Buchstaben.

Kraft

Formelzeichen *F* (engl.:"Force"), Einheit Newton (N)
1 **Newton** (nach Isaac Newton, 1643 - 1727) ist ursprünglich die Gewichtskraft, die auf ein zehntel Liter Wasser wirkt (heutiger exakter Wert: Auf den 9,81ten* Teil eines Liters Wasser). Danach messen wir bei einer 100g-Tafel Schokolade eine Gewichtskraft von ziemlich genau 1 N (exakt 0,98 N).
*) Warum es richtig der 9,8te Teil heißen muss, steht unter "Beschleunigung"!



Beispiel:
Welche Gewichtskraft übt ein Rucksack von 10 kg auf meinen Rücken aus?
Lösung: Einer Masse von 10 kg entspricht (auf der Erdoberfläche) eine Gewichtskraft von etwa 100 N (genau 98,1N, siehe "Beschleunigung")

Beschleunigung

1 Newton ist die Kraft *F*, die einem Körper der Masse *m* von 1kg die Beschleunigung $a = 1 m/s^2$ erteilt.

$$F = m \bullet a$$

$$1N = 1kg \cdot 1m / s^2$$

Wenn ich eine 1kg-Tüte Zucker (reibungsfrei) so über den Boden schiebe, dass sie nach Ablauf der ersten Sekunde 1 m/s, nach der zweiten 2 m/s, nach der dritten 3 m/s usw. schnell ist, beträgt die Beschleunigung 1 m/s^2. Ich übe eine Kraft von 1 N auf sie aus.
Beschleunigung bedeutet, dass sich die Geschwindigkeit eines Körpers ständig erhöht. Wenn eine bestimmte **Geschwindigkeit** erreicht ist und nicht weiter erhöht wird, ist die Beschleunigung gleich Null. Dann ist (im idealen, reibungsfreien und von sonstigen verzögernden Kräften freien Raum) auch keine Kraft mehr nötig (Weltraum). Auf der Erde wirkt eine Reihe von Widerständen auf den bewegten Körper ein (z.B. der Bodenreibungs- und Luftwiderstand) und bremst ihn ab, so dass ständig ein "Energienachschub" erforderlich ist, um die Geschwindigkeit zu halten.

Sonderfall Fallbeschleunigung:
Jeder Körper in Erdnähe erfährt beim freien Fall (also ohne bremsende Luftreibung) eine Beschleunigung von (durchschnittlich) $g = 9{,}81\ m/s^2$: Nach einer Sekunde Fall ist er (übrigens unabhängig von seiner Masse) "nur" 9,81 m/s schnell, nach zwei Sekunden schon 19,62, nach drei Sekunden 29,43 m/s schnell.
Wenn wir jetzt nachrechnen stimmt die oben erfolgte Gleichsetzung von 100 g Masse und 1 N also nur angenähert:

Die **Gewichtskraft**, die auf einen Körper der Masse 100 g (unsere Tafel Schokolade) in der Nähe der Erdoberfläche wirkt, beträgt:

$$\frac{0,1\text{kg} \cdot 9,81\text{m}}{\text{s}^2} = 0,981\text{N}$$

Daraus folgt, dass mein 10 kg-Rucksack mit einer Gewichtskraft von (genau) 98,1N an mir hängt.
Auf dem Mond, der eine erheblich geringere Masse als die Erde aufweist, beträgt die Fallbeschleunigung nur 1,62 m/s^2. Die Gewichtskraft meines Rucksacks liegt dort "oben" bei 16,2 N, er ist damit nur etwas schwerer als ein Gegenstand mit der Masse 80g auf der Erde!
Der irdische Fallbeschleunigung g = 9,81 ist ein Durchschnittwert. An den Polen der durch die Rotation abgeplatteten Erdkugel ist g durch den geringeren Abstand zum Erdmittelpunkt größer (9,82), am Äquator durch die Zentrifugalkraft, die auf jeden der dort über 1000 km/h schnellen Erddrehung einwirkt, geringer (9,78).

Beschleunigung und Geschwindigkeit

Welche **Geschwindigkeit** v erreicht ein Körper, den ich mit a beschleunige, nach einer bestimmten Zeit t?

Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz: $v = a \cdot t$

v wird nicht in km/h, sondern in Metern pro Sekunde angegeben (m/s).
Eine Stunde (h) hat 3600 Sekunden (s).

Aus 1 km/h = 1000 m/h folgt 1000 m/h : 3600 s = 0,278 m/s
1 m/s entspricht 1 m/s x 3600 s = 3600 m/h = 3,6 km/h

Beispiel:
Wie stark habe ich auf meinem Fahrrad beschleunigt, wenn ich aus dem Stand nach 15 Sekunden eine Geschwindigkeit von 27 km/h erreiche?
Lösung: 27 km/h = 27000 m/h. Daraus folgt: 27000 m/h : 3600 s = 7,5 m/s.
Durch Umstellen der Formel erhalte ich

$$a = \frac{v}{t} = \frac{7,5\,\text{m/s}}{15\text{s}} = 0,5$$

Welche **Wegstrecke** hat der Körper nach einer bestimmten Zeit zurückgelegt?

Weg-Zeit-Gesetz: $s = \frac{a}{2} \cdot t^2$

Beispiel:
Wie weit bin ich im obigen Beispiel gefahren?
Lösung:

$$s = \frac{a}{2} \bullet t^2 = \frac{0,5}{2} \bullet 15^2 = 56,25\text{m}$$

Welche Kraft ist dafür (mindestens!) erforderlich?
Angenommen mein Eigengewicht (besser: meine Masse) betrage 70 kg, die des Fahrrads 10 kg.

Lösung:

$$F = m \cdot a$$

$$F = 80\text{kg} \bullet 0,5\ \text{m/s}^2 = 40\text{N}$$

Die tatsächlich notwendige Kraft ist größer, weil Reibungswiderstände wie Gegenwind, Bodenreibung und Verluste an Kurbeln und Ketten hinzukommen. Kaum habe ich aufgehört, in die Pedalen zu treten, werde ich wieder langsam.
40 N Kraft brauche ich, um (etwa) 40 Tafeln Schokolade gegen die Schwerkraft zu halten.

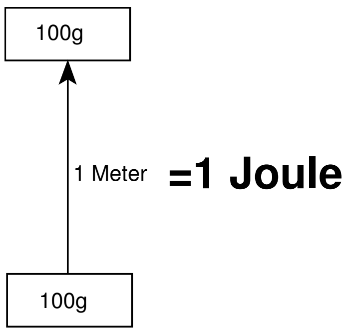
Arbeit

Formelzeichen *W*, Einheit Joule (J)
Arbeit (*W*) ist das Produkt aus der Kraft (*F*) und der Länge des Weges (*s*)
Ein Joule ist gleich der Arbeit, durch die ein Körper durch die Kraft von 1 N um 1 m (1 Newtonmeter Nm) verschoben wird

$$1\text{J} = 1\text{Nm}$$

Ein **Joule** ist die Arbeit, die nötig ist, um eine 100g-Tafel Schokolade um etwa* einen Meter (1,02 m) anzuheben.
Ein **Kilojoule** (1 kJ = 1000 J) ist die Arbeit, die nötig ist
- um 1000 Tafeln Schokolade (= 100 kg) um etwa* einen Meter anzuheben (1,02 m)
- oder um 1 Tafel Schokolade um etwa* 1000 m anzuheben (1020 m)
- oder um 50 Tafeln Schokolade um etwa* 20 m anzuheben (20,4 m)
- oder einen gefüllten 10l Eimer (Masse ca. 10 kg, Gewichtskraft ca. 100 N) um etwa* 10 m (10,2 m) anzuheben

Der genauen Werte (in Klammern) liegen etwas höher, da die Gewichtskraft einer Masse von 100 g auf der Erde nur 0,981 N beträgt. Zur Veranschaulichung kann man sich aber diese Werte einprägen:



Beispiel:
Welche Arbeit ist nötig, um mich auf meinem Fahrrad in 15 Sekunden von 0 auf 27 km/h zu beschleunigen?

Lösung: $W = 40\text{N} \cdot 56,25\text{m} = 2250\text{J} = 2,250\text{kJ}$

Zum Vergleich: Eine Tüte Kartoffelchips enthält etwa das 100fache!

Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg und Arbeit

Beispiel: Ein 1200 kg schweres Auto beschleunigt aus dem Stand und ist nach 10 Sekunden 100 km/h schnell.
a) Wie groß ist die Beschleunigung?
b) Wie groß ist die zurückgelegte Wegstrecke?
c) Welche Kraft ist dafür notwendig?
d) Welche Arbeit wird verrichtet?

Lösung a): 100 km/h = 100000 m/h, daraus folgt: 100000 m/h : 3600 s = 27,777 m/s

$$a = \frac{v}{t} = \frac{27,78 \text{m/s}}{10 \text{s}} = 2,78 \text{m/s}^2$$

Lösung b) $s = \frac{a}{2} \cdot t^2 = \frac{2,78 \text{m/s}^2}{2} \cdot 10^2 \text{s} = 138,89 \text{ m}$

Lösung c) $F = m \cdot a = 1200 \text{kg} \cdot 2,78 \text{m/s}^2 = 3336 \text{N}$

Lösung d) $W = F \cdot s = 1666,8 \text{N} \cdot 277,8 \text{ m} = 463037 \text{ J}$, also etwa 463 kJ.

Beispiel:
Mit sanftem Gasfuß...
Berechne die Arbeit, die verrichtet werden muss, wenn das gleiche Fahrzeug in der doppelten Zeit auf 100 km/h beschleunigt wird.

Lösung: $a = \frac{v}{t} = \frac{27,78 \text{m/s}}{20 \text{s}} = 1,389 \text{m/s}^2$

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2 = \frac{1,389 \text{m/s}^2}{2} \cdot 20^2 \text{s} = 277,8 \text{ m}$$

$$F = m \cdot a = 1200 \text{kg} \cdot 1,389 \text{m/s}^2 = 1666,8 \text{N}$$

$$W = F \cdot s = 1666,8 \text{N} \cdot 277,8 \text{ m} = 463037 \text{ J}$$

Die Arbeit ist die gleiche (überrascht Sie das?).
Die Beschleunigung ist nach dem Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz auf 1,389 m/s^2 halbiert, die Wegstrecke bis zum Erreichen der Endgeschwindigkeit auf 277,8 m verdoppelt. Die Kraft, die zur gleichmäßigen Beschleunigung erforderlich ist beträgt nur die Hälfte, 1666,8 N. Da die Arbeit aber das Produkt aus Kraft und Zeit ist, ist das Ergebnis unverändert 463 kJ.
Aber Achtung: Die Rechnungen gelten wiederum nur im reibungsfreien Raum!

Energie

Formelzeichen *E*, Einheit J (Joule)
Energie tritt in unterschiedlichen Formen auf: mechanische, chemische, Wärme-, Kern- und elektrische Energie. Im Rahmen dieser Arbeitshilfe klammern wir die Kernenergie aus.
Energie ist die Fähigkeit eines physikalischen Systems, **Arbeit** zu verrichten. Energie kann in Arbeit verwandelt werden, die Arbeit in Energie (daher auch die gleiche Einheit Joule)

Beispiel:
Wie viel Energie ist für die Beschleunigungsarbeit in den Beispielen aus dem vorigen Abschnitt nötig?
Lösung: 2,25 kJ (Fahrrad) bzw. 463 kJ (Auto)

Der **Wirkungsgrad** eines Ottomotors liegt bei etwa 32%. Nur dieser Prozentsatz der eingesetzten Energie (Benzin) wird in mechanische Nutzenergie umgesetzt, der Rest verpufft als Wärme.
Die tatsächlich erforderliche Energie berechnet sich wie folgt:

$$E = \frac{463\,\mathrm{kJ}}{0,32} = 1447\,\mathrm{kJ} = 1,45\,\mathrm{MJ}$$

Ein Liter Benzin enthält etwa 31 MJ Energie.
(1 kg Benzin ~ 41,85 MJ, Dichte 0,72-,76 g/cm^3, 1 Liter = ca. 740 g)

Kinetische Energie:
Die zur Beschleunigung tatsächlich verbrauchte Energie wird dem Körper in Form von **Bewegungsenergie** (= kinetische Energie) zugefügt. Insofern ist es eigentlich nicht richtig, von "verbrauchter" Energie zu sprechen, denn sie ist ja in der bewegten Masse gespeichert.
Die kinetische Energie ist abhängig von der Masse des Körpers und der augenblicklichen Geschwindigkeit:

$$E_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2 \xrightarrow{oder} J = \frac{kg}{2} \cdot (m/s)^2$$

Sie beträgt im konkreten Fall: $E_{kin} = \frac{1200\,\mathrm{kg}}{2} \cdot (27,78\,\mathrm{m/s})^2 = 463037\,\mathrm{J} = 463\,\mathrm{KJ}$

Aufgabe:
Berechne die kinetische Energie;
  a) eines Fahrzeugs mit m = 1,2 t und einer Geschwindigkeit von 100 km/h
  b) eines Fahrzeugs mit m = 4,8 t und einer Geschwindigkeit von 50 km/h

Lösung: Beide Fahrzeuge haben die gleiche kinetische Energie (gerundete Zahlen führen zu geringfügig abweichenden Ergebnissen)

$$\frac{100000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}} = 27,78\,\mathrm{m/s}$$

$$Ekin = \frac{1200\mathrm{kg}}{2} \cdot 27,78^2 = 463037\,\mathrm{J} = 463\,\mathrm{KJ}$$

$$\frac{50000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}} = 13,89\,\mathrm{m/s}$$

$$Ekin = \frac{4800\mathrm{kg}}{2} \cdot 13,89^2 = 463037\,\mathrm{J} = 463\,\mathrm{KJ}$$

Aufgabe:
Berechne die kinetische Energie eines 1200 kg schweren Fahrzeugs bei einer Geschwindigkeit von 50 bzw. 100 km/h!

$$\frac{50000m}{3600s} = 13,89 m/s$$

$$Ekin = \frac{1200kg}{2} \cdot 13,89^2 = 115759J \approx 116KJ$$

$$\frac{100000m}{3600s} = 27,78 m/s$$

$$Ekin = \frac{1200kg}{2} \cdot 27,78^2 = 463037J \approx 463KJ$$

Lösung: Bei doppelter Geschwindigkeit erhöht sich die kinetische Energie um das vierfache. Entsprechend verlängert sich der Bremsweg!

Energieerhaltung

Diese Energie ist im bewegten Körper gespeichert Wenn ich mit dem Auto gegen einen Baum fahre, wird die durch Arbeit gewonnene Bewegungsenergie wieder frei: Ein Haufen Schrott (Verformungsenergie), viel Krach (Schallenergie) und viel Wärme (Wärmenergie), die sich allerdings schnell verteilt hat. Wenn ich auf Null herunterbremse ist die Energie nicht verloren: Die kinetische Energie des Fahrzeugs hat sich in Wärme verwandelt (Bremsbelege werden heiß). Diese Wärme ist leider nicht nutzbar, daher ist es im praktischen und nichtphysikalischen Sinn doch nicht so ganz abwegig, von verbrauchter Energie zu sprechen.

Mensch und Energie

Mit Recht kann jeder von sich behaupten, er/sie sei Solargetrieben! Jeder Geistesblitz, jede Muskelbewegung und jedes Grad menschliche Wärme haben ihren energetischen Ursprung in den kernphysikalischen Prozessen im Zentrum der Sonne. Über die Photosynthese der grünen Pflanzen wird die solare Strahlungsenergie (bio-)chemisch in Form von Nährstoffen (Kohlenhydraten, Fette, Proteine) gebunden. Diese Nährstoffe nehmen wir beim Essen als "Treibstoff" zu uns. Benzin, Diesel und Heizöl sind so gesehen natürlich auch solare Energiequellen.
In einem Gramm **Kohlenhydrat** stecken ca. 16760 Joule (=16,8 kJ), in einem Gramm **Fett** ca. 39390 J (= 39,4 kJ) und in einem Gramm **Protein** 23880 Joule (= 23,9 kJ) Energie. Im Falle der Proteine werden allerdings nur ca. 78% des Energiegehalts (physikalischer Brennwert) tatsächlich vom Körper umgesetzt. Der physiologische Brennwert liegt hier bei. 18860 J (= 18,9 kJ).
Mit diesen Zahlen lassen sich oben aufgeführte Tätigkeiten wie Treppensteigen oder Fahrradfahren leicht in Nährstoffmengen aufwiegen.

Die (Grund-)Stoffwechselfunktionen aller lebenden Organismen erfordern Energie. Der hier entstehende Energiebedarf wird als **Grundumsatz** (Ruhe-Nüchtern-Umsatz) bezeichnet. Er ist abhängig vom Alter, vom Geschlecht und vom Körpergewicht.

Täglicher Grundumsatz (Faustregel): 4,2 kJ pro kg Körpergewicht und Stunde, 100 kJ je kg und Tag

4,2 kJ ist übrigens ziemlich genau die Energiemenge, die erforderlich ist, um 1 Liter Wasser (1 kg) um 1° C (oder 1 K = Kelvin) zu erwärmen. Ein 70 kg schwerer Mensch könnte mit seinem täglichen Grundumsatz 1 Liter Wasser um 70° C erwärmen.

Anteil der einzelnen Organe am Grundumsatz

Gehirn	25%
Magen-Darm-Trakt, Leber, Niere	35%
Skelettmuskulatur	20%
Herz	6%
Rest	14%

Grundumsatz je Tag (Quelle: Deutsche Gesellschaft für Ernährung)

Alter Jahre	**weiblich kJ**	**männlich kJ**
25	5990	7330
45	5570	6780
65	5190	6200

Jede über die Grundfunktionen hinausgehende Leistung (z.B. Bewegung) erfordert zusätzliche Energie. Dieser Bedarf wird als **Leistungsumsatz** bezeichnet

Leistungsumsatz je Minute bei verschiedenen Tätigkeiten
(Richtwerte für durchschnittliche Erwachsene)
Quelle: Arens/Günther, Ernährungslehre, Schroedel-Verlag, Hannover 1982

Tätigkeit	**kJ pro Minute**	**Tätigkeit**	**kJ pro Minute**
Fernsehen	0,4	Boden aufwischen (gebückt)	22
Auto fahren	3	Zu Fuß gehen,mit 20kg Last, 4km/h	22
Küchenarbeit (sitzend)	4	Wäsche spülen	23
Küchenarbeit (stehend)	7	Tanzen (Wiener Walzer)	24
Zu Fuß gehen Auf ebenem Weg, 2 km/h	7	Rumba	29
Einfaches Aufräumen	8	Radfahren, ebene Straße, ohne Gegenwind, 20km/h	33
Küchenarbeit (gehend)	8	Skilaufen (4 km/h)	35
Teigkneten	10	Zu Fuß gehen, treppauf, 60 Stufen/min	35
Geschirrspülen	11	Laufen (9 km/h)	42
Radfahren, ebene Straße, ohne Gegenwind, 10km/h	12	Schwimmen (Rücken, 37m/min)	46
Kartoffelschälen	12	Schwimmen (Brust, 50m/min)	47
Staubsaugen	13	Fußball spielen	55
Fensterputzen	14	Laufen (15 km/h)	55
Zu Fuß gehen,mit 10kg Last, 4km/h	15	Schwimmen (Kraulen), 50m/min	58
Fegen	15	Skilaufen (10 km/h)	63
Bettenmachen	17		
Schwimmen (Brust, 20m/min)	19		
Tischtennis	22		
Tanzen (Foxtrott)	22		

Bei der Berechnung des tatsächlichen Energiebedarfs (**Gesamtenergiebedarf)** für bestimmte Tätigkeiten ist der Grundumsatz und der Leistungsumsatz zu addieren und mit der Zeitdauer der Tätigkeit zu multiplizieren.

(Grundumsatz/min + Leistungsumsatz/min) × Zeit/min = Gesamtenergiebedarf
Beispiel: Ich jogge 30 min lang bei einer Geschwindigkeit von 9 km/h. Meine Masse beträgt 70 kg. Wie viel Energie brauche ich dazu?

Aus der Tabelle oben entnehmen wir einen Leistungsumsatz von 42 kJ pro Minute.
Multipliziert mit 30 (min) erhalten wir 1260 kJ
Der Grundumsatz berechnet sich wie folgt:
4,2 kJ/h : 2 × 70 kg = ca. 141 kJ

Der Gesamtenergiebedarf beträgt also ca. 1401 kJ

Zur Belohnung gönne ich mir zwei Vorabendserien im Fernsehen mit einer Gesamtlänge von einer dreiviertel Stunde:
Der Leistungsumsatz beim Fernsehen liegt bei 0,4 kJ × 45 min = 18 kJ
Der Grundumsatz beträgt 4,2 kJ/h : 60 min × 45 min × 70 kg = 3,15 kJ × 70 kg = ca. 220 kJ

Der Gesamtenergiebedarf beträgt hier ca. 238 kJ
Der Gesamtenergiebedarf pro Tag lässt sich folgender Tabelle entnehmen:

Alter	**Grundumsatz (kJ)** (Frau/Mann)	**Leistungsumsatz (kJ)** (Frau/Mann)	**Gesamtenergiebedarf (kJ)** (Frau/Mann)
25 Jahre	6000/7300	3200/3600	9200/10900
45 Jahre	5600/6800	2800/3200	8400/10000
65 Jahre	5200/6200	2300/3000	7500/9200

Zu Deckung des Gesamtenergiebedarfs mögliche Nahrungszufuhr:

Gesamtenergieverbrauch* bei einem Körpergewicht von 60 kg Tätigkeiten	**kJ**	**Deckung des Energieverbrauchs** z.B. durch folgende Lebensmittel möglich
1 h 10 min Treppensteigen	2340	1 Tafel Vollmilchschokolade
1 h 10 min Tischtennisspielen	1470	1 Bratwurst (100g)
1 h 12 min Fensterputzen	1415	1 Stück Sahnetorte
1 h 10 min Brustschwimmen	1330	1 Portion Erdnüsse (50g)
25 min Tanzen	660	1 Glas Bier (0,3 l)
2 h 40 min Kartenspielen	225	1 Glas Weinbrand (20 ml)
45 min Radfahren (10 km/h)	370	1 Apfel
40 min Abwaschen	315	1 Apfelsine
40 min Schreiben	85	1 Stück Würfelzucker

*Gesamtenergieverbrauch = Grundumsatz + Leistungsumsatz

Wie viel Energie steckt im Essen?

Nahrungsmittel (je 100g)	kJ	Nahrungsmittel (je 100g)	kJ
Gurken	54	Erdbeermarmelade	1100
Kopfsalat	71	Brötchen	1130
Tomaten (roh)	88	Bockwurst	1163
Champignons (frisch)	113	Thunfisch in Öl	1189
Erdbeere	155	Schmelzkäse (45% Fett i. d. Tr.)	1235
Cola	185	Rinderhack	1243
Bier (Export, 4 - 4,5° Alk.)	206	Ölsardinen in Dose	1277
Ananas	238	Kasseler	1294
Äpfel	251	Honig	1361
Milch (3,5% Fett)	269	Gummibärchen	1377
Pflaumen	280	Erdnüsse	1399
Jogurt (3,5% Fett)	286	Bratwurst (vom Schwein)	1436
Kabeljau (Dorsch)	298	Mortadella	1449
Kartoffeln	301	Nudeln	1541
Rotwein	311	Edamer Käse (45% Fett i. d. Tr.)	1550
Erbsen (roh)	331	Knäckebrot	1550
Seelachs	336	Zwieback	1596
Banane	402	Karamellbonbons	1630
Schokoladenpudding	441	Parmesankäse	1634
Reis (gekocht)	445	Haferflocken	1680
Rinderfilet	487	Popcorn	1693
Brathähnchen	559	Butterkeks	1840
Kondensmilch	559	Eis (Vanille-Schoko)	1848
Schweineschnitzel	655	Kräcker	1890
Hühnerei	664	Salami	2176
Speisequark (40% Fett i. d. Tr.)	718	Vollmilchschokolade	2209
Lachs	848	Nutella o. ä.	2222
Hering in Tomatensauce	857	Speck (durchwachsen)	2608
Hering	869	Haselnüsse	2755
Schnaps (38°)	903	Mayonnaise (80% Fett)	3058
Pizza	970	Margarine	3062
Avocado	975	Butter	3167
Whiskey	1000	Sonnenblumenöl	3772
Weißbrot	1042		
Pommes frites	1054		

Leistung

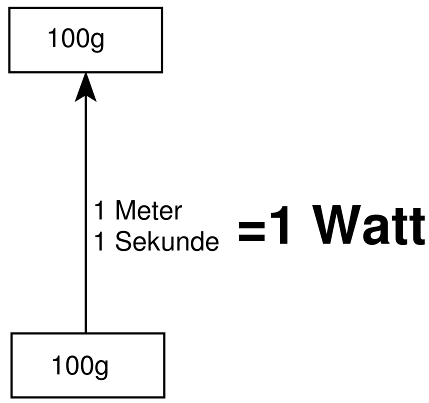
Formelzeichen P (engl.: Power) Einheit W (Watt)
Leistung ist der Quotient aus der verrichteten Arbeit W und der dazu benötigten Zeit t

$$P = \frac{W}{t}$$

Ein **Watt** ist die Leistung, bei der in 1 Sekunde die Energie 1 Joule (oder 1 Newtonmeter) umgesetzt wird:

$$1\mathrm{W} = 1\frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{s}} = 1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

Ein **Watt** ist die Leistung, die nötig ist um eine 100g-Tafel Schokolade in einer Sekunde um etwa* einen Meter anzuheben.
Ein **Kilowatt** (1 kW = 1000 W) ist die Leistung, die nötig ist
- um 1000 Tafeln Schokolade (= 100 kg) in einer Sekunde um etwa* einen Meter anzuheben
- oder einen gefüllten 10l Eimer (Masse ca. 10 kg, Gewichtskraft ca. 100 N) in einer Sekunde um etwa* 10 m anzuheben



Beispiel:
Wie viel Watt Leistung sind notwendig, um das oben angeführte Auto in 10 Sekunden auf 30 m/s zu beschleunigen?
Wie viel Arbeit ist verrichtet worden?

Lösung:

$$x = 3333\,\mathrm{N} \cdot 139\,\mathrm{m} = 463287\,\mathrm{J} = 463\,\mathrm{kJ}$$

Daraus folgt

$$P = \frac{463287\mathrm{J}}{10\mathrm{s}} \approx 46328{,}7\mathrm{W} \approx 46\mathrm{KW}$$

Beispiel:
Welche Leistung muss ich erbringen, um eine halbe Stunde lang mit einer Geschwindigkeit von 9 km/h zu joggen?

Gesamtenergieverbrauch (Grund- und Leistungsumsatz): ca. 1400 kJ

$$P = \frac{1400000\mathrm{J}}{1800\mathrm{s}} \approx 778\,\mathrm{W} \approx 0{,}78\mathrm{kW}$$

Beispiel:
Auf eine Glühlampe steht „60 W“. Wie viel Energie gibt sie in einer dreiviertel Stunde ab?

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t \Rightarrow 60\,\mathrm{W} \cdot 2700\,\mathrm{s} = 162000\mathrm{J} = 162\mathrm{kJ}$$

Leistungen in Watt

Fahrradlampe	6W	0,006kW
Rasierapparat	10W	0,010kW
Glühlampe	25-200W	0,025-0,2kW
Mensch (Dauerleistung)	70-100W	0,070-0,1kW
Mensch (Spitze)	1400W	1,4kW
Pferd (Dauerleistung)	500W	0,5kW
1"PS"	736W	0,736kW
Bohrmaschine	400-1000W	0,4-1kW
Staubsauger	800-1000W	0,8-1kW
Bügeleisen	1000W	1kW
Mofa	1000W	1kW
Elektroherd (4Platten)	5000W	5kW
Auto	20000-100000W	20-100kW
LKW (Lastzug, 320 PS)	237000W	237kW
Lokomotive	3000000W	3000kW
IC-Triebkopf	10000000W	10000kW
Flugzeug (Airbus A 300)	100000000W	100000kW
Generator im Kraftwerk Itaipu (Brasilien)	740000000W	740000kW

Arbeit und Energie

Einkaufstüten schleppen:
Mit meinem Samstagvormittageinkauf schwer bepackt schleppe ich mich hinauf in den 10m hoch gelegenen dritten Stock. Warum fällt es mir schwer? Weil die Erde etwas dagegen zu haben scheint, dass ich mich von ihr entferne. Die Schwerkraft verlangt meinem Körper, der ja nicht nur die Tüten, sondern auch sich selbst heraufzubringen hat, eine Menge ab und muss Arbeit (Arbeit entlang eins Weges) leisten: **Hubarbeit** (W_h), die wie jede Arbeit in Joule gemessen wird.

Wenn ich oben angekommen bin, haben meine Muskeln **Energie** verbraucht. Einen Großteil der im Muskel verbrannten Nährstoffe wird dabei als **Wärme** frei, nur etwa 30% werden in nutzbare mechanische Arbeit (= Hubarbeit)verwandelt.
Schritt für Schritt die Treppe hinauf habe ich eine andere Art von Energie gewonnen, nämlich **Lageenergie** oder **Potentielle Energie** (potentiell deshalb, weil diese Energie in der Regel nicht durch ein „Rückwärts-die-Treppe-Hinunterfallen“ in kinetische Energie verwandelt wird). Die geleistete Hubarbeit ist gleich der potentiellen (Lage-)Energie, beide werden in Joule gemessen. Hubarbeit erfolgt gegen die Schwere- oder Fallbeschleunigung (s. o.). Die Hubarbeit W_h bzw. die Energie E_{pot} ist das Produkt der hinaufbewegten Masse (*m* in kg), der Höhe (*h* in m) und der Fallbeschleunigung *g*: (9,81 m/s^2)

$$W_h = m \cdot g \cdot h \qquad \text{oder} \qquad E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Dies spiegelt unsere tägliche Erfahrung: Je schwerer und je höher, desto mehr Arbeit bzw. Energie ist notwendig.
Übrigens ist es dabei abgesehen von der unterschiedlichen Reibung völlig egal, auf welchem Weg ich einen gegebenen Höhenunterschied bewältige, ob ich nun ganz normal die Treppe hinaufgehe, oder die Feuerleiter empor klettere: Die Hubarbeit bzw. die potentielle Energie ist stets die gleiche, sie hängt bei konstanter Schwerebeschleunigung allein von der Masse des Körpers und dem Höhenunterschied ab.

Ich selbst bringe auf der Erdoberfläche 70 kg auf die Waage, meine Masse beträgt also 70 kg (auf dem Mond wiege ich erheblich weniger, meine Masse allerdings bleibt auch dort unverändert 70 kg). Die Tüten wiegen zusammen 10 kg, insgesamt kommen wir auf eine Masse von 80 kg. Die zu überwindende Höhe ist wieder 10 m.

$$E_{pot} = 80\text{kg} \cdot 9,81\text{m}/\text{s}^2 \cdot 10\text{m} = 7848\text{J} = 7,848\text{kJ}$$

Wenn ich oben angekommen bin, bin ich schön warm geworden.: Der Wirkungsgrad meiner Muskeln liegt ja bei nur etwa 30%, d.h. gut 70% der "verbrannten" Energie geht als Abwärme verloren.
Zum Tütenschleppen muss ich also insgesamt 7,8 kJ : 0,3 = 26,2 kJ investieren.
Ein Blick in die Nährstofftabelle sagt mir, dass 100 g Spinat einen Energiewert von 92 kJ haben. Mit etwa 35 g Spinat hätte ich den Energieverlust rein rechnerisch wieder wettgemacht.

Aufgabe:
Wie viel Energie ist erforderlich um mich (m = 70 kg) mit einem 10 kg schweren Rucksack 900 m hoch zu tragen? Wie viel Gramm Kartoffeln (Energiegehalt: 356 kJ pro 100 g) muss ich dafür essen?*

$$E = 80\text{kg} \cdot 9,81\text{m}/\text{s}^2 \cdot 900\text{m} = 706\text{kJ}$$

Wirkungsgrad der Muskeln ca. 30%
706 : 0,3 = 2354 kJ, entsprechend etwa 660 g* Kartoffeln.

*Der tatsächliche Energiebedarf ist größer, weil der Körper einen ständigen Grundumsatz hat (z.B. Aufrechterhaltung der Körpertemperatur) und weil Energie zur Überwindung der Reibung durch unsere Füße aufgewandt werden muss: Wäre dem nicht so, könnten wir, nachdem wir auf die gewünschte Gehgeschwindigkeit beschleunigt haben, ohne Energieeinsatz unendlich lange durch unsere (hier ja meist horizontalen) Fußgängerzonen laufen!

Erhaltung der mechanischen Energie

Um in das dritte Stockwerk zu gelangen, habe ich, wie oben berechnet, eine Hubarbeit von 7,8 kJ geleistet und meinen Tüten und mir eine ebenso große Lageenergie (E_{Pot})zugefügt. Sollte ich (nur einmal angenommen) auf die Idee kommen, mitsamt den Tüten aus dem Fenster zu springen, würde die Lageenergie in kinetische Energie verwandelt. Die Wucht, mit der ich im Vorgarten aufpralle lässt sich bemessen: Sie beträgt 7,8 kJ (vergleiche dazu auch die Betrachtungen rund um das Auto!).
Die Lageenergie wird allerdings nicht schlagartig in kinetischer Energie verwandelt. In großer Höhe herrscht noch die Lageenergie vor, die kinetische Energie und die Fallgeschwindigkeit sind noch relativ gering. Die Fallgeschwindigkeit steigt und der Boden kommt näher (Lageenergie geringer), dafür steigt die kinetische Energie, bis sie beim Aufprall ihr Maximum erreicht. Daraus lässt sich als Gesetz ableiten:

Lageenergie + kinetische Energie = konstant

Wie groß ist die Aufprallgeschwindigkeit beim Fall?
Die Aufprallgeschwindigkeit ist gleich der Wurzel aus dem doppelten Produkt aus Fallbeschleunigung und Fallhöhe:

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

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10} = 14\,\mathrm{m/s}$$

$$14\,\mathrm{m/s} \cong 14\,\mathrm{m} \cdot 3600\,\mathrm{s} \cong 50425\,\mathrm{m/h} = 50{,}4\,\mathrm{km/h}$$

Es soll immer noch Leute geben, die unangeschnallt im Stadtverkehr herumfahren. Ob sie auch aus dem dritten Stockwerk springen würden?

Energie und Wärme

Wasser kochen:
Ich bin in meiner Wohnung angekommen und habe meine "Lageenergiegeladenen" Tüten in der Küche abgestellt. Jetzt einen Kaffee! Auch hier brauche ich Energie:
Um ein Gramm Wasser (etwa ein Kubikzentimeter) um ein Grad zu erwärmen, bedarf es 4,19 J (Joule) Energie. Dagegen wird ein Gramm Luft schon bei einer Zufuhr von 1,01 Joule um ein Grad wärmer. Die **Wärmekapazität** *c* (engl. capacity) ist eine Materialkonstante, daher heißt sie genauer "Spezifische Wärmekapazität".

$$c = \frac{W_Q}{m \cdot \Delta\vartheta} \xrightarrow{oder} W_Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta - \vartheta_0$$

Als Einheit für c gilt $1\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{K}}$ (kJ = Kilojoule = 1000 J, K = Grad Kelvin, eine Temperaturerhöhung um 1° C entspricht 1 K)

WQ ist die Energie in Kilojoule, *m* die Masse in kg und $\Delta\varphi$ die Differenz zwischen Anfangs- und Endtemperatur in K.

Ich bringe 1,5 l Wasser mit einer Ausgangstemperatur von 26,3° C zum Sieden. Wie viel Energie muss zugeführt werden?

Spezifische Wärmekapazität c des Wassers = 4,19
1,5 l Wasser = Masse 1,5 kg
Temperaturdifferenz $\Delta\varphi$ = 100° C - 26,3° C = 73,7 K

$$W_Q = 4{,}19\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{K}} \cdot 1{,}5\,\mathrm{kg} \cdot 73{,}7\,\mathrm{K} = 463\,\mathrm{kJ}$$

Wie hoch hätte ich meinen Rucksack (s. letzten Abschnitt) damit tragen können?

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

$$h = \frac{E_{pot}}{m \cdot g} = \frac{463000\,\mathrm{J}}{80\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\mathrm{m/s}^2} = 590\,\mathrm{m}$$

Mit dem Auto heizen?

Aufgabe:
Der Fahrer eines schweren Autos jagt mit 250 km/h über die Autobahn und muss am Ende eines Staus abrupt auf 0 km/h abbremsen.
Berechne die kinetische Energie.
Berechne zunächst, um wie viel °C eine 100 qm große und 2,50 m hohe Wohnung wärmer würde, wenn die Wärme, die beim Bremsen entsteht, ohne Verluste in diese Wohnung transportiert werden könnte (Die Wohnung sei absolut gedämmt)

$$\frac{250000\,\mathrm{m}}{3600\,\mathrm{s}} = 69{,}4\,\mathrm{m/s}$$

$$Ekin = \frac{2000\mathrm{kg}}{2} \cdot 69{,}4^2 = 4816360\,\mathrm{J} = 4816{,}3\,\mathrm{KJ}$$

Luft hat (bei 0° C) eine Dichte von 1,29 g/l. Ein Kubikmeter Luft (1000 l) hat infolgedessen eine Masse m von 1,29 kg. Die Wohnung umfasst einen Luftraum von 322,5 m^3. Die Wärmekapazität c von Luft beträgt 1,01 (vergleiche Wasser 4,19).

Aus

$$W_Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$$

folgt

$$\Delta\vartheta = \frac{W_Q}{c \cdot m}$$

$$\Delta\vartheta = \frac{4816{,}4\,\mathrm{kJ}}{1{,}01 \cdot 322{,}5} = 14{,}78\,\mathrm{K}$$

Die Wohnung könnte auf diese Weise um fast 15° C erwärmt werden.
Diese Rechnung gilt natürlich nur unter der Annahme absolut gedämmter Wand und Fensterflächen, zeigt aber, dass der Begriff "über die Autobahn heizen" durchaus Sinn macht.

Wärme, Energie und Leistung

Wir haben berechnet, dass wir 463 kJ Energie ins Wasser "hineinstecken" müssen um es zum Sieden zu bringen. Je nach Tauchsiedertyp brauchen wir dazu mehr oder weniger Zeit. Ein großer, starker Tauchsieder schafft es natürlich schneller und zwei sind schneller als einer.
Wenn 1000 W auf dem Tauchsieder steht, bedeutet das, dass er 1000 Watt **Leistung** (nicht mit Energie verwechseln!) abgeben kann.
Erinnern wir uns: 1 Watt ist die Leistung, die nötig ist, um eine Arbeit von 1 Nm oder 1 J **in einer Sekunde** zu verrichten .Das ist etwa die Leistung, die erbracht werden muss, um eine 100g-Tafel Schokolade in einer Sekunde um einen Meter anzuheben.

$$1\mathrm{W} = 1\frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{s}} = 1\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

Wenn ich eine schwere Einkaufstüte (und mich selbst!) in den dritten Stock bringe, leistet mein Körper eine ganze Menge. Wenn nun oben auch noch das Telefon klingelt und ich mit den Tüten die Treppe hinauf fliege, muss ich besonders viel und bin ganz außer Atem, weil meine Muskeln förmlich nach Sauerstoff schreien.

Ich könnte es ja eigentlich auch ganz gemächlich angehen lassen und mir die Enttäuschung ersparen, dass doch nicht diejenige anrief, die ich eigentlich erwartete. In diesem Fall, wäre die Leistung, die ich meinem Körper abfordere geringer, dafür brauche ich länger.

Jetzt kann ich berechnen, welche Leistung meinem Körper beim Tütenschleppen abverlangt wird: Nehmen wir an, jede Tüte wiegt 5 kg, ich selbst bringe eine Masse von 70 kg ein. Um die Gesamtmasse von 80 kg zu heben ist eine Kraft von 80 kg × 9,81 m/s^2 = 784,8 N erforderlich. Meine Wohnung sei 10 m hoch gelegen. Wenn ich die Last in einer Minute (= 60 s) hinaufbringe ergibt sich:

$$P = \frac{784{,}8\,\mathrm{N} \cdot 10\,\mathrm{m}}{60\,\mathrm{s}} = \frac{7848\,\mathrm{J}}{60\,\mathrm{s}} = 130{,}8\,\mathrm{W}$$

Ich schaffe es auch in 30 Sekunden:

$$P = \frac{784{,}8\,\mathrm{N} \cdot 10\,\mathrm{m}}{30\,\mathrm{s}} = \frac{7848\,\mathrm{J}}{30\,\mathrm{s}} = 261{,}6\,\mathrm{W}$$

Die erforderliche Leistung hat sich, bei halber Zeit verdoppelt.
Die **Arbeit** aber wird dadurch nicht geringer. Auch im gemächlichen Gang die Treppe hinauf besteht sie darin, die Einkaufstüten in den dritten Stock zu bringen.
Arbeit ist, physikalisch gesehen, (bei konstanter Kraft) das Produkt aus Kraft und dem dabei zurückgelegten Weg (Kraft in Newton × Weg in Meter). Leider bleibt die Kraft, die ich für die Tüten und mich brauche immer die gleiche, desgleichen die Höhe (der dritte Stock bleibt stets der dritte Stock).
Auch die **Energie**, die meine Körperzellen für diese Arbeit bereitstellen und die zum Teil (der Rest ist Abwärme) in die Lageenergie der Tüten (und meine eigene) hineingesteckt wird, ist stets die gleiche. Sollte ich auf die Idee kommen mitsamt den Tüten aus dem Fenster zu springen, ist der Aufprall im Vorgarten gleich heftig, egal ob ich langsam die Treppe hinaufgeschnauft bin oder zwei Stufen auf einmal genommen habe.
Ich kann die Leistungsabgabe meines Körpers verringern, indem ich langsamer gehe. Der Zeitaufwand wird größer.
Die Energie, die für die Arbeit notwendig ist, ist damit das Produkt aus der aufgebrachten Leistung und der Zeitdauer:

$$W = P \cdot t$$
$$\rightarrow 1\mathrm{J} = 1\mathrm{Ws}$$

Wie viel Energie habe ich verbraucht bzw. welche Arbeit habe ich verrichtet, wenn ich nach einer Minute an der Haustür angekommen bin?

$$W = 130{,}8\,\mathrm{W} \cdot 60\mathrm{s} = 7848\mathrm{J} = 7{,}848\mathrm{kJ}$$

Daran ändert auch der Sprint in 30 Sekunden nichts:

$$W = 261{,}6\,\mathrm{W} \cdot 30\,\mathrm{s} = 7848\mathrm{J} = 7{,}848\mathrm{kJ}$$

Welche Leistung sollte mein Tauchsieder bringen?
Der 1000W-Tauchsieder gibt pro Sekunde 1000 Joule (= 1 kJ) Energie ab
Um 1,5 Liter Kaffeewasser zum Sieden zu bringen, sind nach obiger Rechnung 463 kJ Energie erforderlich.
Das schafft unser Tauchsieder in

$$t = \frac{W}{P} = \frac{463000\,\text{J}}{1000\,\text{W}} = 463\,\text{s}$$, also in fast 8 Minuten.

Aufgabe:
Berechne die Energie, die benötigt wird, um 2 Liter Wasser mit einem Tauchsieder (2300 W) von 15° C auf 85° C zu erhitzen. Wie viel Zeit vergeht dabei?

$$W_Q = 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 2\text{kg}\cdot 80\text{K} = 670\text{kJ}$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{670000\,\text{J}}{2300\,\text{W}} = 291\text{s} \rightarrow 4\,\text{min}\,51\text{s}$$

Mit einem selbstgebauten Tauchsieder aus gewendeltem Konstantandraht wird 20 ml Wasser von 20° C auf 50° C erhitzt. Dabei vergehen 4 Minuten. Berechne die in dieser Zeit abgegebene Energie und Leistung:

$$W_Q = 4{,}19\,\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}\cdot\text{K}}\cdot 0{,}02\text{kg}\cdot 30\text{k} = 2{,}514\text{kJ}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{2514\,\text{J}}{240\,\text{s}} \approx 10{,}5\text{W}$$

Aufgabe:
1 Liter Wasser wird mit einem 1500W Tauchsieder erhitzt. Die Ausgangstemperatur ist 20° C. Wie warm ist es nach 1,2,3... Minuten?
Überprüfe diese Rechnung in der Praxis! Warum weichen die gemessenen Temperaturen etwas vom Rechenergebnis ab?

$$W = P\cdot t$$
$$W = 1500\text{W}\cdot 60\text{s} = 90000\text{J} = 90\text{kJ}$$
$$W = c\cdot m\cdot \Delta\vartheta$$
$$90\text{kJ} = 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 1\text{kg}\cdot(\vartheta - 20\text{K})$$
$$\vartheta = \frac{90\text{kJ}}{4{,}19\cdot 1\text{kg}} + 20\text{K} = 41{,}5°\,\text{C}$$

Um zu ermitteln, wie warm das Wasser in 2, 3 oder 4 Minuten ist, setzen Sie in die erste Formel statt 60 s die Werte 120 s, 180 s bzw. 240 s ein.
Das Rechenergebnis weicht von den tatsächlich gemessenen Werten ab: Während des Aufheizens verliert das Wasser ständig Energie (= Wärme) an das umgebende Medium (= Luft). Der Wärmeverlust ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Außenmedium und von der Größe, Form und Materialbeschaffenheit des Wasserbehälters.

Wie "hoch" steigt siedendes Wasser?
Jetzt sei endlich die richtige Lösung auf die in der Einleitung gestellte Frage verraten:
Es sind 34251 Meter! Das ist dreimal so hoch wie ein Jumbo-Jet fliegt

$$WQ = 4,2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 5\text{kg}\cdot 80\text{K} = 1680\text{kJ} = 1680000\text{J}$$

$$\Rightarrow Whub = 1680\text{kJ} = 5\text{kg}\cdot 9{,}81\text{m}/\text{s}^2\cdot h$$

$$\Rightarrow h = \frac{1680000\text{J}}{5\text{kg}\cdot 9{,}81\text{m}/\text{s}^2} = 34251\text{m}$$

oder

$$Whub = F\cdot s \Rightarrow s = \frac{Whub}{F}$$

$$F = 5\text{kg}\cdot 9{,}81\text{m}/\text{s}^2 = 49{,}05\text{N}$$

$$s = h = \frac{1680000\text{J}}{49{,}05\text{N}} = 34251\text{m}$$

Was ist eine Kilowattstunde?

Die Kilowattstunde (kWh) ist eine vorwiegend in der Elektrotechnik verwendete Einheit für **Arbeit** oder **Energie** (vergleiche dagegen das Watt als Einheit für **Leistung**).

Nach $W = P\cdot t$ wird die Leistung (Watt) mit der Zeit (Sekunden) multipliziert.
Eine Stunde hat 3600 s. Wenn ein Tauchsieder 3600 s (= 1 h) lang eine Leistung von 1000 W
(= 1 kW) abgeben hat, bezahlen Sie den Preis für eine Kilowattstunde.

$$1\text{kWh} = 3600000\text{J} = 3600\text{kJ} = 3{,}6\text{MJ}$$

Aufgabe:
Eine 60W-Glühlampe leuchtet eine halbe Stunde lang. Welche Arbeit ist zu zahlen?
Lösung:
60 Watt × 0,5 h =
60 Watt × 1800 s = 108000 Ws
108000 Ws : 3600 s =
30 Wh = 0,03 kWh

Aufgabe:
Ein Tageslichtprojektor verbraucht 15 Minuten lang eine Leistung von 250 Watt. Für wie viel kWh ist zu zahlen?
Lösung:
W = 250 W × (15 × 60 s) = 250 W × 900 s = 225000 Ws

Das entspricht 225000 Ws : 3600 s = 62,5 Wh = 0,0625 kWh

Aufgabe:
Eine Kilowattstunde kostet etwa 0,15 Cent. Dieser Betrag würde fällig, wenn ich den 1000W-Tauchsieder eine Stunde lang eingeschaltet ließe (bitte nicht ausprobieren!). Mein Teewasser sprudelt aber schon nach 9 Minuten:

1000 W $\times$ 9 min =
1000 W $\times$ 540 s = 540000 Ws
540000 Ws : 3600 s = 150 Wh = 0,15 kWh

Die Energiekosten für 1,5 l Teewasser ergeben sich aus
0,15 kWh $\times$ 0,15 € = 0,023 €, also 2,3 Cent

Eine **Wattsekunde** (oder ein **Joule**) lässt sich auch in Cent (besser in Bruchteilen eines Cents) ausdrücken

0,15 € : 3600 s = 0,000042 €

Für einen Cent bekommen Sie gegenwärtig 24096 Joule (oder Wattsekunden)

Kalorien und Joule

Die Einheit "Kalorie" ist mit der Einführung des "Joule" aus der Physik verbannt worden. Da sie aber immer noch durch Lehrbücher (zumindest ältere), Heizkostenabrechnungen oder durch die Werbung ("Null-Kalorien, daher topfit!") geistert, sei sie zumindest am Ende dieser Arbeitshilfe erwähnt:
1 Kalorie (cal) ist die Energiemenge, durch die 1 g Wasser um 1 °C erwärmt wird, vergl. dagegen die Definition des Joule als Kraft entlang eines Weges (J = Nm).

$$1\text{cal} = 4{,}1868\text{J}$$

(Haben Sie darin die spezifische Wärmekapazität des Wassers wieder erkannt?)

$$1\text{J} = 0{,}239\text{cal}$$

Beispiel:
In einer Nährstofftabelle steht: 100g Butter hat einen Energiewert von 716 kcal.
Wie viel Joule sind das?
Lösung:
716 kcal $\times$ 4,1868 = 2997 kJ

Beispiel:
Auf meiner Heizkostenabrechnung finde ich unter "Brennstoffverbrauch" die Angabe 16,4 Gcal. Wie viel Joule sind das?

Lösung:
1 Gcal (Gigakalorien) sind 1000000000 cal
1 Gcal $\times$ 4,1868 = 4,1868 GJ
16,4 Gcal $\times$ 4,1868 = 68,7 GJ

Um einen Vergleich mit meinem Stromverbrauch ziehen können, lässt sich dieser Wert auch noch in Kilowattstunden umrechnen:

$$\frac{68600\text{MJ}}{3{,}6\text{MJ}} = 19073\text{kWh}$$

Vergleichen Sie Ihren Heizenergiebedarf mit Ihrer Stromabrechnung!

Pferdestärke (PS) und Kilowatt (kW)

Wie stark ist ein Pferd? Offenkundig gibt es verschiedene Pferde, junge und alte, männliche und weibliche und kaum eins ist genauso stark wie das andere. Im 18. Jahrhundert als Einheit für **Leistung** eingeführt. Der Begriff "Pferdestärke" hätte daher stets "Pferdeleistung" heißen müssen. James Watt, der Erfinder der Dampfmaschine rechnete den Bergwerks-besitzern vor, wie viel Pferde sie an den Göpeln durch die neue Technik einsparen könnten: Seine Dampfmaschine leistete soviel wie 12 Pferde (das Pferd, dass er für seine Versuche benutzte, konnte eine 75kg schwere Last in einer Sekunde um einen Meter anheben).
Die Einheit "PS" ist heute amtlich nicht mehr zugelassen

1 PS = 0,7355kW

1 kW = 1,36 PS

Beispiel:
Mein Auto hat 55 PS. Wie viel KW sind das?

55 PS $\times$ 0,7355 = 40,45 kW

Energieverbrauch auf der Erde

"Der augenblickliche Welt-Energieprimärverbrauch pro Jahr der heute etwa 5,8 Mrd. Menschen beträgt ungefähr 13 Terawatt pro Jahr*.
Dies entspricht etwa der körperlichen Arbeitsleistung von 130 Milliarden kräftigen "Energie-Sklaven", die jeden Tag zwölf Stunden lang ohne Pausen in unserem Auftrag mit voller Pulle auf dieser Erde malochen. (Eine "Sklavenstärke" ist hierbei als eine Viertel-Pferdestärke oder etwa 200 Watt angenommen - was recht hoch gegriffen ist, wenn man dies mit einem Profi in einem Fitnesszentrum vergleicht, der vielleicht eine Stunde lang 170 Watt wegstrampeln kann.) Jeder Erdenbürger hält sich also im Schnitt 22 "E-Sklaven" und kann dadurch seine persönliche Arbeitsfähigkeit auf das 22fache steigern - mit entsprechend höheren Umweltauswirkungen.
Diese Durchschnittswerte verdecken jedoch die reale Situation, die sich durch extreme Unterschiede zwischen den Ländern und zwischen den Menschen in einem Land auszeichnet. So befehligt z.B. ein US-Amerikaner im Schnitt 110, ein Deutscher 60, ein Chinese 8 und ein Bangladeschi nicht einmal einen einzigen solcher "E-Sklaven". Wer einen Mittelklassewagen mit sagen wir etwa 60 PS fährt, ahnt gewöhnlich nicht, dass er 230 "E-Sklaven" unter der Haube hat, ein Mercedesfahrer der S-Klasse mit 190 PS hat sogar die dreifache Anzahl. Wenn im Jahre 2025 nach heutiger Hochrechnung die Erdbevölkerung auf 8,4 Milliarden angewachsen sein wird und alle den Lebensstil eines US-Amerikaners leben wollten, würde die Erde von über 00 Milliarden rücksichtslosen "E-Sklaven" traktiert."

Aus:Hans-Peter Dürr, "Die "Bankräuber-Gesellschaft" hat keine Zukunft,
GEW-Zeitung 5/97

*Ein Terawatt = 1000 Gigawatt = 1 Million Megawatt =
1 Milliarde Kilowatt = 1 Billion Watt.