


7. Leistung, Wirkungsgrad, Energieentwertung, "Stromkosten"


127 i Energie ist eine unserer lebensnotwendigen Ressourcen. Darum gibt es auch eine Energiewirtschaft und einen Energiehaushalt, reden wir von Energiekosten. Mit ein paar wenigen Betrachtungen widmen wir uns in diesem Kapitel diesem Sachverhalt.

Die Leistung

128 i Für die Charakterisierung der "Stärke" eines Motors oder einer Maschine ist die **Leistung** die geeignete physikalische Grösse. Die zugehörige Einheit heisst **Watt**, trotzdem werden Motorleistungen noch heute häufig in der veralteten Einheit **PS** angegeben.

Wenn wir die von einem System während einer bestimmten Zeiteinheit bezogene oder abgegebene Energie (Arbeit) benennen wollen, so machen wir das ebenfalls mit der Leistung.

129  Mit Hilfe eines Tauchsieders von bekannter Leistung, sowie mit einer Uhr, einem Thermometer und einer Waage soll bestimmt werden, wie viel Energie nötig ist, um 1 kg Wasser um 1°C zu erwärmen. Protokollieren Sie den Ablauf und die Auswertung des im Unterricht durchgeführten Versuchs zur Bestimmung der **spezifischen Wärmekapazität** von Wasser.

130  Mit den gleichen Hilfsmitteln wie in der vorherigen Aufgabe soll bestimmt werden, wie viel Energie nötig ist, um 1 kg Wasser bei der Siedetemperatur zu verdampfen. Protokollieren Sie den Ablauf und die Auswertung des im Unterricht durchgeführten Versuchs zur Bestimmung der **spezifischen Verdampfungswärme** von Wasser.

131 ? Ein **Auto** ($m = 1000 \text{ kg}$) fährt eine Stunde lang mit einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h auf (horizontaler) Autobahn. Die Motorkraft muss etwa 700 N betragen (damit die Reibungskräfte kompensiert werden).

- Wie gross ist die verrichtete **Reibungsarbeit**?
- Berechnen Sie nun auch die Leistung, die der Motor abgeben muss.
- Zeigen Sie, dass die Leistung auch mit der Formel $P = F \cdot v$ berechnet werden kann. Beweisen Sie diese Formel.

132 ? Aus der Definition der Leistung ergibt sich $E = P \cdot t$. Man beweise daraus die Umrechnungsformel für die oft verwendete **Energieeinheit kWh**.

133 ? Wie viel Energie setzt eine **100-W-Glühbirne** während 5 Stunden Brenndauer um (in J und in kWh)?

Ziele dieses Kapitels

- Berechnungen zu Leistung, Wirkungsgrad und Energiekosten führen Sie korrekt durch.
- Sie wissen Bescheid über die Entwertung der Energie und kennen den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre.

Die Leistung gibt die pro Zeiteinheit umgesetzte Energie (verrichtete Arbeit, übertragene Energie) an. Diese Grösse wird auch als Energiestrom bezeichnet.

$$P = \frac{E}{t} \quad \text{oder} \quad P = \frac{W}{t}$$

$$[P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{Watt} = \text{W}$$

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$P = F \cdot v$$

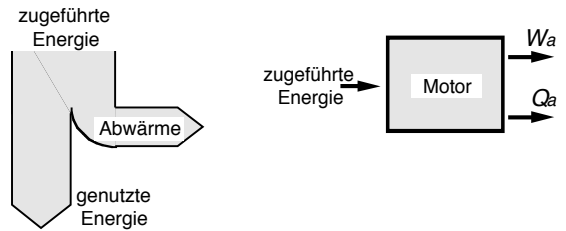
$$1 \text{ kWh} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Der Wirkungsgrad

134 i Geräte, Maschinen, Motoren wandeln eine Energieform in eine andere um. Meistens entstehen bei dieser Energieumwandlung aber auch unerwünschte Energieformen, welche schliesslich in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben werden: **Abwärme**.

Mit dem **Wirkungsgrad** beschreiben wir, wie "gut" eine Energieumwandlung ist, indem wir angeben, welcher Bruchteil der zugeführten Energie schliesslich genutzt wird.

Zur Darstellung der Energieumwandlungen und Energieanteile eignen sich die **Energieflussdiagramme** (siehe rechts).



Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von genutzter Leistung zu aufgewendeter Leistung.

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{aufgewendete Leistung}} = \frac{P_{\text{genutzt}}}{P_{\text{ein}}}$$

(η ist der griech. Buchstabe Eta)

135 ? Wie gross ist der Wirkungsgrad ...

- eines **Flaschenzuges**, einer **Zange** oder eines ähnlichen **Werkzeuges**?
- eines elektrischen **Ofens**?
- eines **Verbrennungsmotors**?
- eines **Kernkraftwerkes** etwa?

136 ? Ein **Flugzeug** soll eine Strecke von 500 km fliegen. Der Luftwiderstand beträgt 5000 N und die Leistung des Propellermotors 750 kW.

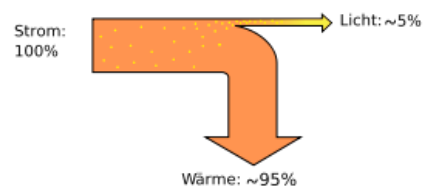
- Bestimmen Sie die **Reisegeschwindigkeit**.
- Wir nehmen an, der Wirkungsgrad des Motors betrage 25%. Reicht die Tankfüllung von 250 kg Motorenbenzin für die ganze Flugstrecke? Verwenden Sie die Tabelle S. 9 mit den **spezifischen Heizwerten**.

137 ? Ein **Wärme kraftwerk** (Kernkraftwerk, Kohlekraftwerk) habe einen **Wirkungsgrad** von 35 % und produziere 0.8 GW (Giga = 10^9) **Nutzleistung** in Form elektrischen Stromes.

- Wie viel Energie wird pro Sekunde als **elektrische Energie** abgegeben?
- Wie viel Energie wird pro Sekunde als **Abwärme** an die Umgebung abgegeben?
- Wenn die Kühlung (Abgabe der Abwärme) nicht in einem Kühlturm erfolgen sollte, sondern direkt im Flusswasser, so muss dieser eine genügend grosse **Durchflussmenge** aufweisen. Aus ökologischen Gründen darf die Erwärmung des Flusswassers nämlich nicht mehr als 2°C betragen. Wie gross müsste demnach die Durchflussmenge eines Flusses im Minimum sein, damit er die ganze Abwärme des Kraftwerkes aufnehmen könnte?

138 ? Eine 20-W-**Stromsparlampe** (Kompaktleuchtstofflampe) leuchtet etwa gleich hell wie eine 100-W-**Glühlampe** oder eine 70-W-Halogenlampe. Bestimmen Sie die Wirkungsgrade von Stromspar- und Halogenlampe.

Wirkungsgrad einer Glühlampe



$$n = \frac{P_{\text{nutzen}}}{P_{\text{aufwand}}}$$

$$n = 5\% / 100\% = 0,05$$

de.wikipedia.org/wiki/Glühlampe, Juni 08

Stromkosten (Kosten für elektrische Energie)

139? Die **Stromtarife** (Preise für die elektrische Energie) werden immer in Bezug auf 1 kWh angegeben. Ein Beispiel ist im Kasten abgedruckt.

- Welche Tarife gelten an Ihrem Wohnort?
- Wie viel kostet es, eine **100-W-Lampe** 10 Stunden lang bei Hochtarif brennen zu lassen?
- Wie viel kostet die Energie für die Aufbereitung von einem Liter Kaffee?

Stromtarife der Elektra Fraubrunnen (1to1 energy easy, inkl. MWST, Mai 08)

Grundpreis	10.76 CHF / Monat
Hochtarif	22.06 Rp. / kWh
Niedertarif (21–07 h)	10.76 Rp. / kWh

140? Schätzen Sie die **Energiekosten für ein Bad** in der Badewanne ab. Beschaffen Sie sich die benötigten Größen und tragen Sie die Werte in der folgenden Liste ein und berechnen Sie damit den gesuchten Preis.

Länge der Badewanne: $l =$
 Breite der Badewanne: $b =$
 Wassertiefe: $h =$
 Temperatur des Kaltwassers: $\vartheta_1 =$
 Temperatur des Badewassers: $\vartheta_2 =$
 Strompreis pro kWh $=$

141? **Vergleich der Energiekosten** von Glüh-, Stromspar- und Halogenlampe: Berechnen Sie mit den Angaben im Kasten die Gesamtkosten für 10'000 Stunden Betriebsdauer für je eine Beleuchtung mit einer der drei genannten Lampen. (Vereinfachung: Gehen Sie von einem einheitlichen Stromtarif von 20 Rp./kWh aus.)

	Anschaffungskosten / Lebensdauer
Stromsparlampe 20 W	20 CHF / 10'000 h
Glühlampe 100 W	4 CHF / 1'000 h
Halogenlampe 70 W	15 CHF / 2'000 h

142? Elektrische Geräte, welche mit Fernsteuerungen ein- und ausgeschaltet werden können, sind nicht vollständig vom Stromnetz getrennt. Sie beziehen auch in der Bereitschaftsstellung (**Standby**) elektrische Energie. Angenommen, in jedem Haushalt der Schweiz werde so permanent die Leistung 20 W verheizt. Vergleichen Sie die totale schweizerische Verlustleistung dieser Herkunft mit der Leistung des Kernkraftwerkes Mühleberg.

143 R Ein **Kran** soll eine Last von 6 t Masse auf das Dach eines 15 m hohen Hauses heben. Berechnen Sie die Energiekosten für diese Arbeit unter den Annahmen, dass der Strompreis 20 Rp/kWh beträgt und der elektrische Antrieb des Krans einen Wirkungsgrad von 70% aufweist.

144 R Es kann ja vorkommen (wegen eines Telefonanrufes oder so), dass man einmal vergisst, einen **Wasserkocher** abzuschalten, wenn das Wasser siedet ...

- Wie lange** dauert es (vom Einschalten an gerechnet), bis 500 g Wasser vollständig verdampft sind, wenn mit einer Leistung von 0.8 kW geheizt wird.
- Wie teuer** kommt in diesem Fall der Strom zu stehen?

Energieentwertung

145? Die **Qualitäten**, resp. **Wertigkeiten** der verschiedenen Energieformen sind für die Praxis sehr unterschiedlich. Entsprechende Feststellungen konnten Sie in den vorangegangenen Betrachtungen schon machen. Welche Energieformen sind Ihrer Ansicht nach qualitativ hoch-, resp. minderwertig? Nach welchen Kriterien urteilen Sie?

146? Im alltäglichen Sprachgebrauch verwenden wir oft Begriffe, die im Grunde genommen im **Widerspruch** stehen zum Energiesatz:

„**Energiequelle**“, „**Energieerzeugung**“, „**Energieträger**“, „**Energieverlust**“, ...

Worin bestehen die Widersprüche, und was meint man – physikalisch richtig ausgedrückt – mit den Begriffen?

147 i Die eben gemachten Überlegungen zu den Energie-Qualitäten hängen unter anderem auch mit der bekannten Feststellung zusammen, dass Wärme von selbst nur von einem Körper höherer Temperatur zu einem Körper tieferer Temperatur übergeht.

Als Konsequenz aus dem **2. Hauptsatz der Wärmelehre (Thermodynamik)** folgt, dass sich die thermische Energie nur unter gewissen Bedingungen und dann auch nur teilweise in andere Energieformen umwandeln lässt. In den diskutierten Beispielen hat man sehen können, wie sich innerhalb eines Systems die Energie von hochwertigen zu minderwertigen Energieformen gewandelt hat, wobei die innere Energie immer die „letzte Energiestufe“ dargestellt hat.

Kriterien	mech	chem	therm	elektr	Kern-E

++ hochwertig; + eher hochwertig; o mittel; - eher minderwertig; -- minderwertig.

2. Hauptsatz der Thermodynamik

Wärme überträgt sich von selbst nur von einem Körper höherer Temperatur auf einen Körper tieferer Temperatur.

Energieentwertung

In einem abgeschlossenen System nehmen stets die minderwertigen Energieformen auf Kosten der hochwertigen Energieformen zu und nicht umgekehrt.

Graue Energie

148? Auszug aus http://de.wikipedia.org/wiki/Graue_Energie (Juni 08): Wie viel Energie steckt in einem einzelnen Kopierpapier und wie viel kosten 500 Blatt etwa?

Als **graue Energie** oder **kumulierter Energieaufwand** wird die Energiemenge bezeichnet, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes verbraucht wird. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert. Anders ausgedrückt: Graue Energie ist der indirekte Energieverbrauch durch Kauf eines Konsumgutes, im Gegensatz zum direkten Energieverbrauch bei dessen Benutzung.

Das Statistische Bundesamt Deutschlands errechnete, dass im Jahr 2003 die durchschnittliche Energieintensität aller Waren ohne Energiegüter 4,5 MJ/EUR betrug.

Je nach Gütergruppe variiert die Energieintensität stark. Folgende Gruppen waren im Jahr 2003 laut Statistischem Bundesamt am meisten mit indirektem Energieverbrauch belastet:

- Luftfahrt (25,7 MJ/EUR)
- sonstiger Verkehr (16,3 MJ/EUR)
- chem. Erzeugnisse (11,8 MJ/EUR)

In einer Publikation des österreichischen Umweltministeriums werden folgende Angaben zur grauen Energie von

einzelnen Konsumgütern gemacht:

- 1 kg Schokolade: 2,5 kWh
- ein Paar Schuhe: 8 kWh
- zwei Aluminiumdosen: "Tagesstrombedarf eines Vierpersonenhaushalts" (das wären rund 10 kWh)
- ein Automobil: "Strombedarf eines Durchschnittshaushalts für 10 Jahre" (etwa 30 000 kWh)

Nach den Angaben der Non-Profit-Organisation PUSCH (umgerechnet):

- 500 Blatt Kopierpapier chlorfrei gebleicht: 41 kWh
- 500 Blatt Kopierpapier recycled: 28 kWh
- Tageszeitung (90 Seiten): 7,5 kWh

Die Einheitenamen

149? **Rätsel:** Es ist eine Versuchsanordnung schematisch dargestellt.

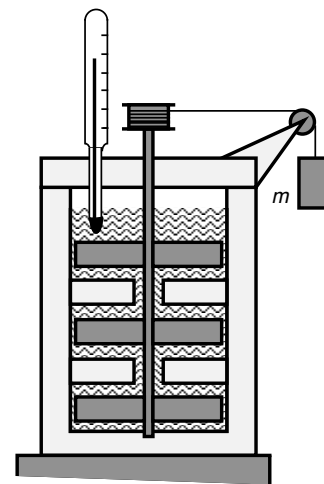
- a) Was kann mit dieser Apparatur wohl demonstriert werden?
- b) **Welche Grösse** lässt sich Ihrer Meinung damit messen? Um die Antworten finden zu können, müssen Sie zuerst das Funktionsprinzip erkannt haben. Erklären Sie dieses.

150 i Die Namensgeber für die Einheiten Joule und Watt:

James Prescott Joule (Aussprache: dschuul) lebte von 1818 bis 1889. Als Sohn eines wohlhabenden Bierbrauers, dessen Fabrik er später auch leitete, wurde er früh von guten Lehrern (z.B. **John Dalton**) unterrichtet und hatte später auch die Zeit und das Geld, sich im eigenen Labor der physikalischen Forschung zu widmen. Joule arbeitete unermüdlich daran, die Wärmeentwicklung bei mechanischen Vorgängen zu messen. Er zeigte die Äquivalenz von **Arbeit** und **Wärme** auf.

Unten ein Zitat aus dem dtv-Sachbuch: Ernst Schwenk: *Mein Name ist Becquerel*.

Im Jahre 1847 trug Joule auf einer Tagung die Resultate seiner Arbeit vor: Als begeisterter Ruderer erklärte er das physikalische Gesetz an einem für ihn naheliegenden Beispiel: Die Wärme, die beim Paddeln durch Reibung, führt zu einer – wenn auch unmessbar geringen – Temperaturerhöhung des umgebenden Wassers. Bei einer geeigneten Versuchsanordnung gelingt es jedoch, die Umwandlung von Arbeit in Wärme direkt zu messen. Zur Demonstration hatte Joule ein Schaufelrad mitgebracht, das sich in einem Wasserbecken drehte. An einem Thermometer war die allmählich ansteigende Temperatur abzulesen. Unter den Zuhörern waren hochrangige Wissenschaftler, doch niemand schien zu begreifen. Welche Bedeutung die vorgetragenen Erkenntnisse hatten. Nachdem aus dem Auditorium keinerlei Resonanz gekommen war, meldete sich ein junger Mann (William Thomson, der spätere Lord Kelvin) zu Wort und klärte die Zuhörer darüber auf, dass sie soeben eine Sternstunde der Wissenschaft erlebt hatten: Erstmals war der Beweis erbracht worden, dass zwischen Arbeit und Wärme ein enger Zusammenhang besteht.



Die **Einheit der Leistung** erhielt den Namen von **James Watt**. Watt lebte von 1736 bis 1819. Als kränklicher Sohn eines schottischen Schiffszimmermanns ging Watt erst sehr spät zur Schule und machte auch keine Berufslehre. Er bildete sich selber in Mathematik und Feinmechanik aus und wurde an der Universität Glasgow als "mathematical-instrument-maker" angestellt. Dort geriet ihm ein Modell der von **Newcomen** erfundenen Dampfmaschine in die Hände, die noch einen unbrauchbar kleinen Wirkungsgrad aufwies. Nach langer Suche gelang es Watt, den **Wirkungsgrad der Dampfmaschine** entscheidend zu verbessern und den Kohlenverbrauch auf einen Bruchteil zu vermindern. Die neu gegründete Firma "Boulton & Watt" nahm im Jahre 1776 die Produktion von Dampfmaschinen auf und belieferte Kohlebergwerke, Stahlwerke und Webereien: Die **industrielle Revolution** war in Gang gesetzt. Watt führte zur Leistungsmessung die Einheit **Pferdestärke (PS)** ein.

Menschlicher Energiehaushalt

151 ? Bestimmen Sie Ihren täglichen **Energiebedarf** und Ihre **mittlere Leistung** aufgrund des folgenden Textes aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Grundumsatz> (Sept. 05).

Grundumsatz (engl. basal metabolic rate) ist diejenige **Energiemenge**, die der Körper des Menschen pro Tag bei völliger Ruhe zur Aufrechterhaltung seiner Funktion benötigt (z.B. während des Schlafens). Er ist von Faktoren wie Geschlecht, Alter, Gewicht, Körpergröße, Muskelmasse, Wärmedämmung durch Kleidung und dem Gesundheitszustand, z.B. Fieber, abhängig.

Bei Frauen ist er im Schnitt um 10% geringer als bei Männern. Ein Mensch mit 70 kg Gewicht hat folgenden Grundumsatz: Mann: 7100 kJ/24h (1700 kcal/24h) = 80 W; Frau: 6300 kJ/24h = 70 W

Fast die gesamte Energie wird als Wärme abgegeben. Die **Heizleistung** eines Menschen entspricht der Leistung einer 60W-Glühlampe oder der einer Kerze.

Der gesamte Energiebedarf des Tages wird errechnet, indem man zum Grundumsatz den Arbeitsumsatz hinzuzählt. Als **Arbeitsumsatz** (auch: **Leistungsumsatz**) wird diejenige Energiemenge definiert, die der Körper des Menschen pro Tag für zusätzliche Leistungen, über den Grundumsatz hinaus, verbraucht. Er ist im Wesentlichen von der Muskelarbeit und der Umgebungstemperatur abhängig. Der **tägliche Gesamtenergiebedarf** errechnet sich demnach aus **Grundumsatz + Arbeitsumsatz**.

Da der Umfang der täglichen Muskelarbeit sehr unterschiedlich ist, teilt man in der Ernährungswissenschaft die Menschen in fünf Gruppen nach ihrer körperlichen Aktivität (Physical Activity Level - **PAL**) ein:

PAL-Faktor Tätigkeit / Beispiele

1,2 nur sitzend oder liegend / alte, gebrechliche Menschen

1,4–1,5 fast ausschließlich sitzend / wenig Freizeitaktivitäten, Schreibtischtätigkeit

1,6–1,7 überwiegend sitzend, mit zusätzlichen stehenden/gehenden Tätigkeiten / Kraftfahrer, Studenten, Laboranten

1,8–1,9 überwiegend stehende/gehende Tätigkeit / Verkäuferin, Kellner, Handwerker, Hausfrauen

2,0–2,4 körperlich anstrengende berufliche Tätigkeit / Landwirte, Waldarbeiter, Profisportler

Rechenbeispiel für einen 45-jährigen Handwerker: (Grundumsatz: 1590 kcal)


9 h berufliche Tätigkeit + 8 h Freizeitaktivität + 7 h Schlaf: $9 \times 1,9 + 8 \times 1,4 + 7 \times 0,95 = 34,95$

Durchschnittlicher täglicher PAL: $34,95 : 24 = 1,46$

Durchschnittlicher täglicher Gesamtenergiebedarf:

$1,46 \times \text{Grundumsatz} = 1,46 \times 1590 \text{ kcal} = 2321,4 \text{ kcal}$ (entspricht 9750 kJ)

Weitere Links und interaktive Rechner, siehe <http://de.wikipedia.org/wiki/Arbeitsumsatz>

152  Halten Sie unter dieser Nummer die **Ergänzungen** fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.

- Wir haben keine Ergänzungen gemacht.
- Ja, wir haben Ergänzungen vorgenommen, nämlich: