

## 9. Arbeit, Energie und Leistung

### 9.1 Einleitung

#### **Beispiel 1:**

Gilles und Daniel fertigen beide ein U-Stück in der gleichen Qualität und Präzision. Daniel benötigt dazu 40 Stunden, Gilles dagegen nur 32 Stunden.

- a) Wer von den beiden hat länger gearbeitet, als der andere?
- b) Wer von den beiden hat mehr geleistet, als der andere?
- c) Wer von den beiden hat mehr gearbeitet, als der andere?

#### **Beispiel 2:**

Auf zwei elektrischen Kochplatten mit gleicher Leistung, wird Wasser zum Kochen gebracht. Auf der Kochplatte 1 steht ein Topf mit 0,5 Liter Wasser. Auf der Platte 2 werden 3 Liter erwärmt.

- a) Welche Kochplatte benötigt länger bis das Wasser kocht?
- b) Welche Kochplatte hat mehr gearbeitet, um das Wasser zum Kochen zu bringen?
- c) Welche Kochplatte leistet mehr?

## 9.2 Physikalische Grundlagen

Aus den Einleitungsbeispielen wird klar, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Begriff Arbeit und dem Begriff Leistung besteht. Die Physik liefert uns die entsprechende Formel:

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

W ist die Arbeit in Wattsekunden auch Joule genannt [Abkürzung: Ws resp. J]

P ist die Leistung in Watt [W]

t ist die Zeit in Sekunden [s]

**Achtung: Das 'W' steht in den Formeln für die Arbeit, als Einheit aber für die Leistung!**

Eine abgewandelte Einheit der Arbeit sind die Kilowattstunden [Abkürzung: kWh]. Es gilt:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \cdot 3600 \text{ Ws} = 3.600.000 \text{ Ws}$$

$$(1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s})$$

### **Aufgabe 1:**

Vervollständige folgende Sätze mit Hilfe der oben angegebenen Formeln.

- Je länger ein elektrisches Gerät mit einer bestimmten Leistung in Betrieb ist, umso ...
- Damit zwei elektrische Kochplatten unterschiedlicher Leistung die gleiche Arbeit verrichtet haben, muss ...
- Damit ein elektrischer Verbraucher wenig Arbeit verrichtet hat, muss entweder ...
- Je schneller man eine bestimmte Arbeit verrichten will, umso ...

Der Begriff der Arbeit spielt in der Elektrik hauptsächlich deswegen eine große Rolle, weil die Stromlieferanten die verbrauchte Energie (=geleistete Arbeit) in Rechnung stellen. Deshalb messen sie die verbrauchte Energie bei jedem Kunden mit sogenannten kWh-Zählern.

Oft wird der Begriff Energie synonym zum Begriff Arbeit verwendet, da beide in der Einheit Ws gemessen werden. Genau genommen ist Arbeit aber verbrauchte Energie. In einer Batterie ist zum Beispiel eine gewisse Energie gespeichert. Schließt man an diese Batterie einen Verbraucher an, so wird Energie verbraucht und damit Arbeit verrichtet. Schaltet man den Verbraucher ab, so kann durchaus immer noch Energie in der Batterie gespeichert sein. Es gilt:

$$W = E_{\text{VORHER}} - E_{\text{NACHHER}}$$

$W$  ist die Arbeit in Wattsekunden [Ws]

$E_{\text{VORHER}}$  ist die gespeicherte Energie zu Arbeitsbeginn in Wattsekunden [Ws]

$E_{\text{NACHHER}}$  ist die gespeicherte Energie zu Arbeitsende in Wattsekunden [Ws]

**Weitere Aufgaben zur elektrischen Arbeit:**

2. Ein Heizlüfter mit einer Leistung von 2000W ist 3h in Betrieb. Berechne die geleistete Arbeit und die verbrauchte Energie in kWh.
3. Ein kWh-Zähler zeigt am Anfang eines Monats einen Stand von 15.035kWh an. Am Ende des Monats sind es 15.413kWh.
  - a) Berechne die Stromkosten in Euro für diesen Monat, wenn der Strompreis bei 13,20 Cent/kWh liegt.
  - b) Berechne die durchschnittlich aufgenommene Leistung in diesem Monat.
4. Beantworte folgende Fragen zu den Stromtarifen der Cegeedel (siehe Kopie).
  - a) Was ist der Unterschied zwischen dem Mono- und dem Double-Tarif?
  - b) Welche Privat-Kunden benötigen besonders viel Nachtstrom?
5. Berechne für einen durchschnittlichen Vierpersonen-Haushalt die Stromkosten pro Jahr bei der Cegeedel im Mono-Tarif, wenn dieser eine Bankeinzugsermächtigung gegeben hat, sich die Rechnungen aber nicht per Email schicken lässt (=Cegeedel Connect). Lösung: 756 Euro
6. Wie groß wäre der Aufpreis in Aufgabe 7, wenn man sich mit 100% Nova Naturstrom beliefern lassen würde? Lösung: 23,85 Euro

**Durchschnittlicher Stromverbrauch im Haushalt pro Jahr nach Haushaltsgrößen in Deutschland:**

Einpersonen-Haushalt etwa 1.600 kWh  
Zweipersonen-Haushalt etwa 2.800 kWh  
Dreipersonen-Haushalt etwa 3.900 kWh  
Vierpersonen-Haushalt etwa 4.500 kWh  
Fünf- oder mehr Personen etwa 5.300 kWh

(Quelle: VDEW)

### 9.3 Messen von Arbeit und Leistung

siehe Versuche 11 & 12

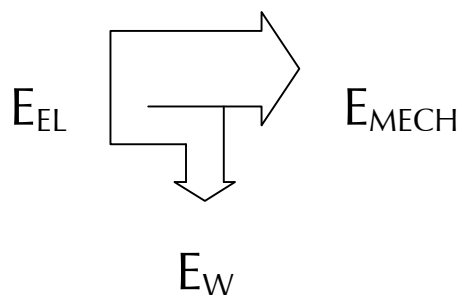
### 9.4 Energieumwandlung und Wirkungsgrad

Im allgemeinen Sprachgebrauch spricht man oft von Energieerzeugung und Energieverbrauch. Streng genommen kann man Energie weder erzeugen noch verbrauchen, man kann sie nur von einer Energieform in eine andere umwandeln. In einem Heizlüfter wird zum Beispiel elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. In einer Batterie wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.



Die zugeführte Energie kann durchaus auch in mehrere Energieformen umgewandelt werden. In einem elektrischen Motor zum Beispiel wird elektrische Energie in mechanische Energie und Wärmeenergie umgewandelt.

#### Sankey-Diagramm eines elektrischen Motors



An dem letzten Beispiel wird klar, dass nicht alle abgeführten Energieformen erwünscht sein müssen. Man spricht auch von Verlusten. In der Elektrik ist meistens die Wärmeenergie unerwünscht.

Um die Qualität der Energieumwandlung eines Geräts in Zahlen zu fassen, haben die Physiker den Wirkungsgrad eingeführt. Es gilt:

$$\eta = \frac{W_{\text{ab}}}{W_{\text{zu}}} \quad \text{oder} \quad \eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}}$$

$\eta$  (gelesen: Eta) ist der Wirkungsgrad [ohne Einheit]

$W_{\text{AB}}$  ist die abgeführte erwünschte Arbeit z.B. in Wattsekunden [Ws]

$W_{\text{ZU}}$  ist die zugeführte Arbeit in der gleichen Einheit wie  $W_{\text{AB}}$

$P_{\text{AB}}$  ist die abgeführte erwünschte Leistung z.B. in Watt [W]

$P_{\text{ZU}}$  ist die zugeführte Leistung in der gleichen Einheit wie  $P_{\text{AB}}$

Der Wirkungsgrad wird oft in Prozent ausgedrückt. Es gilt:

$$\eta[\%] = \eta \cdot 100$$

Typische Wirkungsgrade sind:

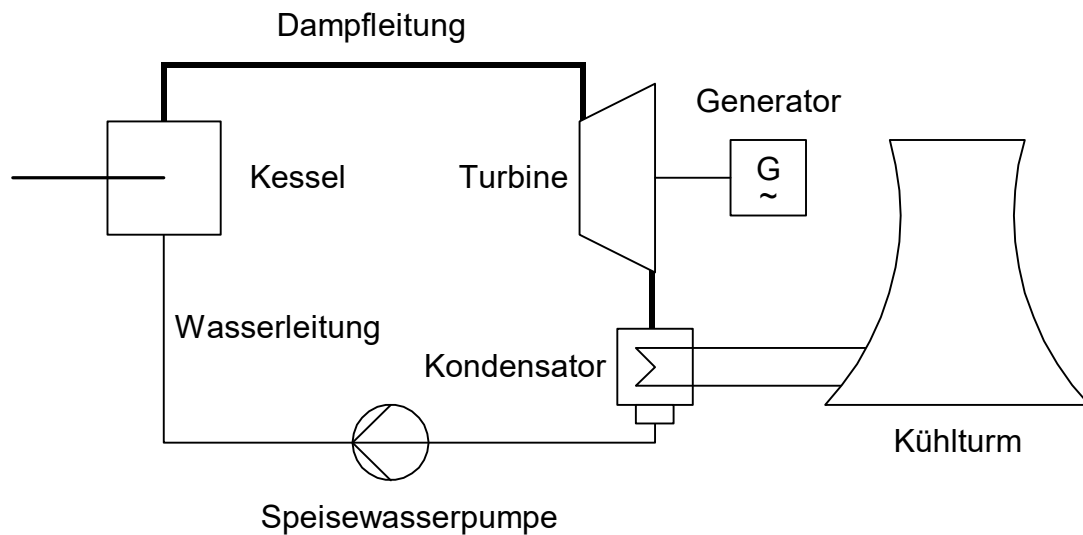
<u>Maschine</u>	<u>Wirkungsgrad</u>
Elektromotor	70-95%
Zentralheizung	80-90%
Kraftwerk	30-50%
Dieselmotor	35%
Ottomotor	25%
Energiesparlampe	25%
Offener Kamin	20%
Normale Glühlampe	5%
Lautsprecher	1%

**Aufgaben zum Wirkungsgrad:**

1. Wie groß ist der Wirkungsgrad eines idealen Verbrauchers?
2. Wie groß ist der Wirkungsgrad eines idealen Erzeugers?
3. Gegeben ist eine Glühlampe die 60W elektrische Leistung aufnimmt.
  - a) Berechne die abgegebene Lichtleistung.
  - b) Berechne die Verlustleistung.
  - c) Berechne die verbrauchte Energie nach 24h Dauerbetrieb.
  - d) Um welche Energieform handelt es sich bei den Verlusten einer Glühlampe?
  - e) Zeichne maßstabsgetreu das Sankey-Diagramm dieser Glühlampe.
4. Das Gas-Dampf-Turbinen-Kraftwerk gegenüber der Schule hat einen Wirkungsgrad von 55% und kann eine maximale elektrische Leistung von 400MW produzieren.
  - a) Berechne die Verbrennungsleistung im Kessel.
  - b) Die Verluste auf den Hochspannungsleitungen betragen ungefähr 5%. Berechne die Verlustleistung auf den Leitungen.
5. Eine Bohrmaschine nimmt maximal eine elektrische Leistung von 600W auf. Der Motor hat einen Wirkungsgrad von 60%, das Getriebe einen Wirkungsgrad von 80%.
  - a) Berechne die maximale abgegebene mechanische Leistung der Bohrmaschine.
  - b) Berechne den Gesamtwirkungsgrad der Bohrmaschine.
  - c) Wie viel Prozent der zugeführten elektrischen Leistung entsprechen den Wärmeverlusten im Getriebe?
  - d) Zeichne ein Sankey-Diagramm der Bohrmaschine in dem beide Verluste sichtbar werden.
  - e) Wie kann man den Gesamtwirkungsgrad aus den beiden Teilwirkungsgraden berechnen?

## 9.5 Wärme­kraftwerke

Der Großteil der Energieerzeugung erfolgt durch Wärme­kraftwerke. Prinzipiell sind alle Kraftwerke wie folgt aufgebaut:



Im Kessel wird durch Verbrennen eines Brennstoffs Wasser zu Wasserdampf erhitzt. Dieser Wasserdampf treibt eine Turbine an, welche über eine Achse mit einem Generator verbunden ist. Der aus der Turbine austretende Wasserdampf wird in einem Kondensator wieder verflüssigt und zurück zum Kessel gepumpt. Die beim Kondensieren freiwerdende Wärme wird in einem Kühlturm in die Umwelt geleitet.

In jeder Stufe des Kraftwerks entstehen Verluste. Der Großteil der Verluste (30-50%) entsteht aber durch das Ableiten der Kondensationswärme in die Umwelt.



**Weitere Aufgaben zur Arbeit:**

1. Der kWh-Zähler einer Hausinstallation trägt die Aufschrift 360U/kWh.
  - a) Der Zähler dreht gerade mit einer Geschwindigkeit von 30 Umdrehungen pro Minute. Berechne die aufgenommene Leistung.
  - b) Du schaltest nun einen 1000W-Haartrockner hinzu. Wie schnell wird die Scheibe jetzt drehen?
2. Jeweils ein Liter Wasser wird mit einem Tauchsieder (1000W) und einer Kochplatte (600W) auf 60°C erhitzt.
  - a) Welche Methode ist billiger? Begründe deine Antwort.
  - b) Welche Methode ist schneller? Begründe deine Antwort.
3. Zwei gleiche NiMH-Akkus werden jeweils an einen Verbraucher angeschlossen. Der Akku 1 wird durch den Verbraucher mit einem Strom von 800mA belastet. Aus dem Akku 2 fließt ein Strom von 500mA.
  - a) Welcher der beiden Akkus leistet mehr? Begründe deine Antwort.
  - b) Welcher der beiden Akkus hat nach einer Stunde mehr gearbeitet? Begründe deine Antwort.