

### 1.1.3 Energieeffizienz – Wirkungsgrad und Energieerntefaktor

Effizienz kann vereinfacht als eine Aufwand-Nutzen-Beziehung umschrieben werden: Wenn ein Mensch effizient arbeitet, bedeutet dies, daß er relativ wenig Zeit benötigt, um eine bestimmte Arbeit zu erledigen. Ebenso ist es effizient, möglichst wenige und kurze Wege zu gehen, will man in verschiedenen Geschäften Einkäufe möglichst schnell und mit möglichst geringem Aufwand erledigen. Möchte man Vergleiche zwischen verschiedenen Nutzungsformen und Energiewandlern anstellen, muß Energieeffizienz zahlenmäßig erfaßt werden.

Wirkungsgrad und Energieerntefaktor sind Maßzahlen für die *Effizienz von Energieumwandlungen* bzw. die *Effizienz der dabei verwendeten Energiewandler*. Dabei ist der Wirkungsgrad nur auf die Energieflüsse während der Energieumwandlung bezogen. Der Energieerntefaktor hingegen berücksichtigt auch die Energie, die für die Herstellung und den Betrieb eines Energiewandlers benötigt werden, ohne jedoch die eingesetzte Energie in Form von Brennstoffen oder Sonnenenergie zu berücksichtigen.

#### Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad gibt den Anteil an, der von der eingesetzten Energie nach der Umwandlung in der gewünschten Form erhalten wird:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{[\text{nutzbare Energie}]}{[\text{eingesetzte Energie}]}$$

Als Symbol für den Wirkungsgrad wird der kleine griechische Buchstabe Eta, das  $\eta$ , verwendet.

Hier soll noch einmal betont werden, daß der Wirkungsgrad in der üblichen Definition ein *ökonomischer* Wirkungsgrad ist, ökonomisch im Sinne der freigesetzten *verwertbaren* Menge an Energie. Davon unberührt ist die Tatsache, daß bei der Umwandlung keine Energie im physikalischen Sinne verlorengangen ist.

Wie hoch ist der Wirkungsgrad von Umwandlungen? Gibt es prinzipielle Grenzen des Wirkungsgrades?

Um dieser Frage nachzugehen, kann man Energieformen in zwei Gruppen teilen, zum einen „gerichtete Energien“, zum anderen „ungerichtete Energien“. Gerichtet sind zum Beispiel die elektrische Energie in einer Batterie, die kinetische Energie in einer Wasserströmung oder die potentielle Energie des Was-

sers in einem Bergsee. Alle diese Energien können theoretisch zu 100 % wieder in gerichtete Energie einer anderen Energieform umgewandelt werden. So hat eine moderne Wasser-Turbine, die aus einer Wasserströmung eine Drehbewegung erzeugt, einen Wirkungsgrad von über 90 %. Ein Generator, der aus dieser Drehbewegung elektrischen Strom erzeugt, kann Wirkungsgrade von bis zu 98 % besitzen. Die wenigen Prozente, die bis zu den 100 Prozent fehlen, sind auf Reibungsverluste und andere Effekte zurückzuführen, die durch die unvollkommene *Technik* bedingt sind.

Auch die Umwandlung gerichteter Energie in ungerichtete Energie wie Wärme findet mit praktisch 100 % statt. Eine Herdplatte, in der elektrische und damit gerichtete Energie in die ungerichtete Wärmeenergie umgewandelt wird, hat einen physikalischen und technischen Wirkungsgrad von 100 %. Hier ist das größere Problem, die Wärme genau an die Speisen zu bringen, die auf dem Herd gegart werden sollen.

Das Gleiche gilt für die Umwandlung von Wärme eines hohen Niveaus auf Wärme eines niedrigeren Niveaus. In einer Gasheizung wird die Wärme der etwa 1 000°C heißen Flamme auf Wasser übertragen, welches die Wärmeenergie bei mäßigen Temperaturen von etwa 30–70°C im Haus verteilt. Auch hier besteht das Problem hauptsächlich darin, die Wärme der Flamme und der Abgase möglichst effizient auf das als Wärmetransport-Medium benutzte Wasser zu übertragen. Die eigentliche Verbrennung findet mit dem sogenannten feuerungstechnischen Wirkungsgrad von 95 bis nahezu 100 % statt.

Einer Umwandlung von ungerichteter Wärmeenergie in gerichtete mechanische Energie sind hingegen *naturgesetzliche Grenzen* gesetzt. Der theoretische Wirkungsgrad dieser Umwandlung wird auch *Carnot-Wirkungsgrad* genannt. Er berechnet sich aus der niedrigen und hohen Temperatur wie folgt:

$$\text{Carnot-Wirkungsgrad} = \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{[\text{niedrige Temperatur}]}{[\text{hohe Temperatur}]}$$

Dabei bezeichnet die hohe Temperatur die *Wärmequelle*, die niedrige Temperatur steht für die Umgebung bzw. *Wärmesenke*. Der griechische Buchstabe Eta ( $\eta$ ) ist das Symbol für den Wirkungsgrad. In einem Kernkraftwerk ist die Wärmequelle beispielsweise ein Kernreaktor, der Wasserdampf erzeugt. Dieser Wasserdampf wird über eine Dampfturbine entspannt, kühlt sich dabei ab. Während dieser Abkühlung wird Wärme in mechanische Energie umgewandelt, bis sie in ungefähr das Temperaturniveau der Umgebung erreicht hat.

Für die Berechnung des Carnot-Wirkungsgrades müssen die Temperaturen immer in Kelvin angegeben werden: 0 Kelvin (K) bezeichnen den Absoluten Nullpunkt der Temperatur, bei dem Materie keine Wärmeenergie mehr besitzt;

diese Temperatur kann also nicht mehr unterschritten werden. Die Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entspricht 1 Grad Celsius, der Absolute Nullpunkt liegt jedoch auf der Celsius-Skala bei  $-273.15^{\circ}\text{C}$ : So entspricht zum Beispiel eine Raumtemperatur von 20 Grad Celsius auf der Kelvin-Skala einem Wert von 293.15 Kelvin.

In einem Kohlekraftwerk können Dampftemperaturen von etwa 550 Grad Celsius (ca. 823 K) erreicht werden, aus technischen Gründen liegt die Temperatur hinter der Turbine bei etwa 50-100 Grad Celsius (ca. 323-373 K).

Bei der angenommenen „niedrigen Temperatur“ von 100 Grad Celsius (373 K) gilt für den *theoretisch* maximal möglichen Wirkungsgrad der Dampfturbine

$$\eta = 1 - \frac{[\text{niedrige Temperatur}]}{[\text{hohe Temperatur}]} = 1 - \frac{373 \text{ K}}{823 \text{ K}} = 1 - 0.45 = 55 \%$$

Die realen Wirkungsgrade moderner Kohlekraftwerke liegen aufgrund weiterer Verluste bei ca. 40–45 Prozent, die in dem Energiefluß-Diagramm der Abbildung 1.3, S. 27 aufgeschlüsselt sind.

Ein Wirkungsgrad für die *Speicherung von Energie* kann ebenfalls definiert werden: Während des Ladevorgangs eines Akkumulators kann man bestimmen, wieviel Energie in den Akkumulator eingebracht wurde, während des Entladens kann bestimmt werden, wieviel Energie im Akkumulator gespeichert war. Das Verhältnis

$$\eta_{\text{Ladezyklus}} = \frac{[\text{beim Entladen entnommene Energiemenge}]}{[\text{beim Laden eingebrachte Energiemenge}]}$$

gibt den Wirkungsgrad eines Akku-Zyklus an. Er liegt typischerweise bei etwa 60–80 Prozent; die übrigbleibenden 40–20 Prozent werden als Wärme frei.

Ein Wirkungsgrad läßt sich genauso gut für den *Energietransport* bestimmen, am einfachsten am Beispiel einer Hochspannungsleitung zur Übertragung elektrischen Stroms über weite Distanzen. Für diese Messung schaltet man – bildhaft gesprochen – einen Stromzähler zwischen Kraftwerk und Hochspannungsleitung und einen weiteren zwischen Hochspannungsleitung und Verbraucher. Die mit dem zweiten Zähler gemessene Energiemenge dividiert durch die Energiemenge, die mit dem ersten Zähler bestimmt wurde, ergibt den Wirkungsgrad des Energietransportes.

Beim Transport von Energieträgern über Pipelines oder mit Fahrzeugen muß die zum Transport eingesetzte Energiemenge von der transportierten Energiemenge abgezogen werden. Der danach verbleibende Anteil, bezogen auf die transportierte Energiemenge, ist dann der Wirkungsgrad für die entsprechende