

### Primärenergie

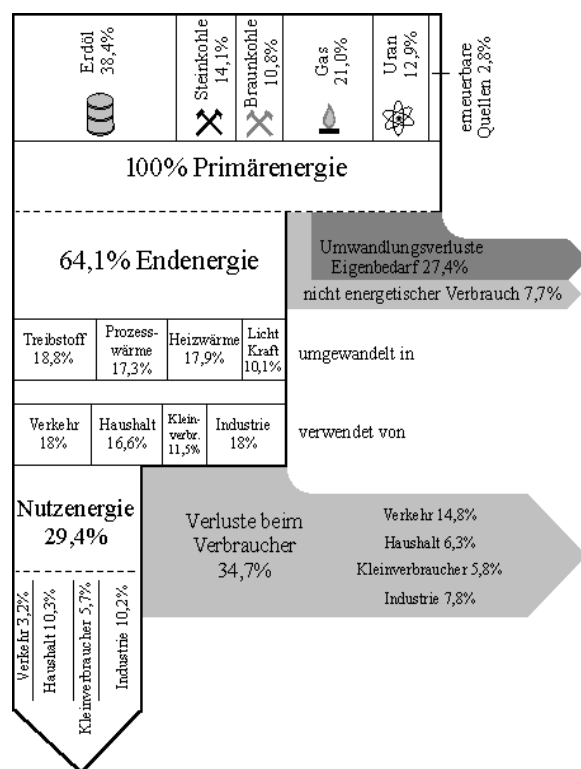
Dies ist die Energie, die in den ursprünglich verfügbaren Energiequellen enthalten ist, etwa in fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl oder Erdgas, aber auch regenerative Energieträger wie Sonne, Wind, ... oder Kernbrennstoffe.

### Sekundärenergie

Wird die Primärenergie in eine Form umgewandelt, in der man sie leichter nutzen oder transportieren kann, so spricht man von Sekundärenergie. Beispielsweise kann man aus Kohle Briketts herstellen, aus Erdöl Benzin, und in Wärmekraftwerken kann man aus der Primärenergie elektrische Energie erzeugen.

### Endenergie

Schließlich kommt die Energie beim Verbraucher (private Haushalte, aber auch Gewerbe, Industrie, Verkehr usw.) an; man spricht dann von der Endenergie. In manchen Fällen liegt die Endenergie zwar immer noch als Primärenergie vor (z. B. Erdgas zum Heizen), meist wurde sie aber zwischendurch in eine sekundäre Form umgewandelt (z. B. elektrischer Strom, Fernwärme).



### Nutzenenergie

Selbst die Endenergie steht den Verbrauchern im Allgemeinen nicht komplett für den beabsichtigten Verwendungszweck zur Verfügung (wegen Abwärme usw.). Die tatsächlich genutzte Energie (z. B. für Licht, mechanische Arbeit usw.) nennt man die Nutzenenergie.

Die Grafik oben zeigt als Beispiel den Energiefluss in der BRD im Jahre 2000; sämtliche Prozentangaben beziehen sich auf die Primärenergie.

### Energieentwertung

Die allermeisten Prozesse laufen nur in eine Richtung ab; man nennt sie „irreversibel“. Dabei wird im Allgemeinen innere Energie an die Umgebung abgegeben. Die Umkehrung der Vorgänge wäre aus der Sicht des Energieerhaltungssatzes zwar eigentlich möglich, aber kommt in der Realität trotzdem nicht vor. Zum Beispiel kann ein Turmspringer vom Turm ins Schwimmbecken springen; dabei wird Lageenergie in kinetische Energie umgewandelt und schließlich in innere Energie (das Wasser erwärmt sich also leicht). Umgekehrt geschieht es aber natürlich nie, dass sich das Schwimmbecken abkühlt und die dabei freiwerdende Energie dazu verwendet wird, einen Turmspringer wieder vom Becken auf den Turm zu heben.

Offensichtlich kann man mit der bei irreversiblen Prozessen auftretenden Umgebungswärme nicht so viel anfangen wie z.B. mit der Lageenergie eines Körpers. Man sagt auch, die innere Energie der Umgebung ist „weniger wert“ als z.B. eine betragsmäßig gleich große mechanische Energie. Bei jedem irreversiblen Vorgang findet also eine „Energieentwertung“ statt: Man hat insgesamt nach dem Prozess zwar die gleiche Energiemenge wie vor dem Prozess, jedoch z.T. in einer Form, die sich nicht mehr gut nutzen lässt.

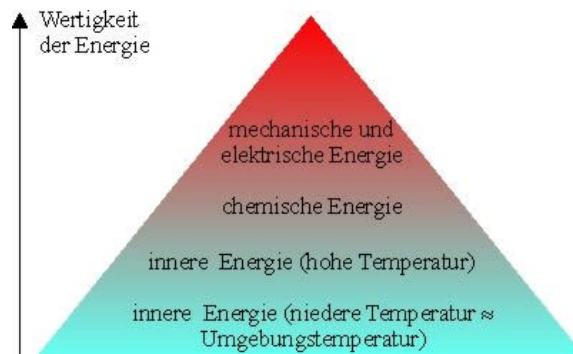
Umgangssprachlich bezeichnet man dies oft als „Energieverlust“ oder „Energieverbrauch“. Der Energieerhaltungssatz sagt uns ja aber, dass Energie nie verloren gehen kann. Man meint mit dem

Begriff „Energieverlust“ also nur, dass nach dem Vorgang weniger „hochwertige“ Energie, wie sie z.B. die mechanische oder elektrische Energie darstellt, vorhanden ist.

Das ist ganz analog dazu, dass man im Haushalt oft vom „Wasserverbrauch“ spricht. Auch dabei meint man natürlich nicht, dass das Wasser verschwindet, sondern dass das Wasser nach einem Vorgang in wertloserer Form vorliegt: In der Küche, im Bad, auf der Toilette benutzen wir Wasser, das wir anschließend in der Regel nicht mehr als Trinkwasser benutzen können, es hat kein Verbrauch des Wassers stattgefunden, sondern eine Entwertung.

Allerdings stellt auch innere Energie auf einem hohen Temperaturniveau eine wertvolle Energieform dar: Durch Abkühlung eines heißen Energiereservoirs kann mechanische oder elektrische Arbeit verrichtet werden (z. B. in einer Dampfmaschine). Es gelingt jedoch mit einer Maschine nie, die dem heißen Reservoir entzogene innere Energie **vollständig** in mechanische oder elektrische Energie zu wandeln. Der Prozess ist immer mit der Erwärmung eines kälteren Reservoirs (meist Umgebung) verbunden. (Die vollständige Umwandlung von innerer Energie in mechanische Energie ohne Veränderung der Umwelt würde man als „Perpetuum Mobile der 2. Art“ bezeichnen.)

Die „Wertigkeit“ verschiedener Energieformen ist in der folgenden „Energiepyramide“ veranschaulicht:



### Energiewandlungsketten

Im Allgemeinen erfolgen mehrere Energieumwandlungen nacheinander; man spricht dann von einer Energiewandlungskette. In der Regel beginnen diese mit dem Primärenergierohstoff, der umgewandelt wird in Primärenergie, diese in Sekundärenergie(n), diese in Endenergie bzw. Nutzenergie. Die typische Energiewandlungskette beginnt also mit der Produktion, führt über die Speicherung, den Transport, zur Verteilung und Nutzung, schließlich zur Abfuhr von Abwärme. Jeder Schritt geht dabei mit Energieverlusten einher.

Arbeiten mehrere Energieumwandler hintereinander, so werden deren einzelne Wirkungsgrade zum Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{\text{gesamt}}$  (auch Anlagenwirkungsgrad) multipliziert:

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

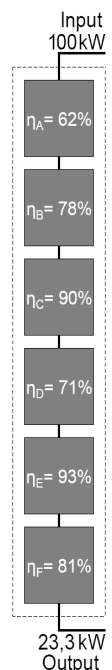
$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

$$\eta_{\text{gesamt}} = 40\% \cdot 99\% \cdot 95\% \cdot 90\%$$

$$\eta_{\text{gesamt}} \approx 34\%$$

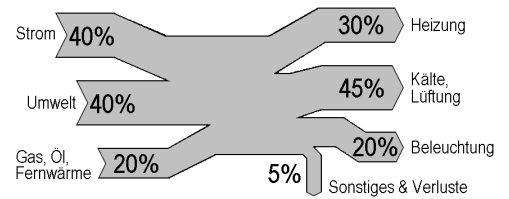
Beispiel: Kraftwerk  $\eta_1 = 40\%$ , Transformator am Kraftwerk  $\eta_2 = 99\%$ , Transformator in Verbrauchernähe  $\eta_3 = 95\%$  und Elektromotor  $\eta_4 = 90\%$ :

Bei diesem Beispiel wird angenommen, dass die Energieübertragung zwischen den einzelnen Maschinen verlustfrei passiert. Ist das nicht der Fall, so müssen zusätzlich Wirkungsgrade der Energieübertragung mitgerechnet werden. Wird die bei einem thermischen Umwandlungsprozess freiwerdende Abwärme weiter genutzt, zum Beispiel zur Fernheizung, wie es bei Blockheizkraftwerken der Fall ist, so vergrößert sich der Wirkungsgrad der Anlage, da ein Teil der eigentlich für den Prozess verloren gegangenen Wärme trotzdem genutzt werden kann.



### Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm)

Zur Darstellung von Energieumwandlungen bei technischen Prozessen werden oft „Energieflussdiagramme“ verwendet, insbesondere Sankey-Diagramme (nach dem irischen Ingenieur Captain Matthew Henry Phineas Riall Sankey, der 1898 eine ähnliche Darstellungsform verwendete, um die Energieflüsse von Dampfmaschinen darzustellen.) Diese verwendet man allgemein für die graphische Darstellung von Mengenflüssen, die durch Pfeile veranschaulicht werden, deren Dicke proportional zu den Mengen sind. Dabei können die Mengenangaben absolut (in Joule, kWh o.ä.) oder relativ (in %) sein.



Als Beispiele sind unten die Energieflüsse bei einem Auto und einem Kraftwerk gezeigt. Man sieht, dass der gesamte Wirkungsgrad in beiden Fällen recht klein ist.

