

---

# Altlasten der Physik (75): Voll- und minderwertige Energie

---

G. Job

## Gegenstand

Die Meinung, dass Wärme eine minderwertige Form der Energie darstellt, ist weit verbreitet. Als Grund gilt, dass Wärme wegen des zweiten Hauptsatzes nur teilweise in Arbeit umwandelbar ist. Dagegen gelten kinetische, potenzielle, elektrische Energie als vollwertig, da sie dieser Einschränkung nicht unterliegen. Umwandlung einer anderen Energieform in Wärme, wird gern argumentiert, hat einen Verlust an Arbeitsfähigkeit zur Folge und bedeutet damit eine Entwertung der Energie.

## Mängel

Energie ist im Überfluss vorhanden, und doch haben wir große Mühe, diese gewaltigen Vorräte anzuzapfen und die Energie für unsere Zwecke nutzbar zu machen. 1 kg aus dem 320 Trillionen Kilogramm Meerwasser enthaltenden Atlantik besitzt beispielsweise am Äquator aufgrund der Erddrehung rund 100 kJ an kinetischer Energie, gegenüber dem Temperaturnullpunkt  $T = 0$  etwa 700 kJ an Wärmeenergie,

- gegenüber dem Erdmittelpunkt rund 20 000 kJ an potenzieller Energie,
- ungefähr 80 000 000 000 kJ an Fusionsenergie (wegen der möglichen Umwandlung von Wasserstoff in Sauerstoff) und schließlich
- rund 90 000 000 000 000 kJ an Ruheenergie  $mc^2$ .

Alle diese Energiebeträge sind für uns unzugänglich und damit wertlos – aus verschiedenen Gründen. Um die kinetische Energie nutzen zu können, müssten wir das Kilogramm Wasser gegenüber der sich drehenden Erde zur Ruhe bringen. Dazu müssten wir den darin steckenden Impuls oder Drehimpuls, die ja unzerstörbar sind, fortschaffen, und zwar auf einen Körper, der nicht zusammen mit der Erde rotiert. Da kein solcher Körper verfügbar ist, bleibt uns der Zugriff auf diese Energie verwehrt.

Aus ähnlichen Gründen können wir die 700 kJ an Wärmeenergie und die 20 000 kJ an potenzieller Energie nicht nutzen. Um das zu erreichen, müssten wir die (wie Impuls oder Drehimpuls) unzerstörbare Entropie  $S$  aus dem Wasser an einen absolut kalten, entropieleeren Ort schaffen bzw. die ebenfalls unzerstörbare Wassermasse  $m$  an die absolut tiefste Stelle bringen, hier den Erdmittelpunkt. Beides ist zwar prinzipiell vorstellbar, scheitert aber daran, dass diese Orte nicht verfügbar oder nicht zugänglich sind. An die 80 000 000 000 kJ an Fusionsenergie kommen wir nicht heran, weil es uns nicht gelingen will, die Kernverschmelzung in Gang zu setzen, und die 90 000 000 000 000 kJ an Ruheenergie freizusetzen, schaffen wir nicht, weil die Erhaltung der Baryonen- und Leptonenladung dies verhindert.

Kinetische, potenzielle und thermische Energie unterscheiden sich keineswegs grundsätzlich in ihrer Nutzbarkeit. Die ersteren beiden erscheinen uns nur deswegen wertvoller, weil wir die für uns unverwertbaren Anteile stillschweigend weglassen, während wir bei der thermischen Energie genau umgekehrt gewohnt sind, den energetischen Ballast in Überlegungen und Rechnungen ständig mitzuschleppen.

Ein Beispiel: Bei einem Gezeitenkraftwerk betrachten wir als die den Turbinen zugeführte Energie die Differenz der potenziellen Energie des zu- und abfließenden Wassers,

$$E = mgh_2 - mgh_1.$$

Dadurch heben sich von vornherein die je Kilogramm Wasser nicht verwertbaren 20 000 kJ an potenzieller Energie heraus. Bei einem Wärmekraftwerk geht man anders vor. Statt der Differenz der mit der zu- und abfließenden Entropie beförderten Energie,

$$E = ST_2 - ST_1,$$

betrachtet man hier  $E = ST_2$  als die zur Nutzung bereitgestellte Energie, obwohl von vornherein feststeht, dass der Beitrag  $ST_1$  nicht verwertbar ist, wenn  $T_1$  die Umgebungstemperatur bedeutet. Diese Doppelmoral schafft Unterschiede, wo von Natur aus keine vorhanden sind.

Überhaupt trifft die Vorstellung, dass die Umwandlung irgendeiner Energieform in Wärme der Grund für den Verlust an Arbeitsfähigkeit ist, nicht das Wesentliche. Die Arbeit  $W$  beispielsweise, die an einer rückläufig betriebenen Carnot-Maschine verrichtet wird, um die Wärme  $Q_1$  von einem kälteren Speicher in einen wärmeren zu pumpen, erscheint zusammen mit  $Q_1$  als Wärme  $Q_2$  im zweiten Spei-

cher,  $Q_2 = W + Q_1$ . Die Arbeit  $W$  ist also vollständig in Wärme verwandelt worden, kann aber unbeschadet dessen durch Umkehren des Vorganges restlos zurückgewonnen werden. Was ist dann aber der eigentliche Grund dafür, dass wir immer wieder neue Energie bereitstellen müssen, weil die alte, obwohl sie nicht verschwinden kann, uns dennoch ständig wieder entzogen wird? Was schmälert den Gebrauchswert der Energie, deren Menge doch immer gleich bleibt?

Schuld an diesem anscheinenden Wertverlust der Energie hat allein die Entropie. Ihre Erzeugbarkeit aber Unzerstörbarkeit liefert unmittelbar die logische Begründung für diesen Tatbestand, ohne dass wir der Energie neben ihrem Wert in Joule irgendeine andere Art von Wert zuordnen müssten. Erzeugte Entropie  $S$  fällt bei allen selbstablaufenden Vorgängen als unvermeidlicher „Müll“ an, dessen Abfuhr und Lagerung auf einer Deponie mit der Temperatur  $T$  die Energie  $TS$  kostet. Dieser Energiebetrag steht uns für andere Zwecke nicht mehr zur Verfügung und stellt in diesem Sinne einen Verlust dar. Umlagerung der Entropie  $S$  aus der Deponie in ein Endlager mit verschwindender Temperatur würde den bereits als Verlust abgebuchten Energiebetrag  $TS$  wieder für beliebige Zwecke verfügbar und damit voll arbeitsfähig machen. Von irgendeiner qualitativen Veränderung der Energie, die sie weniger wertvoll macht, kann also gar keine Rede sein.

## Herkunft

Während man vor Aufstellung des Energiesatzes um 1850 herum noch glaubte, dass Arbeit zwar nicht erschaffen, wohl aber vernichtet werden könne (etwa durch Reibung) und damit Arbeitsverluste selbstverständlich waren, ließ sich diese alltägliche Erfahrung danach nicht mehr ohne weiteres verstehen. Das Konzept der Energieentwertung, von *W. Thomson* nach 1850 atomistisch als Energiezerstreuung gedeutet, half diese Lücke zu schließen – mehr schlecht als recht.

## Entsorgung

Unser gebrochenes Verhältnis zur Entropie veranlasst uns, dieser Größe möglichst aus dem Wege zu gehen und die in ihren Zuständigkeitsbereich fallenden Erscheinungen durch irgendwelche Hilfskonstruktionen zu umschreiben. Erst wenn es uns gelingt, die Entropie als normale physikalische Größe zu begreifen und zu handhaben, können wir auf nachhaltige Besserung hoffen. Die Größe  $S$  selbst böte dafür die besten Voraussetzungen, wenn wir diese nicht durch Betriebsblindheit und Ungeschick leichtfertig verspielen würden.

---

### Anschrift des Verfassers:

Dr. Georg Job, Institut für Physikalische Chemie der Universität Hamburg, Martin-Luther-King-Platz 6, 20146 Hamburg, E-Mail: Georg.Job@gmx.de