

## Äquivalenz von Wärme und Arbeit

### *Gegenstand:*

Wärme ist ungeordnete Energie meinen die einen /1/, die kinetische Energie der ungeordneten Molekülbewegung die anderen /2/, die kinetische und potenzielle Energie der thermischen Molekülbewegung die dritten /3/, einem Gegenstand durch thermischen Kontakt zuführende Energie die vierten /4/, ein Kurzname für den Ausdruck  $\Delta U - W$  die fünften /5/, die gebundene Energie  $TS$  die sechsten /6/, das Integral  $\int TdS$  die siebten /7/, ein fragwürdiger und überflüssiger Begriff die achten /8/. Was ist sie wirklich?

### *Herkunft:*

Die Frage ist so alt wie die Physik. Die Antwort, die R. CLAUSIUS darauf 1850 in seinem ersten Hauptsatz gab, in dem er die Äquivalenz von Wärme und Arbeit fordert, ist in der Kernaussage bis heute gültig, aber offenbar vieldeutig.

### *Mängel:*

CLAUSIUS selbst benutzte zwei Wärmegrößen, die in einem Gegenstand "enthaltene Wärme"  $H$ , die er sich als Bewegungsenergie der Moleküle vorstellte, und die einem Gegenstand "zugeführte Wärme"  $Q$ , wobei  $Q = \Delta H$  jedoch nur in Ausnahmefällen gilt. Unter den oben genannten Beispielen erkennt man unschwer die Nachfahren dieser beiden Eltern wieder. Die Meinungsvielfalt ist Ausdruck des ärgerlichen Umstandes, dass es keine Energiegröße gibt, die gleichzeitig alle wünschenswerten Aspekte des Wärmebegriffes abzubilden vermag. Wie bei einer zu kurzen Bettdecke, ist man gezwungen, auf die eine oder andere Eigenschaft zu verzichten. Je nachdem, was man für besonders betonenswert erachtet, fällt der Kompromiss anders aus. Dass man trotz dieser Vieldeutigkeit zu denselben Rechenergebnissen gelangt, lässt darauf schließen, dass die von CLAUSIUS geforderte Äquivalenz für den thermodynamischen Kalkül belanglos ist. Wofür ist sie dann aber gut?

### *Entsorgung:*

Wenn wir auf diese Forderung verzichten, gewinnen wir eine neue Freiheit. Um den Energiesatz aufzustellen, benötigen wir sie nicht. Um die Wärme zu definieren, auch nicht. Der Wärmebegriff lässt sich leicht "fundamental metrisieren", wie man in der Wissenschaftstheorie sagt. Dieses Verfahren wird in der Physik meist nur zur Definition einiger Basisgrößen benutzt, etwa Länge, Dauer, Masse, indem beispielsweise festgelegt wird, wie Gleichheit und Vielfachheit der Werte festzustellen sind und was als Einheit gelten soll. Man kann jedoch dieses Verfahren, das einen gegebenen Begriff direkt auf eine Größe abbildet, auch in vielen anderen Fällen heranziehen, etwa zur Definition von Energie, Impuls, Drehimpuls, Ladung, Stoffmenge, Entropie oder zur Metrisierung von Begriffen wie Wärmemenge, Datenmenge, Unordnung oder Zufälligkeit. Das verblüffendste Ergebnis hierbei ist, dass der landläufige, wissenschaftlich unbelastete Begriff Wärmemenge hierbei keine energetische Größe liefert, sondern direkt die CLAUSIUSsche Entropie  $S$  /9/. Dieser spielende Zugang zu der neben der Temperatur wichtigsten thermodynamischen Größe erlaubt eine weitgehende Entrümpelung der Thermodynamik. Begriffe wie Enthalpie, freie Energie, Energieentwertung, Prozessgröße, Zustandsfunktion lassen sich gleich mitentsorgen. – Dass ein Missgriff nicht im Kalkül einer Wissenschaft, sondern in ihrer Semantik so weitreichende Folgen haben kann, sollte Theoretiker warnen, deren Augenmerk allein der Stimmigkeit des Kalküls gilt, und Didaktiker alarmieren, die sich mit diesen Folgen herumschlagen müssen.

- /1/ F. J. DYSON: "What is heat?" Scientific American 1954, 191 (No. 3), S. 58 - 63.
- /2/ R. W. POHL: "Mechanik, Akustik, Wärmelehre"; Springer: Berlin 1962, S. 248.
- /3/ C. GERTHSEN, O. H. KNESER, H. VOGEL: "Physik"; Springer: Berlin 1986, S. 193 - 197.
- /4/ C. KITTEL: "Physik der Wärme"; Wiley & Sons: Frankfurt 1973, S. 133.
- /5/ M. BORN: Physikal. Zeitschr. 1921, **22**, S. 218 - 286.
- /6/ H. H. STEINOUR: "Heat and Entropy"; J. Chem. Educ. 1948, **25**, S. 15 - 20.
- /7/ G. FALK, W. RUPPEL: "Energie und Entropie"; Springer: Berlin 1976, S. 92.
- /8/ G. M. BARROW: "Thermodynamics..."; J. Chem. Educ. 1988, **65**, S. 122 - 125.
- /9/ Folgende Annahmen zusammen mit der Wahl einer Wärmeeinheit genügen bereits zur eindeutigen Metrisierung:
- 1) Jeder Gegenstand enthält Wärme, deren Menge nicht abnehmen kann, wenn er wärmedicht umhüllt ist.
  - 2) Nach Art und Zustand gleiche Gegenstände enthalten gleiche Wärmemengen.
  - 3) Der Wärmeinhalt eines zusammengesetzten Gegenstandes ist die Summe der Wärmeinhalte seiner Teile.

*G. J.*