

## Energie, Wärme und Opfer – Zur Begriffsbildung in der Wärmelehre

*Friedrich Wilhelm Dustmann**I. Historisches*

Die Entwicklung der Begriffe der Wärmelehre verlief keineswegs so glatt, wie dies in manchen anderen Teilgebieten der Physik der Fall gewesen ist. Wenn man alle Irrwege, die versucht wurden, beschreiben wollte, so würde dies ein ganzes Buch füllen (vgl. *Truesdell*, 1980). Im Rahmen eines solchen Aufsatzes können deshalb nur einige wenige Punkte herausgearbeitet werden, die für unser heutiges Wärmeverständnis wichtig sind.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts gab es im wesentlichen zwei miteinander konkurrierende Theorien über die Wärme. Die erste der beiden stammt aus der Tradition der Phlogiston-Theorien und betrachtet die Wärme als feinen, unwägbaren Stoff, der als Caloricum bezeichnet wird. Sadi Carnot legte diesen Wärmebegriff zugrunde, als er die erste erfolgreiche Theorie thermodynamisch arbeitender Maschinen erfand. Carnot erkannte, daß sich die «treibende Kraft der Wärme» nur entfalten kann, wenn Wärme und Kälte gemeinsam auftreten, wenn also außer dem heißen Dampf auch ein Kühler vorhanden ist. Dabei stellte er fest, daß die gewonnene Arbeit um so größer ist, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Dampfkessel und Kühler ist. Die Art und Weise, wie Carnot zu einem Verständnis dieses Zusammenhangs zu gelangen versuchte, ist bemerkenswert. Er verzichtete nämlich auf eine Deutung der Wärme im Sinne einer kinetischen Wärmetheorie und akzeptierte sie stattdessen als etwas unmittelbar Gegebenes, dessen Wirkungen im thermodynamischen Prozeß er zu verstehen versuchte, indem er einen anderen Arbeitsprozeß denebenstellte. Er verglich die Wärmekraftmaschinen mit Wasserkraftmaschinen. So wie das Wasser aus einem höher gelegenen Staubecken über das Mühlrad in einen tiefer gelegenen Bach strömt, so strömt nach Carnot das Caloricum, also die Wärme, von einem höher gelegenen Temperaturniveau zu einem tiefer gelegenen und verrichtet dabei Arbeit. Dabei verändert sich nach Carnot allerdings die Menge des Caloricums überhaupt nicht, wie auch die Wassermenge sich während des Arbeitsvorganges am Mühlrad nicht verändert. Genau dies aber ist der schwache Punkt der Carnotschen Theorie, denn es gab bereits damals Hinweise darauf, daß Wärme unter Verlust von Arbeit neu entsteht.

Die grundlegenden Versuche dazu wurden vom bayerischen Kriegsminister Benjamin Thompson (Graf Rumford) im Jahre 1798 ausgeführt. Er stellte beim Bohren von Kanonenrohren fest, daß eine bestimmte Menge eiskalten Kühlwassers innerhalb von zweieinhalb Stunden bis zum Sieden erhitzt wurde. Eine Abschätzung ergab, daß die

dabei entstande Wärmemenge der von den Pferden am Göpel verrichteten Arbeit proportional war (vgl. Job, 1976). Natürlich stellt sich sofort die Frage, was dann hier unter «Wärmemenge» zu verstehen ist. Zunächst stellt man ja nur eine Temperaturerhöhung fest, die proportional zur verrichteten Arbeit ist. Die Begriffe «Wärmemenge» und «Temperatur» wurden erstmals durch den englischen Chemiker Black (1728–1799) voneinander unterschieden. Er konnte das Auftreten bestimmter Mischungstemperaturen dadurch erklären, daß er die Annahme machte, daß der heiße Körper ebensoviel Wärmestoff abgibt, wie der kalte Körper aufnimmt. Diese von Black eingeführte Wärmemenge ist proportional zur Temperaturdifferenz (allerdings nur in einem begrenzten Temperaturbereich, wie sich später herausstellte). Es liegt deshalb nahe, auch beim Rumfordschen Kanonenbohrerexperiment eine zur Temperaturdifferenz und zur Arbeit proportionale Wärmemenge einzuführen, die sich gleichmäßig auf die Menge des Kühlwasser verteilt:

$$(1) \quad Q = J \cdot W \quad \text{und} \quad Q = C \cdot \Delta T$$

$Q$  ist hier die Wärmemenge und  $C$  die Wärmekapazität, die zur Masse des Stoffes proportional ist.  $J$  ist das sogenannte mechanische Wärmeäquivalent.

Zunächst tauchte noch der Verdacht auf, daß die Eisenspäne eine geringere Wärmekapazität als massives Eisen haben könnten, so daß es sich lediglich um eine Temperaturerhöhung ohne Wärmezufuhr handeln würde. Thompson konnte diese Vermutung jedoch experimentell widerlegen.

Man muß bedenken, daß die Mechanik bereits eine enorme Entwicklung durchgemacht hatte und von vielen Denkern dieser Zeit als die grundlegende Naturwissenschaft überhaupt angesehen wurde. Man glaubte, hier einen sicheren Grund gefunden zu haben, auf dem man das ganze Gebäude der Physik würde errichten können. Dementsprechend suchte man bei nicht mechanischen Prozessen stets nach deren eigentlich mechanischem Wesen. So zitiert *J. P. Joule* (1843) Graf Rumford folgendermassen: «Ich finde es außerordentlich schwer, wenn nicht ganz unmöglich, mir eine bestimmte Vorstellung von dem zu bilden, was bei der Art und Weise, wie bei diesen Versuchen die Wärme erregt und verbreitet wurde, anderes erregt und verbreitet werden könnte als Bewegung.» Es bildet sich so zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine noch relativ verschwommene kinetische Wärmetheorie aus, in der Wärme als eine spezielle Form von Bewegung aufgefaßt wird. In den Jahren zwischen 1840 und 1850 wurde dann die gegenseitige Umwandelbarkeit von Arbeit und Wärme durch *J. R. Mayer*, *J. P. Joule* und *A. Colding* genauer erforscht, was schließlich zum Sieg des kinetischen bzw. energetischen Wärmebegriffs über den älteren Begriff des Caloricums führte. Innerhalb weniger Jahre (1847–1850) konnte sich jetzt der neue Wärmebegriff durchsetzen. Seit dieser Zeit gilt Wärme als eine spezielle Energieform der Mechanik.

Dennoch bedarf es einer Erklärung, daß zwar mechanische Arbeit vollständig in Wärme verwandelt werden kann, aber nicht umgekehrt die vorhandene Wärmemenge vollständig in mechanische Arbeit. Bekanntlich gilt für die gewinnbare Arbeit

$$(2) \quad W < Q_1 (T_1 - T_2) / T_1$$

worin  $T_1$  die absolute Temperatur des heißen Reservoirs und  $T_2$  die des Kühlers ist. Nach Clausius löst man das Problem durch Einführung einer neuen Größe, der Entro-