

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Mechanische Wärme-Theorie

Holtzmann, Karl Heinrich Alexander

Stuttgart, 1866

Geschichtliches

[urn:nbn:de:bsz:31-272364](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-272364)

Geschichtliches.

Wärmestoff.

1. Sobald man anfang, die Erscheinungen der Wärme näher zu prüfen, verbreitete sich die Ansicht, die Wärme sei ein eigener Stoff, Wärmestoff, durch dessen Verbindung mit den Körpern diese wärmer werden, oder in einen andern Aggregatzustand, aus dem festen in den flüssigen oder aus diesem in den gasförmigen übergeführt werden. In den letzten Fällen werde der Wärmestoff latent, verborgen, d. h. nicht bemerkbar für das Thermometer. Von dieser Ansicht über das Wesen der Wärme rühren auch die Ausdrücke Wärmemenge, specifische Wärme, Wärmecapacität, womit man überhaupt eine abgegrenzte Grösse des Wärmestoffs oder die Menge desselben bezeichnen wollte, welche man einem Körper zuführen muss, um dessen Temperatur um einen Grad zu erhöhen. Diesen Wärmestoff, das Element Feuer der Aristotelischen Schule, bekleidete man mit einer abstossenden Kraft, um die Ausdehnung der Körper bei der Erwärmung zu erklären. Das Ausstrahlen der Wärme war ein Aussenden von Wärmestoff, welcher von einem bestrahlten Körper theils an der Oberfläche reflectirt wurde, theils in den Körper eindrang, und in ihm theils durchgelassen, theils aufgenommen, absorbirt wurde.

Wärme ist Bewegung. Rumford. Davy.

2. Der Annahme eines Wärmestoffs trat zuerst der bekannte Graf Rumford mit Versuchen und Beobachtungen entgegen. Ihm war in der Stückgiesserei zu München die bedeutende Erhitzung aufgefallen, welche das Geschütz und der Bohrer beim Bohren erleiden. Er zeigte, dass hiebei sehr bedeutende Mengen Wärme frei werden, wovon die Annahme eines Wärmestoffs keine Erklärung

gebe, und kommt dadurch zu dem Schlusse, dass Wärme in Bewegung bestehen müsse.

Unter Rumfords Versuchen kommt folgender vor: Ein Cylinder von 113,13 Pfund Gewicht wurde mit Hilfe eines Pferdegöpels um seine Axe gedreht, während ein stumpfer Bohrer gegen das eine Ende des Cylinders angepresst war. Den Cylinder umgab Rumford mit einer Holzbüchse, in welcher der erste wasserdicht umlaufen konnte. In diese Büchse brachte Rumford 18,77 Pfund Wasser. Die anfängliche Temperatur war $60^{\circ} \text{F.} = 15^{\circ},5 \text{C.}$ Nach Verlauf von einer Stunde war die Temperatur dieses Wassers um 47°F. , nach $1^{\text{h}} 30'$ um 82° gestiegen und nach $2^{\text{h}} 30'$ kochte das Wasser. „Es ist schwer, das Erstaunen und die Verwunderung der Umstehenden zu beschreiben, welche diese ausdrückten, als sie eine so grosse Menge Wasser ohne Anwendung von Feuer ins Kochen gebracht sahen,“ sagt Rumford und fügt später bei: „Bei der Betrachtung dieser Versuche müssen wir nicht den sehr merkwürdigen Umstand vergessen, dass die Quelle der Wärme durch Reibung augenscheinlich unerschöpflich ist. Es ist sicher nothwendig, dass irgend etwas, das ein einzelner Körper, oder ein System von Körpern unbegrenzt liefern kann, nicht eine materielle Substanz sein kann; und es scheint mir ausnehmend schwierig, wenn nicht rein unmöglich, sich eine Vorstellung von der bei diesen Versuchen hervorgerufenen und mitgetheilten Wärme zu bilden, wenn diese nicht Bewegung ist.“

Rumford theilte diese Versuche in der Royal Society am 21. Januar 1798 mit.

Den gleichen Zweck, nämlich die Nachweisung, dass Wärme nichts Materielles sein könne, verfolgte Humphry Davy, wobei er unter anderm zeigte, dass zwei Eisstücke durch Reibung an einander geschmolzen werden können. Eis bedarf aber den Zutritt von 79 Wärmeeinheiten, um zu schmelzen; diese Wärme wurde durch die Reibung, d. h. durch Bewegung geliefert, und wird also wohl keine Substanz, sondern eben wieder nur Bewegung sein können.

Mayer.

3. Der praktische Arzt J. R. Mayer in Heilbronn sagt in einem Aufsatze „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten

Natur“ (Ann. der Chemie und Pharmacie von Wöhler und Liebig. Bd. 42. S. 238):

„Ist es nun ausgemacht, dass für die verschwindende Bewegung in vielen Fällen keine andere Wirkung gefunden werden kann als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andere Ursache als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme entsteht aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor, wie der Chemiker statt H und O ohne Nachfrage verschwinden und Wasser auf unerklärte Weise entstehen zu lassen, einen Zusammenhang zwischen H und O einer- und Wasser anderseits statuirt.“

Mit diesem Satze steht Mayer auf demselben Standpunkte wie Rumford und Davy; er sagt, Bewegung ist die Ursache der Wärme. Er geht aber (S. 239) weiter, indem er nach dem Grundsätze *causa aequat effectum* die Arbeit bestimmt, welche zur Hervorbringung der Wärmeeinheit erforderlich ist. „Wir müssen ausfindig machen, wie hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden erhoben werden müsse, dass seine Fallkraft äquivalent sei der Erwärmung eines gleichen Gewichtes Wasser von 0° auf 1°. Dass eine solche Gleichung wirklich in der Natur begründet sei, kann als das Resumé des Bisherigen betrachtet werden.“

„Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die Wärme und Volumsverhältnisse der Gasarten findet man die Senkung einer ein Gas comprimirenden Quecksilbersäule gleich der durch die Compression entbundenen Wärmemenge, und es ergibt sich hieraus — den Verhältnisseexponenten der Capacitäten der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen = 1,421 gesetzt, dass dem Herabsinken eines Gewichtstheils von einer Höhe von circa 365^m die Erwärmung eines gleichen Gewichtstheils Wasser von 0° auf 1° entspreche.“

Es ist hier ausgesprochen, dass die Wärmeeinheit einer mechanischen Arbeit äquivalent sei, und diese Arbeit ist näher bestimmt zu 365^{km}, und dies ist ein wichtiger Fortschritt. Dass dieser Fortschritt nicht sofort allgemein anerkannt, vielmehr in der ersten Zeit nach seiner Publication vollständig übersehen wurde, wird seinen Grund in der Sprache Mayers haben, welche nicht die Sprache der Wissenschaft, der Dynamik nämlich, ist, und darin, dass er die

Berechnung des Arbeitäquivalentes der Wärmeeinheit nicht näher aus einander setzte — es kommt darüber nur das oben Angeführte vor. Die Dynamik kennt nicht die Fallkraft in dem oben gebrauchten Sinne; diese ist für sie die Arbeit der Schwerkraft bei einem Falle von einer bestimmten Höhe.

Die Berechnung des Aequivalentes der Wärmeeinheit, wie sie Mayer wird angestellt haben, wird später angegeben werden; sie musste nach dem oben Mitgetheilten erst wieder gefunden werden. Dass aber Mayer die richtigen Ansichten hatte, geht sowohl aus der oben angeführten Abhandlung, wie aus einigen späteren, in welchen er Anwendungen von der Aequivalenz von Arbeit und Wärme macht, hervor.

Holtzmann.

4. Im Jahr 1844 habe ich, ohne die eben betrachtete Abhandlung von Mayer zu kennen, eine kleine Schrift bekannt gemacht, welche den Titel führt: „Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe“, in welcher ich den Satz aufstellte: „Die Wirkung der zu dem Gase getretenen Wärme ist somit entweder Temperaturerhöhung, verbunden mit Vermehrung der Elasticität, oder eine mechanische Arbeit, oder eine Verbindung von beiden, und eine mechanische Arbeit ist das Aequivalent der Temperaturerhöhung.“ Auf S. 12 berechne ich dann die Grösse dieses Aequivalents mit den damals bekannten Zahlenwerthen für die specifischen Wärmen der Luft und erhalte dafür 374^{km} , wozu es heisst (S. 13): „Dieses Resultat sagt, die Wärme, welche 1^{kl} Wasser um 1° C. erwärmt, ist vermögend, 374 Kilogramme auf 1 Meter zu erheben.“

Dies ist dasselbe Resultat, welches früher Mayer fand, und dieser hat dieses Wärmeäquivalent aus denselben Grundsätzen berechnet. Es ist bei dieser Rechnung die Wärme, welche man einem Gase, das sich ausdehnt, zuführen muss, um seine Temperatur zu erhalten, gleichgesetzt der Arbeit, welche das Gas bei der Ausdehnung nach aussen abgibt, indem es den auf ihm lastenden Druck zurückschiebt, multiplicirt mit einer constanten Zahl, welche das Wärmeäquivalent der Wärmeeinheit ist. Dabei ist von Mayer und von mir stillschweigend vorausgesetzt, dass die Entfernung der

Lufttheilchen von einander keine Arbeit erfordere, dass also eine Anziehung zwischen diesen Lufttheilchen nicht merkbar sei. Dass eine solche innere Arbeit bei den vollkommenen Gasen nicht vorkomme, und dass also diese Annahme berechtigt sei, wird weiter unten gezeigt werden.

Ausser diesem als zulässig erkannten Satze blieb ich in der genannten Abhandlung bei der Annahme stehen, dass die Wärmemenge, welche man einem Gase zuführen müsse, um es von einer Pressung und Temperatur zu einer andern veränderlichen Pressung und Temperatur zu bringen, eine Function dieser Pressung und Temperatur sei. Diese Annahme ist falsch, da ein beliebiger Theil dieser Wärmemenge durch eine auf das Gas ausgeübte mechanische Arbeit ersetzt werden kann, und also nur die auf gleiche Einheiten zurückgeführte Summe beider eine Function der Pressung und Temperatur sein kann, nicht aber ein beliebig auszuseheidender Theil. Dieser Fehler, auf welchen Clausius aufmerksam machte, war dadurch veranlasst, dass ich den Widerspruch, welcher in der Annahme des ersten von mir gebrauchten Satzes mit der bis dorthin allgemein geltenden Ansicht, welche der falschen Annahme entsprach, übersah. In meiner Abhandlung sind darnach die Sätze richtig, welche aus dem ersten Satze allein folgen, nicht aber die, auf welche die zweite Annahme von Einfluss ist.

Hatte Mayers Abhandlung das Schicksal, unbeachtet zu bleiben, so wurde dagegen der meinigen eine grosse Verbreitung zu Theil. Poggendorff gab in seinen Annalen einen Auszug derselben; die Berliner Berichte über die Fortschritte der Physik in den Jahren 1845 und 1847 gaben zwei Bearbeitungen meiner Abhandlung; dieselbe wurde auf Veranlassung von Cubbec ins Englische übersetzt.

So hat diese Abhandlung wesentlich dazu beigetragen, die Ansicht, dass Wärme und mechanische Arbeit äquivalente Dinge sind, von welchen die eine durch die andere ersetzt werden kann, zur allgemeinen Geltung zu bringen, und muss daher in einer Geschichte der Entwicklung der mechanischen Theorie der Wärme erwähnt werden, wobei übrigens hier nicht unerwähnt bleiben soll, dass gleichzeitig die Arbeiten von Joule bekannt wurden, welcher

denselben Satz in ganz anderer und vielseitigerer Weise durch Versuche feststellte.

Joule.

5. Joule in Manchester verglich im Jahr 1843 die Arbeit, welche die Erhaltung eines elektrischen Stroms erfordert, mit der Wärmemenge, welche dieser Strom producirt, und fand dabei, dass 838 Fusspfund Arbeit erforderlich waren, um 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erwärmen, was $459,8^{km}$ für die Erwärmung von 1^{kil} Wasser um 1° C. gibt. Ebenso erhielt er die Arbeit, welche bei dem Comprimiren von Luft verwendet werden musste, um eine Wärmeinheit zu erzeugen, bei einer Versuchsreihe gleich 452^{km} , bei einer zweiten gleich 436^{km} . Umgekehrt fand er, dass, wenn sich Luft ausdehnte, sie Wärme aufnehmen musste, um ihre Temperatur zu behalten, während sie eine mechanische Arbeit, Zurückschieben des auf ihr lastenden Drucks abgab. Hiebei ergab sich für eine Wärmemenge, welche zugeführt werden musste, die Arbeit 438^{km} . In den Jahren 1845—1847 verglich Joule die Wärmemenge, welche durch Reibung von Metallen an Flüssigkeiten — Wasser oder Quecksilber — oder an andern Metallen erzeugt wurde, mit der Arbeit, welche zur Ueberwindung dieser Reibung erforderlich ist, wobei er nahe dieselbe Arbeit für die erzeugte Wärmeinheit erhielt, nämlich im Mittel $423,55^{km}$. Diese letzten Versuche hält Joule für die genauesten, und also auch die letzte Zahl für die sicherste.

Zu diesen Versuchen von Joule brachte die nachfolgende Zeit noch eine Reihe anderer.

Wärmeäquivalent.

6. Aus den Betrachtungen Mayers ergibt sich die Folgerung, dass zur Erzeugung einer Wärmeinheit eine bestimmte, immer gleiche Arbeitsmenge aufgewendet werden müsse und dass man umgekehrt durch den Aufwand der Wärmeinheit dieselbe Arbeit wieder gewinnen könne; die Versuche von Joule und Anderen haben diesen Satz in soweit bestätigt, als man die Unterschiede unter den gefundenen Grössen für diese Arbeit den Fehlern der so schwierigen Beobachtungen zuschreiben kann.

Dieser Satz Mayers gilt als der erste Grundsatz der mechanischen Theorie der Wärme, und die Arbeitsgrösse, welche ver-

wendet werden muss, um die Wärmemenge Eins zu erhalten, heisst das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit oder das Arbeitsäquivalent der Wärme, wogegen man die Wärmemenge, welche die Arbeit Eins gibt, das Wärmeäquivalent der Arbeit nennt. Ist das letzte gleich A, so ist das Arbeitsäquivalent der Wärme

$$\frac{1}{A}.$$

In dem Folgenden nehmen wir als Einheit der Wärme die, welche vermag, 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen, und als Einheit der Arbeit die, welche ein schweres Kilogramm auf 1^m Höhe zu erheben vermag. Als wahrscheinlichsten Werth des Arbeitsäquivalentes der Wärmeeinheit gebrauchen wir 423,2^{km}, woraus sich das Wärmeäquivalent der Arbeit gleich 0,002362 ergibt, was sagt, mit der Wärme, mit welcher 0,002362 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. erwärmt werden, kann die Arbeit 1^{km} gewonnen werden.

Grundsätze der Wärmetheorie.

Innere Arbeit der Wärme.

7. Durch einen Druck, der allseitig auf einen Körper ausgeübt wird, sehen wir das Volumen dieses Körpers abnehmen und ihn zugleich wärmer werden. Die Abnahme des Volums muss mit einer Annäherung der einzelnen Atome des Körpers verknüpft sein, und diese Annäherung wird im Allgemeinen mit einem Zurückschieben der Kraft, welche die Theilchen in ihrer Entfernung erhalten hat, verbunden sein, also mit einer Arbeit im Innern des Körpers, einer inneren Arbeit. Neben dieser besteht aber noch die Wirkung, dass der Körper wärmer wird, dass sich seine Temperatur erhöht. Dieser zweite Theil der Wirkung des auf den Körper ausgeübten Druckes, der auf ihn von aussen verwendeten Arbeit, muss nun in etwas bestehen, was mit Arbeit äquivalent ist, und als solches kennt die Dynamik noch die lebendige Kraft, welche einer vermehrten Geschwindigkeit entspricht.

Wird ein Körper erwärmt, so vergrössert sich im Allgemeinen sein Volumen, wir sehen ihn bei steigender Temperatur sich aus-