

VII.

Das mechanische Aequivalent der Wärme.

Es waren bis jetzt die Erscheinungen der, den sinnlich wahrnehmbaren Massen oder Molen inwohnenden Schwere und Cohäsion, welche uns das Gesetz von der Erhaltung der Kraft manifestirten; wir haben heute einen Schritt weiter zu thun und seine Geltung im Kreise der molecularen und atomistischen Thätigkeit aufzusuchen.

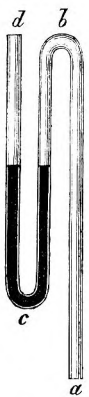


Fig. 4.
Manometer.

Hier ist ein lufterfüllter Glasballon, der mit dem Quecksilber-Manometer (bei *a* Fig. 4) mittels eines Korkes in Verbindung steht.

Ich pumpe neue Mengen Luft in den Ballon, wodurch ich das elastische Gas comprimire, d. h. die unmessbaren Zwischenräume zwischen den Molecülen, der Abstossungskraft des Gases entgegen, verkleinere, und ihm so eine Triebkraft in Form von Spannkraft mittheile. Habe ich bei einem früheren Versuche durch das Dehnen eines elastischen Kautschukstreifens die Anziehungskraft der Molecüle überwunden, so dass sie als Spannkraft aufgespeichert ward, so bewerkstellige ich hier das Entgegengesetzte — ich presse das elastische Gas zusammen, überwinde dadurch die Abstossungskraft der Molecüle, die sich in Folge davon als Spannkraft anhäuft. Sobald ich den Hahn des Manometers öffne, geht diese Spannkraft in lebendige Kraft über und leistet Arbeit; Sie sehen, wie sofort die Quecksilbersäule im äussern Schenkel *cd* emporgehoben wird.

Genau dieselbe Arbeitsleistung kann ich aber auch auf eine andere Weise erreichen, wenn ich nämlich anstatt der Muskelkraft meines pumpenden Armes eine andere Naturkraft aufwende, um das elastische Gas zu spannen. — Hier ist eine brennende Spirituslampe, welche Wärme hervorbringt. Ich halte die Flamme derselben unter den Glasballon. Das Glas und die eingeschlossene Luft erwärmen sich, wie

Sie am Steigen des Thermometers deutlich sehen können. Oeffne ich nun wieder den Manometerhahn, so wird die Quecksilbersäule gleichfalls in dem äussern Schenkel des Manometers gehoben, es wird also wieder mechanische Arbeit geleistet. — Entferne ich die Wärmequelle, nachdem ich vorher so viel Quecksilber ausfliessen liess, dass es wieder in beiden Schenkeln des Manometers gleich hoch steht, so steigt es im inneren Schenkel empor; denn in dem Maasse, als die Luft im Glasballon ihre Wärme und vermehrte Spannkraft oder Abstossungskraft der Molecüle verliert, drückt die äussere Luft die Quecksilbersäule im äussern Schenkel herab und macht, dass sie im innern emporsteigt. Wir lernen so in der Wärme eine neue Form von Triebkraft kennen, die Ihnen überdies aus unseren gewaltigen Motoren, den Dampfmaschinen, längst bekannt ist; denn wie Sie Alle wissen, ist es eben die moleculäre Ausdehnung des Wasserdampfes, die den Kolben und alle mit ihm in Verbindung stehenden Theile bewegt. Was Ihnen aber kaum bekannt sein dürfte, das ist, dass sich die Wärme unter Umständen in mechanische Kraft umsetzen kann, auch ohne zugleich einen thermischen Effect, d. h. ohne ein Steigen des Thermometers, eine weitere Steigerung der Temperatur hervorzubringen, so dass sie dann ganz und unmittelbar als mechanische Arbeitskraft erscheint.

Benutzen wir einen dem vorigen analogen Apparat, füllen aber den Glasballon diesmal nicht mit Luft, sondern mit Wasser. Im Anfangsstadium des Versuches bringt die Wärme, wie vorhin an dem luftgefüllten Apparat, beide Wirkungen hervor, nämlich: erstens, einen thermischen Effect, Temperatursteigerung; zweitens, mechanische Arbeit. Diese letztere pflegt man in eine innere und äussere zu unterscheiden. Die innere Arbeit besteht in der Vergrösserung der unmessbar kleinen Zwischenräume zwischen den Molecülen des Wassers; denn damit die Wärme dieses gewaltsame Auseinandertreiben der Molecüle bewirke, muss sie den Widerstand, dem sie in der gegenseitigen Anziehungskraft derselben Wassermolecüle begegnet, überwinden, muss also Arbeit leisten, und diese Arbeit wird als innere bezeichnet. Nachdem nun aber das Volumen der erwärmten Wassermasse vergrössert worden, die Flüssigkeit jedoch in unnachgiebige Wände eingeschlossen ist, so hebt sie die Wassersäule und leistet damit äussere mechanische Arbeit. — Doch dies nur beiläufig. Ihr Hauptaugenmerk wollen Sie dem erwärmten Ballon zuwenden. Beachten Sie nun wohl: von dem Moment an, wo die Temperatur des Wassers 100° C. erreicht hat und Wasserdampf entsteht, fährt wohl die in derselben Menge wie früher zugeleitete Wärme fort, ihre mechanische innere und äussere Arbeit zu leisten, aber ein weiterer thermi-

scher Effect bleibt aus: das mit dem Apparat in Verbindung gebrachte Thermometer bleibt auf 100° C. stehen! Die Wärme, welche, wie Sie unmittelbar sehen, im Wasser und Wasserdampf verschwindet, erscheint ganz und unmittelbar als ein bestimmtes, durch Fusspfunde oder Kilogramme ausdrückbares Quantum mechanischer Trieb- oder Arbeitskraft.

Eine dieser ähnliche Erfahrung machen wir bei einem andern Versuche. Ich habe hier einen Ballon mit comprimierter Luft; sie hat jetzt dieselbe Temperatur wie die Umgebung — der Thermomultiplicator, in dem wir bekanntlich einen äusserst empfindlichen Wärmemesser besitzen, steht deshalb auf Null. Oeffne ich den Hahn, so strömt die Luft mit Gewalt hervor, leistet also mechanische Arbeit, und beachten Sie wohl, gleichzeitig sinkt die Temperatur der arbeitenden Luft! Die verschwindende Wärme äussert sich als mechanische Triebkraft — sie wird, wie jede andere Triebkraft, verbraucht, indem sie Arbeit leistet, die Arbeit entsteht auf Kosten der Wärme.

Wie umgekehrt, auf Kosten von mechanischer Arbeit Wärme entsteht, ist eine Allen bekannte Erfahrung. Wer von Ihnen kennt nicht die durch Reibung, Druck und Stoss erzeugte Wärme? Wie der Naturmensch durch Gegeneinanderreiben von zwei Hölzern sich sein Feuer bereitet, reiben auch wir uns gegen den Winterfrost die Hände; der Fuhrmann wieder fettet die Räder fleissig, damit die Reibung geringer werde und so durch die Reibungswärme nicht zu viel der angewandten mechanischen Arbeitskraft seiner Zugthiere verloren gehe. — Wie in unserem Versuche die Arbeit auf Kosten der Wärme erzeugt worden ist, ebenso sehen wir also in der täglichen Erfahrung die Wärme auf Kosten von Arbeit entstehen.

Wir kommen hier zu einem der wichtigsten und bedeutungsvollsten Gesetze, welches die moderne Wissenschaft aufgefunden hat. Von der Auffindung dieses Gesetzes und dem damit zusammenhängenden Gesetze von der Erhaltung der Kraft datirt der grossartigste Fortschritt, den die gesammten Naturwissenschaften seit der Entdeckung des Gravitationsgesetzes durch NEWTON gemacht haben; denn dieser Fortschritt hat zur Erkenntniss des eigentlichen Wesens und der wahren Natur der Wärme, sowie zur erfahrungsmässigen Begründung der ganzen modernen mechanischen Naturanschauung geführt.

Die genauesten Untersuchungen und Messungen von R. J. MAYER, JOULE, CLAUSIUS und FAVRE haben nämlich ergeben, dass sich die Umwandlung oder Transformation der mechanischen Arbeit in Wärme und umgekehrt, welches immer auch die Umstände nach Zeit und Ort sein mögen, nach einem unwandelbaren, constanten

Verhältniss vollzieht, d. h. dass für das Quantum Wärme, welches aufgewendet wird und verschwindet, — wie sich dies bei unseren Versuchen am Thermometer, durch das Ausbleiben einer Temperatursteigerung oder durch das Sinken der Temperatur, kundgegeben, — ein constantes, genau gleiches Quantum mechanischer Arbeit entsteht, und umgekehrt.

Doch dieser Gegenstand ist von solcher Wichtigkeit, dass ich noch länger bei demselben verweilen muss.

Es war im Jahre 1842, dass R. J. MAYER, praktischer Arzt in Heilbronn, zuerst den Gedanken von der Nothwendigkeit eines constanten Aequivalenzverhältnisses zwischen mechanischer Arbeit und Wärme entwickelte und aussprach. MAYER wird daher unbestritten als der erste intellectuelle Urheber des grossartigsten Fortschrittes der modernen Naturwissenschaft angesehen. Dieses Verdienst wird dadurch nicht geschmälert, dass unabhängig von ihm und fast zu derselben Zeit, 1843, JOULE in Manchester die ersten Versuche veröffentlichte, welche den experimentellen Beweis für die Aequivalenz geliefert und zur numerischen Bestimmung des Aequivalenzverhältnisses der Wärme geführt haben. Es geschieht ja so häufig, dass, wenn die Entwicklung der Menschheit bei einem gewissen Punkte angelangt ist, auf welchem die Erkenntniss einer grossen Wahrheit so zu sagen logisch nothwendig erfolgen muss, diese Wahrheit gleichzeitig mehreren bevorzugten Geistern aufgeht. — Doch dies nur beiläufig; denn es ist mir weniger um historische Notizen zu thun, als um die klare Auseinandersetzung des Sinnes und der Bedeutung der mechanischen Aequivalenz der Wärme. Zu diesem Zwecke werde ich Sie mit den Mitteln und Wegen einigermaßen bekannt zu machen suchen, durch und auf welchen man die Constanz des fraglichen Aequivalenzverhältnisses bewiesen und die Ziffer desselben bestimmt hat.

Sie werden begreifen, dass, wenn es gelingt, das zur Unterhaltung der Reibung aufgewendete Quantum mechanischer Arbeit oder Triebkraft genau zu messen, und mit der ebenfalls genau gemessenen Wärmequantität zu vergleichen, welche durch die Reibung eben entstanden ist, damit auch die Möglichkeit gewonnen wird, das Aequivalenzverhältniss zwischen mechanischer Arbeit und Wärme nachzuweisen und numerisch zu bestimmen. JOULE'S Versuche hatten nun diesen Weg im Auge, und in der That erreichte er auch auf ihm das angestrebte Ziel. Der Mechanismus, dessen er sich bediente, war ein ganz einfacher. Ein fallendes Gewicht drehte ein Schaufelrad, das im Innern einer Wasser- oder Quecksilbermasse durch feste Hindernisse

in seiner Bewegung verzögert wurde. Die Reibung der Flüssigkeitstheilechen gegeneinander, an den festen Hindernissen und an den Radschaufeln, entwickelte eine Wärmemenge, die nach dem Temperaturzuwachs der verschiedenen Theile des Apparats leicht zu bestimmen war. Die aufgewendete Triebkraft oder Arbeit zur Unterhaltung der Drehung des Schaufelrades war gegeben durch den Fall des treibenden Gewichts. Unter Berücksichtigung der Correctionen, welche die Reibung der beweglichen Theile der Maschine ausserhalb der calorimetrischen Theile derselben nöthig macht, ergab sich dann unmittelbar das Verhältniss zwischen der aufgewendeten Arbeit und der erzeugten Wärmemenge.

Während so das Quantum der verbrauchten Triebkraft von JOULE mit der entstandenen Wärmemenge verglichen ward, bedurfte es auch einer Reihe von Versuchen, bei welchen umgekehrt die verschwindende, d. h. aufgewendete Wärmemenge verglichen ward mit dem Quantum von Triebkraft, welche dadurch entsteht, also mit dem Quantum Arbeit, welches durch die verbrauchte Wärmemenge geleistet wurde. In dieser Richtung stellte HIRN seine Versuche an und auch ihm gelang es, seinen Zweck vollkommen zu erreichen.

Als das mechanische Aequivalent der Wärme hat sich nun aus allen diesen Versuchen mit Sicherheit die Zahl 425 herausgestellt. Sie drückt aus, dass es, als mechanische Leistung betrachtet, genau dasselbe thun heisst, ob man eine Wärmemenge erzeugt, die im Stande ist, die Temperatur eines Kilogramm Wasser um 1° Celsius zu erhöhen, — was man eine Wärmeeinheit oder Calorie nennt — oder ob man ein Gewicht von 1 Kilogramm auf 425 Meter Höhe emporhebt. Für jede Wärmeeinheit, die verschwindet, entsteht ein Quantum Arbeit von 425 Kilogrammmetern; so wie das Quantum Arbeit, welches 1 Kilogramm leisten kann, das 425 Meter hoch herabfällt, im Stande ist, die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° C. zu erhöhen. — Kurz, der mechanische Kraftaufwand ist für beide Leistungen genau gleichwerthig. Und dieses Aequivalenzverhältniss gilt ganz allgemein, d. h. in allen Fällen, wo eben für und durch den Verlust oder Verbrauch von einer Wärmemenge eine Quantität Triebkraft oder Arbeit entsteht, und umgekehrt, — welches auch die Umstände, die Mittel und Vorgänge einer solchen Transformation sein mögen.