

VIII.

Wärme ist wesentlich Bewegung, — die Art derselben.

Nachdem wir die engste Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit, ja sogar für die Wärme ein mechanisches Maass, ihr sogenanntes mechanisches Aequivalent aufgefunden haben, so dass wir jetzt Wärmemengen durch Fusspfunde oder Kilogrammometer ebenso gut messen und numerisch ausdrücken können wie durch Wärmeeinheiten oder Calorien — liegt uns natürlich nichts näher, als nach dem eigentlichen Wesen der Wärme zu fragen. Ist die Wärme ein besonderer Stoff? oder ist sie etwas Anderes, also nur ein Zustand des Stoffes, welchen man nach Belieben hervorrufen und wieder verschwinden machen kann?

Die ältere, sogenannte materielle Wärmetheorie erklärte die Wärme für einen überaus feinen, imponderablen, d. h. gewichtlosen Stoff, Caloricum oder Wärmestoff, der nur das mit den übrigen ponderablen Stoffen gemein habe, dass er, wie diese, ebenso unerschaffbar und unzerstörbar in seiner Quantität als unveränderlich in seinen Eigenschaften sein sollte. Diese materielle Wärmetheorie sucht die thatsächlichen Wärmephänomene folgendermassen zu erklären:

Wo Wärmemengen vernichtet zu werden scheinen, da soll das Caloricum oder der Wärmestoff nur zwischen die Theilchen der ponderablen Materien, so zu sagen, sich verkriechen oder verstecken, wie man sich ausdrückte, latent werden, ganz ähnlich wie bei den chemischen Verbindungen die Eigenschaften der Elementarstoffe in der neuen Verbindung nur un wahrnehmbar verborgen sind. Umgekehrt in jenen Fällen, wo Wärmemengen scheinbar neu erzeugt würden, da sollte das »latent« vorhandene Caloricum nur aus seinen Schlupfwinkeln und Verstecken hervorgetrieben und an anderen Orten im Raume angehäuft werden, analog wie beim Zerlegen der chemischen Verbindungen die Stoffe mit ihren ursprünglichen Eigenschaften wieder wahrnehmbar werden.

Zur Erklärung der verschiedenen Erscheinungen, welche sich beim Erwärmen und Erkalten der verschiedenen Substanzen, beim Wechsel der Aggregatzustände derselben u. s. w. zeigen, wurde den ponderablen Körpern eine verschiedene Fähigkeit zugeschrieben, grössere oder kleinere Mengen des Caloricums oder Wärmestoffs aufzunehmen und zu binden. Diese Fähigkeit, bestimmte verschiedene Mengen latent zu machen, nannte man die spezifische »Wärmecapacität« der Körper.

Von allen Wärmeerscheinungen bot die thatsächliche Möglichkeit, durch rein mechanische Mittel Wärme zu erzeugen, die grösste Schwierigkeit einer befriedigenden und ungezwungenen Erklärung nach der materiellen Wärmetheorie. Um z. B. zu erklären, warum eine Bleikugel, die wir hämmern, warm wird, musste man annehmen, dass durch das Hämmern die Zwischenräume zwischen den Bleitheilen, in welche sich das Caloricum oder der Wärmestoff versteckt haben und »latent« geworden sein sollte, verkleinert würden und nun nicht mehr dieselbe Wärmemenge beherbergen könnten wie zuvor.

Diese Annahme, welche im ersten Augenblick noch leidlich plausibel erscheint, ist jedoch völlig unstatthaft und ungenügend, und zwar gebührt das Verdienst, dies durch schlagende Versuche nachgewiesen und damit den ersten vernichtenden Stoss gegen die materielle Wärmetheorie geführt zu haben, dem Engländer Grafen RUMFORD, welcher sein Verdienst noch dadurch erhöhte, dass er aus den Resultaten seiner Versuche mit unvergleichlichem Scharfsinn zugleich auch eine andere, weit bessere Vorstellung vom Wesen der Wärme entwickelte, die — andeutungsweise allerdings schon in BACON'S »Novum organon« und in LOCKE'S Schriften erwähnt — thatsächlich die Grundlage unserer modernen, im Gegensatze zur gestürzten materiellen, sogenannten dynamischen oder mechanischen Wärmetheorie bildet.

Graf RUMFORD, in weiteren Kreisen nur als Philanthrop durch die nach ihm benannte Armensuppe bekannt und berühmt, hat schon 1798, als er Vorstand der Münchener Kanonengiesserei war, seinen schönen Versuch über die Umwandlung von mechanischer Arbeit in Wärme angestellt, welcher unter seinen Händen epochemachend werden sollte. Es ist sehr lehrreich und anziehend, RUMFORD'S echt naturwissenschaftlichen Gedankengang zu verfolgen, weshalb ich denselben kurz und zum Theil mit RUMFORD'S eigenen Worten skizziren will.

Ueberrascht von den bedeutenden Wärmemengen, welche sich beim Ausbohren der Kanonen entwickeln, stellt und beantwortet sich RUMFORD im Sinne der damaligen materiellen Wärmetheorie die wichtige Frage: »Woher stammt die Wärme, welche bei der mechanischen Arbeit des Kanonenbohrens factisch entwickelt wird? Geht dieselbe

von den Metallspähnen aus, welche von dem Metall getrennt werden? und ist es also die latente Wärme der Bohrspähne, welche frei wird? Wenn dem so wäre, so müsste die Wärmecapacität der Metallspähne nicht nur verändert sein, sondern diese Veränderung müsste auch gross genug befunden werden, um die ganze erzeugte Wärmemenge zu erklären.

RUMFORD schnitt also mit einer feinen Säge, ohne jede merkliche Erwärmung, von dem Kanonenmetall Spähne ab und bestimmte und verglich ihre Wärmecapacität mit der der Bohrspähne, bei deren Abtrennung sich so bedeutende Wärmemengen entwickelt hatten. Es fand sich nicht der geringste Unterschied in der Wärmecapacität der beiderlei Metallspähne. —

Nun ging RUMFORD weiter und liess einen eigenen Apparat construiren, um die durch Reibung entstandene Wärme zu untersuchen. Der Apparat bestand aus einem hohlen eisernen Cylinder, in dessen Höhlung ein massiver cylindrischer Kolben aus gehärtetem Stahl eingepasst war, der gegen den Boden des Hohleylinders fest aufdrückte und durch Pferdekraft in Drehung versetzt werden konnte, wobei zwischen den metallischen Berührungsflächen starke Reibung stattfand. Der Hohleylinder war mit einem Holzkasten umgeben, und dieser mit kaltem ($16,7^{\circ}$) Wasser so weit gefüllt, dass der ganze Cylinder bedeckt war. — Jetzt wurde der stählerne Kolben durch Pferdekraft in Rotationen versetzt und sofort begann die Temperatur der Wassermasse, welche $2\frac{1}{2}$ Gallonen oder 18,77 Pfund betrug, zu steigen. Nach Verlauf von $1\frac{1}{2}$ Stunden fortgesetzten Drehens und ununterbrochener Reibung war die Temperatur der ganzen Wassermasse von $16,7^{\circ}$ auf 61° gestiegen; nach einer weiteren Stunde, also nach $2\frac{1}{2}$ Stunden seit Beginn des Versuches, kam das Wasser wirklich ins Kochen! Die Ueberraschung und das Staunen der Anwesenden, Wasser ohne alles Feuer in volles Kochen gerathen zu sehen, war nicht minder gross, als RUMFORD'S Freude über das von ihm vorausgesehene glänzende Gelingen seines schönen Versuches.

Die ganze, während der Versuchszeit durch das Pferdegespann geleistete mechanische Arbeit war verwandt worden, um den Reibungswiderstand zwischen den sich berührenden Metallflächen zu überwinden. Hierbei hatten sich nur 54 Gramm Metallstaub gebildet, dessen Wärmecapacität in keiner Weise verändert war; die Quantität der im Wasser und im ganzen übrigen Apparat producirten Wärme betrug hingegen 1200 Calorien, d. h. so viel als nöthig ist, um 12 Kilogramm Wasser von 0° auf 100° zu erhitzen. Ueberzeugt, dass diese grosse, durch die Reibung producirt Wärmemenge unmöglich als das Resultat

des Freiwerdens der »latenten« Wärme des so geringen Quantum abgeriebener Metalltheilchen, — deren Wärmecapacität überdies, wie erwähnt, factisch unverändert geblieben war, — betrachtet werden könne, begleitet RUMFORD seinen Versuch mit den folgenden bedeutenden Reflexionen über das eigentliche Wesen der Wärme. Er sagt wörtlich :

»Beim Nachdenken über die Resultate aller dieser Versuche werden wir naturgemäss auf die grosse Frage, welche so oft den Gegenstand der Speculationen unter den Naturforschern bildete, hingelenkt, nämlich : Was ist Wärme? Gibt es etwas, wie ein feuriges Fluidum? Existirt überhaupt etwas, das man richtig als Wärme st off bezeichnen könnte? . . . Wir haben gesehen, dass eine ganz bedeutende Wärmemenge durch die Reibung zweier metallischen Flächen hervorgebracht und nach allen Richtungen in fortdauerndem Strom ohne Unterbrechung oder Pause und ohne jegliches Zeichen von Abnahme oder Erschöpfung abgegeben werden kann. . . . Bei unseren Schlussfolgerungen über diesen Gegenstand dürfen wir den sehr bedeutenden Umstand nicht vergessen, dass die Quelle der bei diesen Versuchen durch Reibung erzeugten Wärme offenbar unerschöpflich ist. . . Es ist kaum nöthig, hinzuzufügen«, bemerkt RUMFORD zum Schlusse seiner glänzenden Deduction, »dass etwas, das von einem isolirten Körper oder Körpersystem endlos hervorgebracht werden kann, unmöglich eine materielle Substanz sein kann, und ich finde es schwer, wenn nicht ganz unmöglich, mir eine bestimmte Vorstellung von dem zu machen, was in diesen Versuchen erzeugt und mitgetheilt wird, wenn ich es nicht für eine Bewegung halten soll.«

Zur Zeit, als RUMFORD seine Experimente veranstaltete und aus ihnen Schlüsse von solcher bindenden Kraft gegen die Stofflichkeit des Wärmeprincipes ableitete, waren seine Ideen über das Wesen und die Natur der Wärme im flagrantesten Widerspruch mit den allgemein herrschenden Anschauungen; heute haben dieselben ihre feste Geltung in der Wissenschaft gewonnen als thatsächlich erwiesene Wahrheiten.

Gestatten Sie, bevor ich diesen Gegenstand weiter verfolge, dass ich Ihnen den RUMFORD'schen Cardinalversuch in einer von TYNDALL angegebenen einfachen Modification vorführe, um Sie durch die unmittelbare Anschauung zu überzeugen, dass Wasser in der That durch einfache Reibung siedend gemacht werden kann, und zwar in kürzester Zeit. — Sie sehen hier die kleine Kochmaschine, die ihren Hauptbestandtheilen nach aus einer Messingröhre besteht, die zwischen einer Art Holzspanne gedreht werden kann. Versetze ich durch die Drehschraube hier die Röhre in schnelle Drehung, so sehen

Sie, wie das in ihr befindliche kalte Wasser sehr bald zum Kochen kommt — schon nach zwei und einer halben Minute.

Nicht viel später als RUMFORD machte DAVY einen anderen Versuch, dessen Beweiskraft gegen die Stofflichkeit des Wärmeprincipes von mancher Seite für noch schlagender und unwiderstehlicher gehalten wird, als die des RUMFORD'schen Versuchs. DAVY nahm zwei glatte Stücke Eis und liess sie durch einen besonderen Apparat, dessen Temperatur wie die der ganzen Umgebung des Eises sorgfältig auf derselben Höhe, auf oder unter dem Gefrierpunkt von 0° dauernd erhalten wurde, rasch und kräftig gegeneinander reiben. In Folge dessen entstand nichts desto weniger so viel Wärme, dass beide Eisstücke an den gegeneinander geriebenen Berührungsflächen zu schmelzen begannen und in kürzester Zeit zerschmolzen. — Woher konnte nun unter diesen Umständen die Wärmemenge stammen, welche erfahrungsgemäss nöthig ist, um den festen Aggregatzustand der Eismolecüle in den flüssigen des Wassers zu verwandeln? Eine Wärmemenge, die gar so gering nicht ist, da jedes Kilogramm Eis von 0° bekanntlich 79 Wärmeinheiten zugeführt erhalten und absorbiren, d. h. »latent« machen muss, wenn es sich in flüssiges Wasser von 0° Temperatur verwandeln soll.

Aus den Bestandtheilen des die Bewegung und gegenseitige Reibung der Eisstücke bewerkstellenden Apparats konnte die nöthige Wärmemenge ebenso wenig stammen, als aus der die Eisstücke umgebenden Luft, da, wie gesagt, sowohl der ganze Bewegungsapparat als die Umgebung der Eisstücke durch künstliche Mittel andauernd auf oder unter dem Gefrierpunkt von 0° erhalten wurden. — Sie konnte aber natürlich auch nicht geliefert werden durch eine Entbindung der latenten Wärmemengen, welche das Eis bis 0° allerdings noch immer enthält — wie wir aus der Möglichkeit, seine Temperatur noch weiter, unter 0° zu erniedrigen, sehen — indem dieselben kaum halb so gross sind, als jene »latenten« Wärmemengen, welche das Wasser factisch enthält und enthalten muss, wenn es bei 0° seinen flüssigen Aggregatzustand annehmen und erhalten soll!

So sehen Sie denn, wie der sinnreiche DAVY'sche Versuch im Sinne der alten materiellen Wärmetheorie absolut unerklärlich bleibt und zu dem zwingenden Schlusse berechtigt, dass die Wärme absolut kein Stoff sein kann, der dem Eise von irgendwoher zugeleitet und in demselben angehäuft wird, weil sich, wie wir sahen, unter den künstlich hergestellten Bedingungen des Versuches nirgendwo die zum Schmelzen des Eises nöthige Wärmestoffmenge findet. Der Versuch berechtigt zu dem weiteren Schlusse, dass die Wärme ein Etwas sein muss, welches

an den sich reibenden Eisflächen durch die Reibung und Bewegung neu und unerschöpflich entsteht, so lange die Reibung und Bewegung unterhalten wird. Dieses Etwas kann nun offenbar nur ein Zustand des Stoffes, nicht ein Stoff selbst sein, — und dieser Zustand muss in einer Bewegung der kleinsten unsichtbaren Stofftheilchen bestehen, da das, was an den sich berührenden Flächen der Eismassen sichtbar vorgeht, nichts als Bewegung ist.

Die moderne, mechanische oder dynamische Wärmetheorie erklärt also die Wärme für einen Zustand der Materie, d. h. für eine mechanische Bewegung der kleinsten unsichtbaren und unmessbaren Stofftheilchen. Und nun ist mit Einem Male Alles klar! Man begreift sofort die Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit. Man begreift die Neuerzeugung von Wärme durch Reibung und Stoss, also durch Aufwand mechanischer Arbeit, ebenso gut wie das Verschwinden, das Vernichtetwerden der Wärme, wo auf Kosten derselben mechanische Arbeit entsteht; denn die gewöhnliche mechanische Arbeit und die Wärme sind nach der neuen Theorie in ihrem innersten Wesen gleichartige Vorgänge, beide sind Bewegung: erstere, Bewegung der ganzen grobsinnlichen Massen oder Molen; letztere, Bewegung der sinnlich nicht wahrnehmbaren Molecüle, Atome und Uratome der Materie. Wir haben die erlangte Geschwindigkeit bewegter Massen als eine Form der Triebkraft, als sogenannte »lebendige Kraft« kennen gelernt; wir erfahren nun, dass die erlangte Geschwindigkeit oder »lebendige Kraft« der atomistischen Massentheilchen gleichfalls eine Form der Triebkraft ist, die wir »Wärme« nennen. So überraschend dies im ersten Augenblick auch sein mag, so selbstverständlich erscheint es bei reiferer Ueberlegung; denn für den Verstand ist es doch offenbar nicht schwieriger, sich eine Bewegung atomistischer Stoffelemente innerhalb der Stoffmassen vorzustellen, als die Bewegung ganzer Stoffmassen selbst! Die Wärme ist also, kurz definirt, die lebendige Kraft oder die erlangte Geschwindigkeit der bewegten atomistischen Massentheilchen.

Wie überaus fruchtbringend und manchen scheinbaren Widerspruch lösend die soeben gewonnene Anschauung vom Wesen der Wärme sich erweist, werden Sie sofort erschen. — Ich erinnere Sie daran, dass wir schon bei unseren ersten praktischen Versuchen zur Orientirung über die verschiedenen Formen der Kraftäusserung und über die nöthigsten Grundbegriffe der Mechanik auf Beispiele gestossen sind, welche der strengen Allgemeingiltigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft zu widersprechen schienen. Wir sahen damals

beim Pendel und ebenso auch beim schwingenden Metallstab, dass im Anfangspunkt der Schwingungsbahn, das ganze Quantum der mitgetheilten Triebkraft in Form von Spannkraft vorhanden war, dass aber in dem Maasse der Vorrath an Spannkraft abnahm, als sich lebendige Kraft entwickelte. Im Halbirungspunkte der Schwingungsbahn war gar keine Spannkraft mehr vorhanden, sie hatte ganz die Form von lebendiger Kraft oder von Geschwindigkeit angenommen; deshalb musste das Pendel und der Metallstab seinen Weg fortsetzen und die zweite Hälfte der Schwingungsbahn durchlaufen. Dabei nahm aber in dem Maasse, als sich die Geschwindigkeit der Bewegung verzögerte, der Vorrath an Spannkraft wieder zu, so dass das Quantum der Triebkraft am Ende der Schwingungsbahn wieder ganz in Form von Spannkraft vorhanden war. —

Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft soll nun für jedes Quantum Spannkraft, das verschwindet, ein genau gleiches Quantum lebendiger Kraft, — und umgekehrt wenn diese verschwindet, ein genau gleiches Quantum Spannkraft entstehen, so dass die Summe dieser beiden Grössen oder der gesammte Kraftvorrath, die totale Energie, sich gleichbleibt. Bei den Versuchen mit dem Pendel wie mit dem Metallstab bemerkten wir jedoch, dass dem Gesetze nicht mit voller Strenge genügt werde. Beim Verschwinden eines gewissen Quantum von Spannkraft entsteht kein genau äquivalentes, sondern ein etwas geringeres Quantum lebendiger Kraft, und umgekehrt, so dass auch die Summe der beiden Grössen nicht constant bleibt, sondern schliesslich gleich Null wird. — Ich hatte Sie hinsichtlich der Lösung dieses Widerspruchs auf später vertröstet, indem ich bemerkte, wir würden das Quantum der Kraft, das bei jeder Verwandlung von Spannkraft in lebendige Kraft und umgekehrt vernichtet zu werden scheint und das endliche Gesamtdesicit an Triebkraft verursacht, an einem anderen Ort im Raume und in anderer Erscheinungsform, aber in unveränderter Quantität wiederfinden lernen. Jetzt erkennen Sie nun deutlich, dass das für den mechanischen Effect verloren gehende Triebkraftsquantum in Form einer genau äquivalenten Wärmemenge und an jenen Orten im Raume erhalten bleibt, wo sich die bewegten Massen an einander reiben, gegen einander stossen, oder wo sie verbogen, gepresst oder gezerzt werden. In der That, es erwärmt sich der schwingende Stab, wo er sich biegt, das Pendel, wo es aufgehängt ist, sowie die Luft, an der sich die Massen reiben.

Ja, jeder bewegte Körper würde sich in alle Ewigkeit mit seiner einmal erlangten Geschwindigkeit in derselben Richtung fortbewegen, wenn diese Geschwindigkeit nicht durch die Reibung und durch die

kleinen und grossen Stösse an den benachbarten Körpern allmählich verzögert und vernichtet würde, indem sie sich dabei in Wärme verwandelt, d. h. in Geschwindigkeit oder Bewegung der unmessbar kleinen Massentheilchen, die daher unmittelbar und als solche sinnlich nicht wahrnehmbar sein kann. Nur Ein eclatantes Beispiel. Wenn ein Eisenbahnzug, der sich mit einer Geschwindigkeit von fünf deutschen Meilen in der Stunde fortbewegt, in die Nähe einer Haltestelle gelangt, so sperrt man den Hahn zum Kolben, so dass demselben keine neue Triebkraft mehr zugeführt wird. Dass der Zug nicht sofort darauf stehen bleibt, ist darin begründet, dass er noch Triebkraft in Form von erlangter Geschwindigkeit besitzt. Um ihn zum Stehen zu bringen, muss daher noch die Bremse angewendet werden, — nun sprühen alsbald Rauch und Funken aus dem Rade, auf welches die Bremse drückt, und nun erst kommt der Zug zum Stillstand. Wodurch? — Einfach dadurch, dass die ganze Geschwindigkeit, welche der Zug besitzt, mittelst der Bremse in Geschwindigkeit der kleinsten Massentheilchen innerhalb der sich reibenden Metallstücke, d. h. in Wärme verwandelt wird! Auf Kosten der Bewegung der ganzen Massen ist eine äquivalente Menge Bewegung der kleinsten Massentheilchen innerhalb des Eisens des Rades und der Bremse entstanden, die durch die Bewegung des Zuges an einander geriebenen Massen haben sich erhitzt!

Dieses Beispiel mag genügen, um Ihnen zu zeigen, wie sich die lebendige Kraft oder die erlangte Geschwindigkeit der bewegten grossen Massen fortwährend in Wärme verwandelt, indem sie sich auf die kleinsten Massentheilchen überträgt. Aehnlich verliert die abgeschossene Kugel allmählich ihre lebendige Kraft, indem sie dieselbe den Massen und Massentheilchen mittheilt, welche sie auf ihrem Wege trifft.

Nach all diesen Thatsachen und bei dem neuen Lichte, in dem sie Ihnen jetzt erscheinen, muss sich Ihnen wohl schon die Ahnung davon aufdrängen, dass die Begründung und Ausbildung der mechanischen Wärmetheorie den grossartigsten Fortschritt der Naturwissenschaft in der Richtung nach jenem Ziele bezeichnet: alles Geschehen, alle Veränderungen in der Natur auf Bewegungsvorgänge, alle Naturkräfte auf die einfachen Anziehungs- und Abstossungskräfte der Uratome und ihrer Complexe zurückzuführen — oder mit anderen Worten, die ganze Naturwissenschaft in analytische Mechanik zu verwandeln. Denn durch die Einsicht in das eigentliche Wesen der Wärme und durch die Kenntniss des mechanischen Aequivalents der Wärme

ist uns nun auch die mechanische Behandlung und Auffassung aller übrigen Naturkräfte ermöglicht.

Der Begriff und das Maass der mechanischen Arbeit ist nämlich, wie wir sehen werden, erfahrungsgemäss auf alle Naturprocesse und auf alle arbeitsfähigen Naturkräfte verwendbar — und immer deutlicher wird das Gesetz von der Erhaltung der Kraft in unveränderter Quantität, bei fortwährendem Wechsel der Erscheinungsform und des Ortes im Raume, uns entgegenreten. —

Welcher Art ist nun aber die Bewegung der Stofftheilchen, werden Sie sicher fragen, die sich uns als Wärme kund gibt? — Um Ihnen hierauf zu antworten, muss ich an die Vorstellungen von der atomistischen Constitution der Materie anknüpfen, deren Auseinandersetzung ich eine der früheren Stunden gewidmet habe.

Sie erinnern sich, dass nach den erfahrungsgemäss berechtigten Lehren der Atomistik die groben Massen oder Molen, welche wir sinnlich wahrnehmen, aus Aggregaten sinnlich nicht mehr wahrnehmbarer, durch unmessbar kleine Zwischenräume von einander getrennter Theilchen oder Molecüle bestehen, welche selbst wieder aus noch kleineren, ebenfalls durch Zwischenräume getrennten, chemisch gleichartigen oder ungleichartigen Atomen zusammengesetzt sind, und dass schliesslich auch die chemischen Atome aus einer bestimmten Anzahl und Gruppierung von unendlich kleinen discreten Uratomen hervorgehen, welche von zweierlei Art sind: die sogenannten Körperatome und die sogenannten Aetheratome, welche letzteren in die Zwischenräume zwischen den Körper-Uratomen sowohl als in die Zwischenräume zwischen den chemischen Atomen, und endlich auch in die Zwischenräume, welche die Molecüle von einander trennen, eingelagert sind, und durch ihre Abstossungskraft ein Zusammenfallen und Sich-Berühren der gegenseitig sich anziehenden Körperatome und Atomcomplexe verhindern. Wir gewinnen in solcher Weise die Vorstellung eines Aethermeeres, welches den ganzen Weltraum nicht nur zwischen den Weltkörpern und den irdischen ponderablen Massen oder Molenaggregaten erfüllt, sondern die letzteren auch durchdringt, indem es in und zwischen die Molecüle, ja selbst zwischen und in die Atome eindringt. Der inter- und intramoleculare Aether bildet so ein zusammenhängendes Ganzes, das indess innerhalb der verschiedenen Körper verschiedene Dichtigkeit und Spannung besitzt, und das Medium wie den Schau- und Tummelplatz für die verschiedensten Bewegungsvorgänge darbietet. Jede Störung des Gleichgewichtszustandes, welche irgendwo im Aethermeere entsteht, wird, nach den angeführten Prämissen, sich fort-

pflanzen müssen; denn jedes bewegte Aetheratom muss seine Bewegung nothwendig den Nachbaratomen mittheilen. Jede Gleichgewichtsstörung wird demnach auch in und zwischen die Molecüle und zuletzt auch zwischen und in die chemischen Atome gelangen, und es ist klar, dass in Folge dessen schliesslich auch die Körperatome und deren wägbare Complexe, die chemischen Atome und die Molecüle, in bestimmte Bewegungen gerathen müssen. Ebenso wird selbstverständlich auch umgekehrt jede Störung und Veränderung der räumlichen Stellung und Anordnung der Körperatome und ihrer Complexe nothwendig analoge Bewegungen im Aethermeere hervorrufen.

Die Bewegungen der kleinsten Theilchen eines Körpers, seiner Molecüle, seiner chemischen Atome, seiner Ur- oder Körper- und Aetheratome sind es nun, welche die Wärme eines Körpers ausmachen. Was aber die Art der Bewegungen betrifft, welche diese minimalen Theilchen eines erwärmten Körpers ausführen, so unterscheiden die Physiker eine zweifache: erstlich, führt jedes Körper- und jedes Aetheratom innerhalb des Ortes im Raume, wo es sich eben befindet, ungemein rasche, zitternde Bewegungen aus; zweitens aber sind auch die kleinen einheitlichen Gruppen, die aus der Zusammensetzung der Uratome hervorgehen, die chemischen Atome und die ganzen Molecüle, in fortwährender, verschiedenartiger Bewegung, — die chemischen Atome und die Molecüle rotiren nämlich als kleine Ganze um ihre Mittelpunkte und schiessen in geradlinigen oder kreisförmigen Bahnen umher. Man hat sich demnach die chemischen Atome und die Atomgruppen oder Molecüle etwa wie kleine, aus zitternden Theilchen (Uratomen) bestehende Weltkörper vorzustellen, welche um ihre Mittelpunkte rotiren und sich zugleich in geradlinigen oder kreisförmigen Bahnen, wie die Erde um die Sonne, fortschreitend bewegen, wodurch ihre Mittelpunkte selbst neue Stellungen im Raume gegen einander erhalten. — Und die Summe dieser in jedem Molecül verschiedenen, ganz unregelmässigen und ungeordneten Bewegungen oder lebendigen Kraftquantitäten der bewegten Massentheilchen ist nichts Anderes als die jedesmalige im Körper enthaltene Wärmemenge.

Diese Art der Anschauung gibt uns eine interessante Betrachtung an die Hand. Man bezeichnet nämlich den Gefrierpunkt des Wassers mit 0° , und noch niedrigere Temperaturgrade mit -1° , -2° u. s. w., was den Irrthum veranlassen könnte, als ob das gefrierende Wasser oder die unter Null abgekühlten Körper gar keine Wärme mehr besässen, und als ob es ein besonderes, der Wärme entgegengesetztes Kälteagens gäbe. Gegen solche Irrthümer und missverständliche Auffassungen sind wir aber durch unsere Vorstellung von der mecha-

nischen Natur der Wärme gesichert. Das Sinken der Temperatur bedeutet in Wirklichkeit gar nichts Anderes, als eine Verminderung der Heftigkeit und Grösse jener Bewegungen, welche wir als das eigentliche Wesen der Wärme erkannt haben. Erst wenn diese Bewegungen des Körpers völlig vernichtet und die Atome des Körpers völlig zur Ruhe gebracht wären, erst dann wäre alle Wärme aus dem Körper verschwunden, erst dann hätte er den »absoluten 0-Punkt« der Temperatur erreicht. Dieser Zustand ist uns aber noch bei keinem Körper bekannt geworden. Es gibt — dem Zusammenhange des Aethermeeres zufolge — keinen absoluten Ruhezustand der kleinsten unsichtbaren Massenelemente der Materie. Wir haben uns im Gegentheile vorzustellen, dass die Atome und Molecüle aller uns bekannten Körper, allerdings in mehr oder weniger heftiger und ausgiebiger, aber stets doch in Wärmebewegung begriffen sind und Wärmespannkraft (oder latente spezifische Wärme) besitzen.

Es wird diese Anschauung von Bewegungen, die allenthalben im Weltraume ohne jede Unterbrechung stattfinden, Ihnen auf den ersten Blick überraschend, ja sonderbar erscheinen; führt doch die unmittelbare sinnliche Wahrnehmung uns zu einem ganz anderen Ergebniss. Allein der Widerspruch ist nur ein scheinbarer. Wir dürfen nämlich nicht vergessen, dass die bewegten Stofftheilchen sowohl als auch die von ihnen ausgehenden Bewegungen und die von ihnen durchlaufenen Bahnen unmessbar klein sind und deshalb auch in ihrem Gesamteffecte oft bloss mittelbar — indem die Körpermassen durch Erwärmung und Abkühlung in ganz bestimmter Weise ihren Umfang oder ihr Volumen, sowie ihren Aggregatzustand erfahrungsgemäss ändern, — nicht aber unmittelbar wahrnehmbar sind. So haben wir z. B. den festen Aggregatzustand der Körper, der dem Principe allgemeiner Bewegung am entschiedensten zu widersprechen scheint, nunmehr dahin zu interpretiren, dass in ihm jedes Molecül eine ganz bestimmte stabile Gleichgewichtslage einnimmt, die es nicht auf die Dauer zu verlassen vermag, dass es aber um dieselbe herum kleine schwingende Bewegungen ausführen kann, bei denen es sich allerdings nach allen Seiten nur wenig aus der Gleichgewichtslage entfernt; ebenso sind die Rotationsbewegungen, die es um seinen Mittelpunkt ausführen kann, nur sehr beschränkt, da das bestimmte, feste Gefüge, namentlich der Krystalle, darauf beruht, dass die Molecüle in ganz bestimmten Richtungen in verschiedener Stärke anziehend auf einander wirken und aus diesem Grunde eine ganz bestimmte, feste Orientirung und Stellung im Raume und gegen einander zu erhalten streben. Aber, so gering

diese Bewegungen auch sein mögen, sie sind doch jedenfalls vorhanden, sie finden thatsächlich statt. —

Es haben uns diese Betrachtungen über die Allgemeinheit der Bewegungen der minimalen Theilchen von unserem eigentlichen Thema, das die Art der Bewegungen in den erwärmten Körpern zum Gegenstande hat, etwas abgeführt. Ich kehre nun zu demselben zurück, um Ihnen in wenigen Zügen die wichtigsten Momente der hierüber unter den Physikern herrschenden Anschauung vorzuführen.

Die einem Körper zugeführte bestimmte Wärmemenge oder Kraftquantität spaltet sich in zwei Theile, der eine Theil erhöht die Temperatur des Körpers und ist mittelst des Thermometers wahrnehmbar; derselbe bewirkt jene Art der zitternden, unregelmässigen Bewegung der kleinsten unmessbaren Stofftheilchen innerhalb des bestimmten Ortes im Raume, der ihnen durch ihre Stellung in dem ganzen Atomencomplex angewiesen ist. Diese Art der Bewegung nennen wir Wärme im engeren Sinne des Wortes. — Der andere Theil der dem Körper zugeführten Wärmemenge oder Kraftquantität wird hingegen aufgewendet, jene Art der Bewegung zu bewirken, durch welche die ganzen chemischen Atome und Molecüle oder Atomgruppen neue Stellungen im Raume erhalten. Dieser Theil geht für die Temperaturerhöhung verloren, er leistet dagegen grob mechanische Arbeit innerhalb des erwärmten Körpers, weshalb man diese Leistung innere Arbeit der Wärme nennt.

Diese innere Arbeit besteht darin, dass die Molecüle, entgegen der zwischen ihnen herrschenden gegenseitigen Anziehungskraft, der Cohäsion oder Affinität — ganz analog der mechanischen Arbeit, welche wir leisten, wenn wir ein zu Boden gefallenes Gewicht emporheben, — aus einander gerissen werden; und genau so wie das zum Heben des Gewichtes aufgewendete Kraftquantum in Form von Spannkraft des gehobenen Gewichtes erhalten bleibt, ebenso bleibt der Theil der Wärme, welcher zur Leistung dieser inneren Arbeit des Auseinanderdrängens der Molecüle aufgebraucht wird und als Wärme, d. h. für das Thermometer, verschwindet, in Form von Spannkraft der aus ihrer gegenseitigen Stellung herausgebrachten Molecüle erhalten. Denn, wenn der erwärmte Körper sich wieder abkühlt, d. h. wenn die geschilderten Bewegungen allmählich an Geschwindigkeit verlieren, so fallen die Molecüle in ihre früheren Stellungen zurück, und es wird dabei gerade wieder so viel Wärme frei, als vorher durch die geleistete innere Arbeit verschwunden ist.

Der Vergleich zwischen den beiden Vorgängen, der Hebung des Gewichtes und der inneren Arbeit, lässt sich aber nach TYNDALL noch

benutzen, um eine sehr anschauliche Vorstellung von zweierlei Effecten zu geben, welche beim Erwärmen eines festen Körpers, z. B. eines Stückes Blei, erzielt werden. — »Angenommen«, sagt er, »wir hätten eine bestimmte Quantität von Kraft auf die Hebung unseres Gewichtes zu verwenden und wir theilten diese Kraft in zwei Theile. Den einen Theil der Kraft verwenden wir zur wirklichen Hebung, den anderen aber dazu, um das Gewicht während seines Aufsteigens wie ein Pendel in hin- und hergehende Schwingungen, oder in Rotationen, oder in andere immer heftigere Bewegungen zu versetzen. Nun, wenn wir dies thun, so geschieht etwas ganz Analoges, wie wenn Wärme dem Blei mitgetheilt wird. Die Atome und Molecüle des Bleies werden aus einander gedrängt; allein während ihres Zurückweichens vibriren sie mit allmählich zunehmender Heftigkeit. Die mitgetheilte Wärme scheidet sich also in eine Quantität aufgehäufter Spannkraft und in eine Quantität lebendiger Kraft, welche man als eine Art atomischer Musik ansehen kann, und der musikalische Theil vermag allein auf unsere Thermometer einzuwirken und unsere Nerven zu erregen.«

Was man früher »latent«-werden der Wärme nannte, erkennen wir jetzt als die Umwandlung der lebendigen Kraft der Wärmebewegung in Spannkraft.
