

Ueber die
neuen Grundanschauungen
in der Physik.

Von

PROF. DR. FRANZ JOSEF PISKO.

Vortrag, gehalten am 10. und 17. December 1879.

I.

Wer die Grundanschauungen der heutigen Physik mit jenen vergleicht, wie sie noch vor einigen Jahrzehnten allgemein verbreitet waren, der muss über die Veränderungen auf dem Gebiete dieses Wissenszweiges erstaunen. Die Imponderabilien sind gefallen und haben den verschiedenen Bewegungen und Bewegungsformen eines hypothetischen Weltäthers und der kleinsten Körpertheilchen Platz gemacht. Eine einzige Naturkraft, oder gar nur eine einzige ursprüngliche universelle Bewegung, wird angenommen, welche sich in verschiedenen Formen als Cohäsion, Adhäsion, chemische Affinität, Gravitation, Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus kundgibt. Diese veränderte Grundansicht verleiht der modernen Physik eine einheitliche, ansprechende und anziehende Gestalt, welche sich wesentlich unterscheidet von dem lückenhaften und wenig befriedigenden Systeme der älteren Physik. Die neuere Physik hat eine sehr einfache Grundlage erhalten, und das moderne Lehrgebäude der Naturlehre erscheint daher auch viel einfacher, zusammenhängender, über-

sichtlicher, klarer und durchsichtiger als der alte, zerrissene und zerklüftete Bau derselben.

Die Physik von heute gestaltet sich zu einer logisch gegliederten Bewegungslehre oder Kinetik (Dynamik). Dabei hat aber nicht etwa nur die äussere Form dieser Wissenschaft gewechselt, sondern auch die Erkenntniss der Naturvorgänge und Naturgesetze hat tief gehende, fundamentale Veränderungen erlitten. Wenn man z. B. ehemals das Fallen eines Steines beobachtete, so glaubte man, dass mit dem Ankommen des Steines auf dem Erdboden auch jede Bewegung bezüglich desselben ein Ende habe; man hielt es also für möglich, dass eine Bewegung ohne weiteres vernichtet werde — jetzt weiss man, dass bei dem scheinbaren Zuruhekommen jenes gefallenen Steines die sichtbare Bewegung desselben sich in die nicht sichtbare Bewegung seiner kleinsten Körpertheilchen umgesetzt hat, wodurch seine Temperatur etwas gestiegen ist. Wenn das Licht auf ein matt schwarzes Tuch fällt und dadurch gleichsam verschluckt oder absorbiert wird, so hielt man dies ehemals für ein absolutes Auslöschung des Lichtes oder für eine vollständige Vernichtung desselben; heute weiss man, dass hierbei die Lichtstrahlen nicht vernichtet, sondern in Wärme umgesetzt werden.

Diese Beispiele liessen sich zahllos vermehren, wobei sich stets zeigen würde, dass niemals eine scheinbar vernichtete Kraft in Wirklichkeit ver-

loren gehe, sondern, dass die Wirkungen der Kräfte sich nur verwandeln, umgestalten oder transformiren. Durch sinnreiche, messende Versuche lassen sich diese Maskirungen und Demaskirungen der Leistungen der Naturkräfte, d. i. der Bewegungen der Körper und ihrer kleinsten Theilchen, nachweisen; es lässt sich darthun, dass niemals in der Natur irgend etwas von einer Kraftleistung, d. i. von einer Bewegung der Körper und ihrer kleinsten Theilchen, verloren gehen könne, dass aber auch niemals irgend eine Kraft, eine Kraftleistung oder eine Bewegung neu erschaffen werden könne, sondern, dass alle Naturerscheinungen verschiedene Wirkungen des im Weltall in unveränderlicher Menge vorhandenen alten Kraft- oder Bewegungsvorrathes sind.

Forschen wir nach den Anfängen dieser Reformation in den Grundansichten der Naturlehre, so müssen wir, um jene zu verstehen, bei der Wärmelehre Einkehr halten. Es ist Ihnen bekannt, dass der eigenthümliche Zustand der Körper, vermöge dessen sie in uns die Wärme- und Kälte-Empfindung und an anderen Körpern Volumsveränderungen bewirken, ihr Wärmezustand heisst. Wir unterscheiden an den Körpern durch unsere Empfindung verschiedene Wärmezustände, vermöge welcher wir dieselben als heiss, warm, lau, kühl oder kalt bezeichnen; es gibt also Abstufungen oder Grade im Wärmezustand der Körper. Der bestimmte Grad im Wärmezustand eines Körpers heisst seine Temperatur. Zur Bestimmung

der Temperaturen der verschiedenen Körper dienen bekanntlich die Thermometer. Diese zeigen jedoch nur die verschiedenen Höhen des Wärmezustandes in einem damit in Berührung stehenden Körper an; sie vermögen aber nicht direct die Wärmemenge anzugeben, welche in einem Körper enthalten ist. Dazu bedarf es eigener Vorrichtungen, welche Calorimeter heissen. Bei letzteren wirken freilich auch thermometrische Messungen mit; es sind aber überdies gewisse Berechnungen nothwendig, um die in Frage stehenden Wärmemengen zu ermitteln.

Wir wollen hier ein höchst einfaches Beispiel eines solchen calorimetrischen Versuches, sowie der darauf folgenden sehr leichten Rechnung bringen; wir werden dadurch zugleich zu dem richtigen Begriff einer Wärme-Einheit, und folglich der numerisch angebbaren Wärmemengen, geführt werden. Wenn man 1 Kilogramm (Kg.) Wasser von 0° C. mit 1 Kg. Quecksilber von 34° C. mischt so zeigt die Mischung 1° C. Das Wasser entzieht also dem Quecksilber 33° C. und diese erhöhen die Temperatur desselben nur um 1° C. 1 Kg. Wasser muss also 33mal so viel Wärme als 1 Kg. Quecksilber zugeführt werden, wenn die Temperatur des Wassers sich um 1° C. steigern soll. Dieses Beispiel zeigt also, dass ein Thermometer nicht direct anzuzeigen vermag, welche Wärmemenge erforderlich ist, um die Temperatur der Gewichtseinheit eines Körpers um 1° C. zu erhöhen; es sind vielmehr hiezu Mischungs-

versuche, wie der eben angegebene oder andere ähnliche Versuchsmethoden, erforderlich. Um die Wärmemengen in Zahlen angeben zu können, muss man eine Wärme-Einheit wählen. Als Wärme-Einheit oder Calorie nimmt man jene Wärmemenge an, welche der Gewichts-Einheit, d. i. 1 Kilogramm Wasser, zugeführt werden muss, um dessen Temperatur von 0° C. auf 1° C. zu erhöhen. Wenn 1 Kg. Wasser zu seiner Temperatur-Erhöhung von 0° auf 1° C. eine Wärme-Einheit braucht, so werden 2, 3, 4 Kg. Wasser zu derselben Temperatur-Erhöhung 2, 3, 4 Wärme-Einheiten nothwendig haben. Enthält z. B. ein Körper 100 solche Wärme-Einheiten, so sagt man, seine Wärmemenge beträgt 100. Eine jede Vorrichtung, welche eine genaue Messung der Wärmemengen gestattet, heisst Calorimeter. Bei dem hier angeführten Beispiele würde das gegen Abkühlung sorgfältig geschützte, mit genauen Thermometern versehene Mischungsgefäss das Calorimeter sein.

Wenn man ähnliche calorimetrische Mischungsversuche, wie vorhin, mit verschiedenen Körpern und Wasser anstellt, so ergibt sich: Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper bedürfen verschiedener Wärmemengen, damit ihre Temperatur um 1° C. steige; so z. B. braucht zur Temperatur-Erhöhung um 1° C. 1 Kg. Eisen und ebenso Nickel nur $\frac{1}{10}$, 1 Kg. Zinn, Silber und Antimon nur $\frac{1}{20}$, ferner 1 Kg. Wismut, Blei, Gold, Platin und Quecksilber nur den 33. Theil von jener

Wärmemenge, welche 1 Kg. Wasser erfordert, damit seine Temperatur um 1° C. sich erhöhe. Jene Wärmemenge, welche erfordert wird, damit die Temperatur der Gewichts-Einheit (d. i. 1 Kg.) eines Körpers um 1° C. erhöht werde, nennt man die specifische Wärme oder die Wärmecapacität dieses Körpers. Die specifische Wärme des Wassers wird als Einheit für die Angaben der specifischen Wärme der verschiedenen Stoffe angenommen. Nach den vorstehenden Beispielen beträgt also die specifische Wärme des Wassers 1, des Eisens und Nickels $\frac{1}{10}$; des Zinnes, Silbers und Antimons $\frac{1}{20}$; des Wismutes, Bleies, Goldes, Platins und Quecksilbers $\frac{1}{33}$. Man sieht hieraus, dass das Wasser die grösste specifische Wärme besitzt, und dass die Metalle nur eine geringe specifische Wärme haben; eine kleine Wärmemenge kann folglich schon ihre Temperatur merklich erhöhen; bei Aufnahme gleicher Wärmemengen steigt die Temperatur jenes Körpers schneller, der eine niedrigere specifische Wärme besitzt.

Die Kenntniss der specifischen Wärme der Körper ist sowohl in theoretischer als praktischer Beziehung von hoher Wichtigkeit. In letzterer Beziehung dürfte folgendes Beispiel das Gesagte erhellen. Gesetzt, es wären gleiche Gewichtsmengen von Wasser und Quecksilber, die in getrennten Gefässen bei gleicher Anfangstemperatur enthalten sind, in derselben Zeit auf eine gleiche Temperatur mittelst

Flämmchen zu erwärmen, welche in der Zeiteinheit je eine gleich grosse Wärmemenge erzeugen; so müsste man unter dem Wasserbehälter 33 solcher Flämmchen brennen lassen, unter dem Quecksilbergefäss aber nur eines. Dies kommt daher, weil die spezifische Wärme des Wassers 33mal so gross ist, als jene des Quecksilbers. Aus demselben Grunde müsste man auch eine 33mal grössere Gewichtsmenge von Kohlen unter dem Wasser verbrennen als unter dem Quecksilber, wenn die Temperatur dieser Flüssigkeiten um dieselben Wärmegrade gesteigert werden sollte.

Weil das Quecksilber nur $\frac{1}{33}$ von jener Wärmemenge bedarf, welche das Wasser braucht, damit seine Temperatur je um einen Thermometergrad steige, so wird, wenn man gleiche Gewichtsmengen von den genannten Flüssigkeiten in getrennten Gefässen auf einen geheizten Ofen stellt, das Quecksilber viel früher eine höhere Temperatur gewinnen als das Wasser. Wenn man dagegen gleichen Gewichtsmengen des Wassers und des Quecksilbers dieselbe höhere Temperatur ertheilt hat und beide in einer kühleren Umgebung von constanter Temperatur erkalten lässt, so wird die Temperatur des Quecksilbers viel schneller sinken als die Temperatur des Wassers, weil letzteres, wegen der 33mal grösseren spezifischen Wärme, für je einen Wärmegrad Abkühlung jene 33mal grössere Wärmemenge wieder zurückgeben muss, welche es für je 1° Erwärmung früher aufgenommen hat. Unter sonst gleichen Umständen steigt

oder sinkt also die Temperatur eines Körpers von kleinerer specifischer Wärme schneller als jene eines Körpers mit grösserer specifischer Wärme.

Die Verschiedenheit in der Grösse der specifischen Wärme bei den verschiedenen Körpern liegt nicht offen zu Tage, ja selbst das Vorhandensein einer specifischen Wärme muss erst, wie wir gesehen haben, durch eigenthümliche Mischungsversuche oder andere Studien ermittelt werden. Und weil auch das verschiedene Wärmeleitungsvermögen der Körper, wenn auch aus anderen Gründen als oben, ein schnelleres oder langsames Erwärmen oder Erkalten der Körper bewirkt, so konnte das Dasein der specifischen Wärme den Naturforschern lange Zeit verborgen bleiben. In der That wurde dieselbe erst spät (1760—1765) von dem schottischen Professor der Chemie Josef Black entdeckt; es geschah dies während seiner Studien über ein anderes wichtiges, von ihm entdecktes Wärmegesetz, welches wir weiterhin besprechen werden. Black hat die der specifischen Wärme zu Grunde liegende Thatsache gefunden, die Bezeichnung dieser Thatsache mit „specifischer Wärme“ rührt jedoch von Wilke (1772) her; Crawford (1779) gebrauchte dafür den Ausdruck „comparative Wärme“ oder Wärmecapazität. Das letztere Wort spielt bildlich auf die verschiedene Fassungsgrösse (Capazität) der verschiedenen Körper an, vermöge welcher sie verschiedene Wärmemengen, für je 1 Grad der Temperatursteigerung, in sich aufnehmen.

Dem Entdecker der specifischen Wärme war es nicht entgangen, dass dieselbe Wärmemenge, welche ein Körper für je einen Grad der Temperatur-Erhöhung in sich aufnimmt und gleichsam verbirgt, genau wieder zurückgegeben wird, wenn die Temperatur eines Körpers um einen Grad sinkt. Was wird aus der Wärmemenge, welche die Körper bei der Temperatursteigerung in sich aufnehmen und welche sie bei der Erkaltung so genau wieder zurückgeben? So etwa fragte Black, und um die richtige Antwort auf diese Frage zu finden, prüfte er die beiden Hauptansichten, welche von jeher über die letzte Ursache der Wärme mehr oder minder dunkel ausgesprochen worden waren.

Schon die alten Philosophen hatten zur Erklärung der Wärme-Erscheinungen entweder einen höchstfeinen, elastischen Wärmestoff („das Feuer“) angenommen, welcher beim Eindringen in die Körper, je nach seiner Menge, dieselben mehr oder weniger warm mache, oder sie suchten die Wärme-Erscheinungen durch eine fortdauernde, mehr oder weniger gesteigerte Bewegung der kleinsten Körpertheilchen zu erklären. Ihre Vorstellung war jedoch nach beiden Richtungen hin zu allgemein, zu dunkel und verworren. Black und seine Anhänger schlossen sich im Principe der ersteren Ansicht an, und sie glaubten die von Black entdeckte, wichtige Thatsache der specifischen Wärme nur durch die Voraussetzung eines höchst feinen, elastischen, alle Materien durchdringenden, nicht

schweren Wärmestoffes erklären zu können. Dieser Wärmestoff sollte auf seine eigenen Theilchen abstossend, auf die fremden Körpertheilchen dagegen anziehend wirken. Wenn der Wärmestoff, vermöge der zwischen ihm und den Körpertheilchen bestehenden Anziehungskraft, in die Poren der Materien dringe, so treibe er, vermöge seiner Spannkraft, die Körpertheilchen weiter auseinander, das Volumen der Körper vergrößere sich daher durch die Zuführung von Wärme; es war also die Ausdehnung der Körper durch die Wärme damit erklärt. Die specifische Wärme erklärten Black und seine wissenschaftlichen Freunde wie folgt: Der Wärmestoff sei in den kälteren Körpern in geringerem Masse anwesend als in den wärmeren; er besitze stets einen gewissen Grad von Spannkraft, welcher von seiner Anhäufung und von der Mächtigkeit der zwischen ihm und den Stofftheilchen waltenden Anziehungskraft abhänge. Je grösser die letztere ist, desto schwächer erscheint die Spannkraft des zwischen den Körpertheilchen befindlichen Wärmestoffes, desto geringer zeigt sich also, beim Vorhandensein derselben Wärmemenge, der Thermometergrad des Körpers, desto mehr Wärme wird er mithin brauchen, damit seine Temperatur um je einen Grad steige, d. h. mit anderen Worten, desto bedeutender wird seine specifische Wärme oder seine Wärmecapacität sein.

Mit dieser Erklärung stand die Thatsache im Einklang, dass mit der Verdichtung eines Körpers

seine specifische Wärme abnimmt. Die Wärmestoff-Hypothese sagte in dieser Beziehung, wenn ein Körper verdichtet wird, so steigt dadurch auch die Spannkraft des Wärmestoffes, von dem also ein Theil frei wird, welcher die Temperatur des Körpers erhöht. Je nachdem also die Wärmecapacität eines Körpers verringert oder erhöht wird, muss auch Wärme frei oder gebunden werden.

Die Ansicht von der Existenz eines Wärmestoffes fand noch durch die strahlende Wärme, so weit sie damals erkannt war, ihre Bekräftigung, indem die Wärmestrahlen (wie die Lichtstrahlen) als materielle, höchst feine, unendlich rasch bewegte Ausflüsse der heissen Körper angesehen wurden, welche in die davon getroffenen Körper als Wärmestoff eindringen und sich theils mit deren Materien so, wie vorhin angedeutet worden ist, verbinden, theils auch als thermometrisch wirkende Wärme im Körper ungebunden oder frei bleiben.

Zur Zeit Black's standen alle damals bekannten Wärme-Erscheinungen im Einklange mit der Wärmestoff-Hypothese, oder mindestens nicht im Widerspruch damit, daher wurde die Wärmestoff-Theorie zu jener Zeit fast allgemein angenommen. Und dies umsomehr, als auch die früher so schwierig zu erklärenden irdischen Wärmequellen — hieher gehörten besonders die Wärme-Entwicklung durch Stoss und Druck und zum Theil durch chemische Processe — seit Black's Entdeckung der specifischen Wärme auf eine

Verminderung der Wärmecapacität zutreffend zurückgeführt werden konnten. Ja selbst bei jener Wärme, welche durch gegenseitige Reibung zweier Körper hervorgerufen wird, meinte man an eine Herabsetzung ihrer Wärmecapacität, welche etwa durch den dabei stattfindenden Druck erfolgen könnte, denken zu dürfen.

Im Allgemeinen waren also die Physiker jener Zeit durch die Annahme eines eigenen Wärmestoffes (Caloricums, Calorique) befriedigt. Allein es gab immer einige Zweifler, deren Geist sich durch die Voraussetzung eines schwerlosen Stoffes — und ein solcher war das Caloricum — nicht beruhigen konnten. Zu diesen gehörte namentlich Graf Rumford (Benjamin Thompson), der klare und scharfe Denker, der unbefangene Forscher, vorzügliche Beobachter und ausgezeichnete Experimentator. Zunächst versuchte er (1798) durch zarte Wägungen, ob nicht doch sehr heisse, nicht oxydirende Körper (z. B. eine Goldkugel, eine in einem Glasballen eingeschmolzene Wassermenge), verglichen mit ihrem Gewichte im kalten Zustande, eine geringe Zunahme des Gewichtes zeigen möchten; die Versuche fielen verneinend aus. Die Vertheidiger eines Caloricums konnten zwar jetzt einwenden, dieser Stoff sei so fein, dass er selbst auf die empfindlichste Wage nicht mehr wirke; aber sie machten einen anderen Einwurf, sie erklärten die Schwere als eine unwesentliche Eigenschaft der Substanz, und nannten unschwere Materien „Impon-

derabilien". Zu diesen zählten sie hypothetisch den Wärme- und Lichtstoff, ferner die elektrischen und magnetischen Fluida; eine Schwere konnte man bei diesen Imponderabilien schon deshalb nicht voraussetzen, weil man bemerkte, dass sie nach allen möglichen Richtungen mit gleicher Stärke hinströmten, und nicht, wie die Ponderabilien, nur gegen die Erde.

In seinem Unglauben an die Existenz eines Wärmestoffes wurde Rumford ganz besonders bestärkt durch die grossen Wärmemengen, welche bei der gegenseitigen Reibung der Körper auftreten. Es war längst allgemein bekannt, dass Bohrer, Sägen, Feilen, Radschuhe, ungeschmierte Achsen, Zapfen u. dgl. m. sich durch die bei ihrem Gebrauche stattfindende Reibung sehr stark erhitzen. Jeder Drechsler wusste das, indem er manche seiner Arbeiten mit braunen und schwarzen Streifen einfach nur durch sehr starke Reibung und die dadurch erzeugte Wärme verkohlte, und also bleibend verzierte. Das Funkensprühen beim Schleifen der Messer, das Reibfeuerzeug der Wilden, die Streichhölzchen, sowie die Zündnadelvorrichtungen der Culturvölker, gehören hieher. Die Anhänger der Ansicht von der Materialität der Wärme nahmen — wie bereits oben angedeutet worden ist — ihre Zuflucht dahin, dass sie voraussetzten, bei der Reibung werden die Körper verdichtet, mithin ihre Wärmecapazität vermindert; die Folge davon sei, dass ein Theil der Wärme frei werde und entweichen müsse. Es blieb jedoch ein

ungelöstes Räthsel, wie dies in solchem Uebermasse und in solch' unerschöpflicher Weise, bei so verhältnissmässig kleinem Druck, möglich wäre? Diese Frage drängte sich Rumford in auffallendster Weise auf, als er (1798) die mächtigen Wärmemengen beobachtete, welche beim Bohren der Kanonen frei werden, wobei sich ganz besonders die abfallenden Metallspäne erhitzen. Da er die Wärmecapazität der Abfälle sowohl als auch des massiven Geschützmetalles nicht vermindert fand, so durfte man jene Erhitzung des Rohres und der Späne um so weniger von einer Verkleinerung der Wärmecapazität herleiten, als Rumford mittels eigener solcher Bohrversuche nahezu 10 Liter Wasser, nach einer $2\frac{1}{2}$ Stunde dauernden Reibung, bis zum Sieden brachte — wie sehr hätte sich die Wärmecapazität des den Reibungsversuchen unterworfenen Metalles vermindern müssen, um dieses Heisswerden des Wassers zu erklären! Und doch hatte sich ja, wie bereits erwähnt worden, gezeigt, dass sich die Wärmecapazität der bei der Reibung beteiligten Stoffe nicht merkbar verringert! Woher entspringen also jene mächtigen Wärmemengen? Und wie kommt es, dass dieselben unaufhörlich auftreten, so lange man die Reibung fortsetzt? Kann denn der Wärmestoff in unerschöpflicher Menge in den Körpern angehäuft sein; oder sollte er gar durch die Reibung erst erschaffen werden? Ein Stoff sollte durch die Reibung, oder besser durch deren Ursache, das ist durch eine

bewegende Kraft entstehen? Das hiesse ja die nicht materielle Leistung der Kraft werde in Wärmestoff verwandelt! Ist dies denkbar? Und weil dies nicht denkbar ist, nahm Rumford an, die Wärme sei im Wesentlichen eine Bewegung der kleinsten Körpertheilchen oder der Körpermolecüle, welche durch die Reibung verstärkt worden ist, derart, dass die bei der Reibung sichtbare Bewegung des reibenden Körpers in die zwar unsichtbare, aber als erhöhter Wärmegrad sich kundgebende Bewegung der kleinsten Körpertheilchen, das ist der Körpermolecüle, umgewandelt worden sei. Da wird sogleich klar, dass, solange die Reibung, d. h. die sichtbare Bewegung des reibenden Körpers daure, so lange könne und müsse auch freie Wärme, das ist verstärkte Molecularbewegung, in den betreffenden Körpern auftreten.

Schon ein Jahr später (1799) stand Davy an der Seite Rumford's. Davy liess mittelst eines Uhrwerkes, unter einer nahezu luftleeren Glasglocke, zwei Eisstücke aneinander reiben — sie schmolzen an ihren Reibflächen. Da sie nur an letzteren schmolzen, die Temperatur der Glasglocke stets unter dem Gefrierpunkte erhalten wurde, und überhaupt ein Zufluss von Wärme zu den Eisstücken sorgfältig verhindert worden war; so konnte nur die bei der Reibung der Eisstücke erregte Wärme jenes Schmelzen bewirkt haben. Es war schon damals bekannt, dass die specifische Wärme des Wassers doppelt so gross

ist als jene des Eises; es konnte also hier eine Verminderung der Wärmecapazität durch die Reibung nicht angenommen werden; es trat ja im Gegentheil eine Verdopplung derselben ein. Ueberdies wusste man aus anderen calorimetrischen Studien, zu welchen ebenfalls Black den Grund gelegt hatte (1760—1765), dass zum Schmelzen von einem Kilogramm Eis grössere Wärmemengen (79 Wärme-Einheiten) erforderlich sind; es ergab sich daher die Frage: Woher entsprangen die zum Schmelzen jener Eisreibflächen nothwendigen Wärmemengen? Ein Wärmestoff konnte bei diesem trefflichen Versuch weder von aussen noch von innen kommen — und doch trat Wärme auf! Dieselbe konnte nur von einer Umwandlung der zur Reibung verwendeten äusseren, sichtbaren Massenbewegung in unsichtbare, innere, moleculare Bewegung herrühren. Nach diesen Versuchen Davy's konnte man an das Vorhandensein eines eigenen Wärmestoffes nicht mehr denken.

Jetzt lag es nahe, darnach zu suchen, ob nicht zwischen dem Uebergehen der sichtbaren Bewegung der ganzen, reibenden Masse in jene unsichtbare Bewegung der kleinsten Körperchen, d. i. in ihre Umgestaltung zur Wärme, eine feste berechenbare Beziehung bestehe? Schon Rumford hat den Versuch einer solchen Schätzung des mechanischen Werthes der Temperatur-Erhöhung einer bestimmten Körpermasse für je einen Thermometergrad gemacht. Allein da zu seiner Zeit der wissenschaftliche Begriff

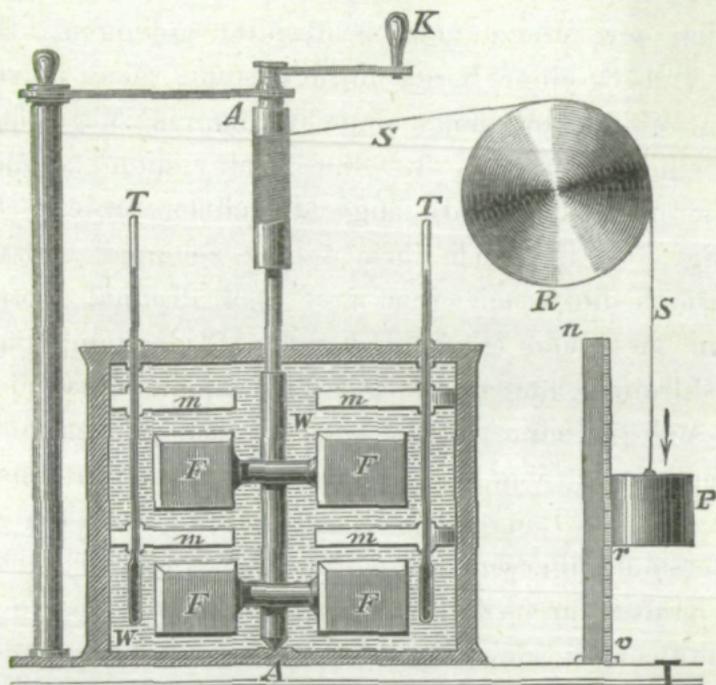
der „Arbeit“ noch nicht in der Mechanik aufgestellt war, so konnte die genau bestimmte Antwort erst später erfolgen, sie kam fast gleichzeitig von Dr. Julius Robert Mayer (Mai 1842—1851) und James Prescott Joule (August 1843—1849). Jener war ausübender Arzt in Heilbronn, dieser ein mit der praktischen Mechanik wohl vertrauter Physiker in Manchester. Mayer erfasste diesen Gegenstand vorherrschend theoretisch und belegte seine genialen Schlüsse durch Versuche. Joule schlug den entgegengesetzten Weg ein. Beide gelangten in epochemachender Weise glücklich an das grosse Ziel; der Erste mächtiger in gedankenreichen Folgerungen, der Andere stärker auf experimentellem Gebiet und demgemäss auch genauer bei der endlichen Feststellung des ziffermässigen Ergebnisses. Wir werden uns bezüglich der experimentalen Seite dieses Gegenstandes an Joule anschliessen, wohl wissend, dass die Ehre der Urheberschaft in dieser hochwichtigen Angelegenheit fast allgemein dem nunmehr verklärten Dr. Mayer zugesprochen wird. Wir sagen „fast allgemein“, weil besonders in jüngerer Zeit die Priorität Mayer's in dieser grossen Sache von mehreren Seiten, namentlich von einigen englischen Physikern, angefochten worden ist. Man machte aufmerksam, dass Mohr in seinen „Ansichten über die Natur der Wärme“ (1837) schon um fünf Jahre früher als Mayer so weit wie der Letztere gekommen wäre, dass ferner Seguin (1839), Faraday (1839) und Liebig (1841)

früher als Mayer der Theorie über die Umsetzung von Wärme in mechanische Kraft sich genähert hätten. Es wurde besonders auf die im Jahre 1843 in dänischer Sprache erschienenen „Thesen über die Kraft“ von Colding hingewiesen, in welchen dieser, vorläufig nur auf philosophischem Wege, die Unvergänglichkeit der Naturkräfte und ihre gleichwerthige Umformung in je andere Kräfte ausspreche, und dass er schon, wenigstens nach seiner Aussage, vier Jahre vorher auf diese Gedanken, auf Grund von D'Alembert's Satz „der wirksamen und verlorenen Kräfte“, gerathen wäre. Endlich wurde noch Joule gegen Mayer in das Feld geführt. Das Verhältniss der Arbeiten der beiden Letzteren haben wir oben skizzirt. Wie auch dieser Prioritätsstreit später enden möge, sicher ist, dass in dieser Beziehung nur Mayer und Joule durchgegriffen haben und dass fast allgemein Mayer als der erste Entdecker der berechenbaren Umwandlung von mechanischer Arbeit in Wärme gefeiert wird. In der That hat — nach dem bisher vorliegenden historischen Materiale — Niemand vor ihm diese grosse Wahrheit so deutlich und klar erkannt und ausgesprochen wie er, und hat auch Niemand vor ihm die weittragendsten Folgerungen und Anwendungen gemacht, wie er es gethan hat.

Wir haben uns bereits oben in begründeter Weise für die Besprechung der Joule'schen, hieher gehörenden Experimente und der daraus zu ziehenden Schlüsse entschieden. Die Knappheit der uns

zugemessenen Zeit zwingt hiebei zur Oekonomie, so dass wir uns nur auf das Allernothwendigste in dieser Richtung beschränken. Vor Allem müssen wir jedoch feststellen, was man (nach Poncelet und Coriolis) wissenschaftlich „Arbeit“ nennt, wie man dieselbe misst und berechnet. Welche Arbeit einer beliebigen Kraft wir auch einer Analyse unterwerfen, stets werden wir zuletzt zu dem Resultat gelangen, dass die Arbeit einer Kraft darin besteht, dass letztere einen Widerstand längs einer bestimmten Wegeslänge überwindet. Hat z. B. eine Kraft einen zehnmal grösseren Widerstand längs derselben Strecke bewältigt, so ist auch ihre Arbeit zehnmal grösser ebenso ist die Arbeit einer Kraft z. B. dreimal grösser, wenn sie einen gleichbleibenden Widerstand längs eines dreimal längeren Weges überwindet. Die Grösse der Arbeit einer Kraft wächst also in demselben Verhältnisse, wie der zu überwindende Widerstand und wie die Länge des Weges, durch welchen der Widerstand überwunden worden ist. Soll die Arbeit der Kräfte durch Zahlen ausgedrückt werden, so ist es nothwendig, eine Einheit der Arbeit aufzustellen. Jene Arbeit, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm 1 Meter hoch zu heben, heisst Kilogrammo-Meter oder Meter-Kilogramm (Kgm.) und wird als Einheit der Arbeit angenommen. Ist nun ein Widerstand von 10 Kilogramm auf 1 Meter zu überwinden, so ist die Arbeit 10 Kilogrammo-Meter; soll aber dieser Widerstand längs 3 Meter

überwunden werden, so ist die Arbeit dreimal 10 Kilogrammo-Meter, das sind 30 Kgm. Wir sehen also, dass die Grösse irgend einer Arbeit berechnet wird, wenn man den in Metern gegebenen Weg mit der in Kilogrammen ausgedrückten Kraft multiplicirt.



Jetzt endlich können wir den leichtfasslichsten der Joule'schen Versuche in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen. Joule liess ein mit lothrechter Umdrehungsachse AA versehenes Rad FF (siehe Figur), dessen Messingschaufeln FF innerhalb einer abgewogenen Wassermenge W mit ihrer Ebene F

aufrecht standen, mittels eines an einer Schnur SS herabsinkenden Gewichtes P in Rotation versetzen, wobei feste messingene Rahmen mm das Herumspülen der Flüssigkeit W hinderten. Die Reibung des Wassers W an den Flächen F der Radschaufeln, an den Rahmen mm und an seinen eigenen Theilen, bewirkte in der Flüssigkeit eine Temperatur-Erhö-
hung, welche mittelst vorzüglicher und sehr empfindlicher Thermometer TT gemessen wurde. Die Multiplication der Grösse des herabgesunkenen Gewichtes P mit seinem durchlaufenen Wege nr lieferte das Mass der zu dieser Reibung verwendeten mechanischen Arbeit; wenn nun noch die Reibung aller beweglichen, ausserhalb des Wasserbehälters liegenden Stücke der ganzen Vorrichtung und sonstigen Verluste ziffermässig berücksichtigt wurde, so konnte Joule berechnen, wie viele Arbeits-Einheiten bei der Reibung verwendet werden müssen, um eine Wärme-Einheit zu erzeugen.

Joule änderte dann diesen Versuch in der mannigfachsten Weise ab, indem er die Reibung in anderen Flüssigkeiten und unter anderen Umständen vollbringen liess; er änderte bald die Grösse der fallenden Gewichte, dann wieder ihre Fallhöhe ab; es ergab sich dabei, dass bei der Reibung für die Erzeugung einer Wärme-Einheit immer dieselben Arbeitsmengen, und zwar im Mittel 425 Kilo-grammo-Meter, verbraucht werden. Diese wichtige Zahl heisst das Arbeits-Aequivalent der Wärme-

Einheit oder das mechanische Wärme-Aequivalent.

Wenn einer Wärme-Einheit 425 Kilogrammo-Meter Arbeitswerth entsprechen, so beträgt für 1 Kilogrammo-Meter; d. i. für die Arbeits-Einheit, der gleichgeltende Werth der erzeugten Wärme $\frac{1}{425}$ der Wärme-Einheit. Dieser numerische Ausdruck von $\frac{1}{425}$ der Wärme-Einheiten, welcher der Arbeits-Einheit äquivalent ist, heisst das Wärme-Aequivalent der Arbeits-Einheit.

Joule hat ferner das mechanische Wärme-Aequivalent für die bei der Zusammenpressung der Luft auftretende Wärme bestimmt. Hirn that das Gleiche für die beim Zusammenstosse von Körpern erzeugte Wärme; noch andere Forscher haben später das Wärme-Aequivalent anderer Wärmequellen ermittelt. Die Ergebnisse aller dieser Versuche stimmen genügend überein, so dass wir den obigen Werth des mechanischen Wärme-Aequivalentes als gesichert annehmen können.

Wir wissen nunmehr, dass die Wärme ein Bewegungszustand der kleinsten Körpertheilchen ist. Die Lehre, welche die Wärme als Bewegungszustand der kleinsten Körpertheilchen auffasst und auf Grund dieser Auffassung die ganze Wärmelehre mathematisch ableitet, heisst die mechanische Wärmetheorie (Thermodynamik, Thermomechanik). Ueber das „Wie“ jenes Bewegungszustandes der kleinsten Körpertheilchen, welcher Wärme heisst, sind verschiedene Ansich-

ten möglich. In der That sind auch bisher in dieser Richtung vielerlei Meinungen laut geworden; für die mathematische Grundlage und Behandlung der mechanischen Wärmetheorie genügt jedoch die erwiesene Wahrheit, dass die Wärme ein Bewegungszustand ist; nur zur Erklärung und Berechnung des Verhaltens der Gase bezüglich der Wärme, ferner um die Auffassung und das Begreifen der entsprechenden mathematischen Folgerungen in der mechanischen Wärmelehre oder Thermodynamik überhaupt zu erleichtern, haben es die Meister in dieser Wissenschaft versucht, gewisse Voraussetzungen bezüglich des inneren Baues der Stoffe, sowie über die Art der Bewegung ihrer kleinsten Theilchen zu machen.

Wenden wir uns zunächst zu der Vorstellung über den inneren Bau der Materie. Schon Leucipp (510 v. Chr.) und nach ihm Demokrit (470 v. Chr.) dachten sich die Materie aus untheilbaren, kleinsten Theilchen zusammengesetzt, welche sie Atome (Untheilbares) nannten. Ihre Atomistik gewann erst zur Zeit, als man die Physik der mathematischen Behandlung zu unterwerfen begann, eine weitere Ausbildung, indem die materiellen Punkte oder die Atome sich der mathematischen Behandlung leicht anbequemten. In die neuere Naturwissenschaft führte Dalton (1803) seine Atomistik ein, welche seitdem den verschiedenen Anschauungen über die Constitution der Materie gehorchen, und daher mannigfache Modificationen annehmen musste. Auf Grund gewisser

physikalischer und chemischer Grunderscheinungen nimmt man jetzt allgemein an, dass die Materie aus unveränderlichen, kleinsten Theilchen, d. i. aus Stoff-Atomen bestehe, welch' letztere durch Abstände auseinander gehalten werden, die, im Vergleich zu ihrer eigenen Grösse, sehr bedeutend sind. So vielerlei chemisch einfache Stoffe es gibt, so viele verschiedene Arten von Atomen müssen wir auch annehmen. Eine Gruppe gleich- oder verschiedenartiger Atome, welche durch die chemische Anziehungskraft (Affinität) nach gewissen Gesetzen verbunden gedacht werden, geben ein Molecül. Die Molecüle sind chemisch zerlegbar, mechanisch jedoch untheilbar. Die Atome sind also die Bestandtheile der Molecüle; ein Atom ist weder mechanisch noch chemisch weiter zerlegbar. Gewisse Erscheinungen lassen schliessen, dass ein Atom nicht einzeln frei bestehen kann, so dass selbst bei den chemischen Elementen in der Regel je zwei Atome zu einem Molecül verbunden seien. Die chemischen Prozesse erstrecken sich auf eine Trennung der Atome der von ihnen gebildeten Molecüle und auf ein Zusammentreten materiell verschiedener Atome zu den Molecülen eines zusammengesetzten Stoffes. Bei der chemischen Scheidung entzieht meistens die stärkere chemische Anziehungskraft (Wahlverwandtschaft) eines Stoffes den Molecülen des anderen Stoffes die chemisch affinitäten Atome, wodurch die Molecüle der beteiligten Körper zerfallen. Unter

den geeigneten Umständen verbinden sich dann die ausgeschiedenen materiell verschiedenen Atome, vermöge ihrer chemischen Anziehung (Affinität) gegen einander, zu den Molecülen eines neuen, chemisch zusammengesetzten Körpers.

Während zwischen den Atomen der Molecüle die chemische Anziehungskraft herrscht, wirken zwischen den Molecülen die physikalischen Anziehungskräfte (Cohäsion, Adhäsion), und zwischen den aus den Molecülen bestehenden Körpern und der Erde, sowie zwischen den Himmelskörpern, jene Anziehungskraft, welche man Schwerkraft oder Gravitation nennt.

Die Materie besteht also aus den mechanisch untheilbaren Molecülen, letztere lassen sich nur chemisch in ihre Atome zerlegen. Innerhalb der verhältnissmässig sehr weiten Räume zwischen den Atomen und zwischen den Molecülen stellen wir uns einen ausserordentlich feinen und höchst elastischen Stoff ausgebreitet vor, welcher Aether heisst, und welcher die Atome, sowie die Molecüle, atmosphärenartig umgibt. Dieser Aether wirkt sowohl auf die Körper-Atome als Körpermolecüle anziehend, hingegen auf seine eigenen, einzelnen Theilchen abstossend, derart, dass die Dichte der Aetherhüllen, welche um je ein Atom und um je eine Atomengruppe, d. i. um je ein Molecül gespannt sind, von aussen nach innen wächst. Man nimmt ferner an, dass dieser Aether nicht nur in den Zwischenräumen oder Poren der

Körper, sondern auch im ganzen Universum überall verbreitet ist. Aus den senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erfolgenden Schwingungen der kleinsten Theilchen dieses Aethers leitet man die Entstehung und Verbreitung der Wärme- und Lichtwellen, folglich auch der Wärme- und Lichtstrahlen, ab; und es ist auf Grund ausgezeichneter Versuche und stichhältiger Schlüsse erwiesen, dass die Wärme- und Lichtstrahlen ihrem innersten Wesen nach gleich (identisch), und dass sie nur durch die Schwingungszahl und Wirkungsweise von einander verschieden sind.

Wir wollen nun zusehen, wie man z. B. die Durchlässigkeit gewisser Materien für die Wärmestrahlen, und wie man andererseits die Temperatursteigerung anderer Materien, in Folge der Absorption von Wärmestrahlen, aus der Hypothese eines schwingenden Aethers und schwingender kleinster Körpertheilchen erklärt.

Treffen Wärmestrahlen einen Körper, so dringt ein Theil derselben in den Stoff ein und überträgt die Bewegung der schwingenden Aethertheilchen der Wärmewellen entweder vorherrschend auf die Atome des im Körper befindlichen Aethers oder vorzugsweise auf die kleinsten Theilchen der Körpermaterie. Im ersten Falle lässt der Körper, z. B. Steinsalz, den grössten Theil der Wärmestrahlen als solche durch und die Temperatur des Körpers selbst erhöht sich kaum merklich; im zweiten Falle lässt der Körper die Wärmestrahlen fast gar nicht durch,

sondern seine Temperatur steigt auffallend; man sagt dann, der Körper hat die Wärmestrahlen absorbiert. Man stellt sich vor, dass bei dieser Absorption der Wärmestrahlen die schwingenden Aethertheilchen der Wärmewellen, also auch ihrer Strahlen, an die kleinsten Körpertheilchen stossen und dieselben, durch Abtretung ihrer eigenen Bewegung, in schwingende Bewegung um ihre Gleichgewichtslage versetzen oder die schon vorhandenen Vibrationen der kleinsten Körpertheilchen verstärken.

Wenn umgekehrt die schwingenden kleinsten materiellen Theilchen eines Körpers einen Theil ihrer Bewegung an den Aether, welcher den Körper umgibt, abtreten, so sagt man, jener Körper strahle Wärme aus. Und da sich, mit Hilfe des Ausstrahlungs- und Absorptionsgesetzes bezüglich der strahlenden Wärme, die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung auf eine schichtenweise Strahlung und Absorption der Wärme zurückführen lässt, so fusst zuletzt auch die Temperatur-Erhöhung der Körper mittelst Leitung auf einer gesteigerten Bewegung der kleinsten Theilchen der höher temperirten Körper.

Um von jetzt an genauer über jene Molecular-Bewegung sprechen zu können, welche man Wärme nennt, wollen wir aus der mathematischen Mechanik folgenden wichtigen Satz entlehnen: Wenn Körper oder deren Theilchen in Bewegung sind, so heisst das halbe Product aus der bewegten Masse

in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit die kinetische (dynamische, actuelle) Energie oder die halbe lebendige Kraft. Der von Leibnitz (1686) zuerst aufgestellte Ausdruck „lebendige Kraft“ wurde früher in der Mechanik und Physik allgemein gebraucht, während er jetzt immer mehr durch die Bezeichnung „kinetische Energie“ ersetzt wird. Das Wort „Energie“ wurde von Thomas Young in die Physik eingeführt (1807); aber erst in jüngerer Zeit stellte Rankine den Begriff dieses Wortes im obigen Sinne fest. Man versteht jetzt unter Energie die Fähigkeit, eine Arbeit leisten oder einen Widerstand überwinden zu können; die kinetische Energie ist mathematisch der halben lebendigen Kraft gleich. Die theoretische Mechanik führt den mathematischen Beweis, dass bei einem durch eine Kraft bewegten Körper die geleistete Arbeit gleich ist dem Zuwachs, welchen die kinetische Energie des Körpers während der Wirkung der Kraft erfährt.

Wenden wir zunächst diesen Satz von der kinetischen Energie auf die Wärme als Molecular-Bewegung an. Man stellt sich vor, dass, je grösser die kinetische Energie durch die gesteigerte Geschwindigkeit der schwingenden Körpertheilchen wird, desto höher zeigt sich auch die Temperatur des Körpers. Bei dem Auftreten von Wärme mittelst Reibung wird die kinetische Energie der sichtbaren Bewegung der geriebenen Körper umge-

wandelt in jene unsichtbare kinetische Energie der Molecularbewegung, welche sich als mächtige Temperatur-Erhöhung der reibenden Körper kundgibt. Bei der Temperatur-Erhöhung der Körper durch die Absorption der Wärmestrahlen wird die kinetische Energie der schwingenden Aether-Atome umgewandelt in die kinetische Energie der schwingenden kleinsten Theile; bei der Wärme-Ausstrahlung der Körper erfolgte der umgekehrte Austausch kinetischer Energien.

Ein Körper, dessen kleinste Theilchen vollkommen ruhen möchten, würde den absoluten Nullpunkt der Temperatur zeigen. Man hat berechnet, dass der absolute Nullpunkt, wenn es einen solchen in der Natur gäbe, 273° unterhalb des Nullpunktes unserer Thermometer liegen müsste. Obwohl der absolute Nullpunkt der Temperatur in Wirklichkeit nicht existirt, ist er für die theoretischen Betrachtungen in der Wärmelehre von Werth. Die in der theoretischen Wärmelehre vom absoluten Nullpunkte gezählten Wärmegrade geben die absolute Temperatur. Kein Gas ist so vollkommen, dass es seine luftförmige Form bis nahe zum absoluten Nullpunkte behalten könnte, sondern selbst die beständigsten Gase würden endlich die feste Gestalt annehmen, bevor man noch an die Erkaltung von 273° C. unter dem Nullpunkte unserer Thermometer käme, abgesehen davon, dass jeder noch so tiefe Kältegrad, der bisher in der Natur beobachtet oder

künstlich erzeugt werden konnte, noch sehr hoch über dem absoluten Nullpunkt der Temperatur liegt.

Da in Wirklichkeit kein absoluter Nullpunkt der Temperatur vorkommt, so befinden sich die kleinsten Theilchen aller Körper des Weltalls, sowie des Weltäthers, stets in jener eigenthümlichen Bewegung, welche Wärme heisst. Bei festen Körpern schwingen die Molecüle um bestimmte Gleichgewichtslagen. Erwärmt man einen festen Körper, so gestalten sich die Schwingungen seiner Molecüle schneller und von grösserer Weite, wodurch die Temperatur und der Rauminhalt des Körpers gesteigert werden. Die Kraft der Wärme wirkt der Kraft des Zusammenhanges, d. i. der Cohäsionskraft, entgegen. Bei fortgesetzter Erwärmung kann endlich die Cohäsionskraft so sehr geschwächt werden, dass die Molecüle nicht mehr frei um einen festen Punkt schwingen, sondern auch durcheinanderrollen; man sagt dann, der feste Körper ist tropfbar flüssig geworden, oder er ist geschmolzen.

Bei noch weiterer Erwärmung einer Flüssigkeit kann die Cohäsion so überwunden werden, dass die Molecüle mit fortschreitender Bewegung von- und auseinanderstieben. Vom Einflusse der Cohäsion befreit, bildet sich der dampf- oder gasförmige Zustand der Stoffe. Die Gasmolecüle bewegen sich dann stets unabhängig von einander nach allen Seiten geradlinig fort, bis sie entweder an andere Gasmolecüle oder an eine Wand stossen und

von dieser wie elastische Kugeln zurückgeworfen werden. Der Druck eines Gases auf die dasselbe umgebenden Wände wird durch die grosse Anzahl von Stössen der anprallenden Molecüle bewirkt. Diese Theorie der Gase stammt ursprünglich von Daniel Bernoulli (1738); sie wurde erst in neuerer Zeit von Krönig, Clausius und Joule mit grossem Erfolg in die mechanische Wärmetheorie aufgenommen.

Nach dem Vorstehenden muss der Druck eines Gases, wenn es — unter Voraussetzung einer gleichbleibenden Temperatur — zusammengedrückt wird, der zusammendrückenden Kraft, mithin der entsprechenden Verkleinerung des Volums derselben Gasmenge, proportional zunehmen, indem einleuchtet, dass die Stösse der Gasmolecüle gegen die Wände in demselben Verhältnisse in der Zeiteinheit zahlreicher werden, je enger der Raum wird, in welchem dieselbe Anzahl der Gasmolecüle ihre Bewegungen vollbringt (Boyle's Gesetz 1660 oder Mariotte's Gesetz 1683).

Es lässt sich nun leicht beurtheilen, was in einem Körper vorgeht, wenn demselben von aussen Wärme zugeführt wird. Zunächst wird dadurch die Geschwindigkeit der bereits schwingenden Molecüle vermehrt, mithin die kinetische Energie der letzteren gesteigert, was sich als Temperatur-Erhöhung des Körpers kundgibt; wir wollen die hiezu verwendete Arbeit, in Arbeits-Einheiten gemessen, (nach Zeuner)

die Schwingungsarbeit nennen. Es findet überdies noch eine innere Arbeit statt. Diese bewirkt eine Veränderung, in der Regel eine Erweiterung der Mittellagen, d. i. der mittleren Abstände der schwingenden kleinsten Körpertheilchen, wodurch sich bei der Ausdehnung der Körper durch die Wärme die kleinsten Körpertheilchen weiter von einander entfernen, oder es werden sogar — und zwar beim Schmelzen, Sieden und Verdunsten der Körper — die Molecüle umgelagert. Mit der Ausdehnung oder mit der Aggregationsänderung der Körper durch die Wärme ist endlich noch im Allgemeinen eine äussere Arbeit verbunden, indem dabei in der Regel der Druck der Atmosphäre, oder sonst ein von aussen gegen die Oberfläche des Körpers wirkender Druck, überwunden wird. Diese äussere Arbeit liefert in den calorischen Maschinen, sowie in den Dampfmaschinen, die nützliche Arbeit.

Die ganze, von einer gewissen Wärmemenge ausgeübte Arbeit ist also gleich der Summe, welche man aus der Addition der Schwingungs-Arbeit, der äusseren und inneren Arbeit erhält. Und indem man nur eine unendlich kleine Zustandsänderung des Körpers durch eine Zu- oder Abnahme einer unendlich kleinen Wärmemenge, mithin ihre Veränderlichkeit annimmt, glückt es, jene Grössen der höheren Rechnung zu unterwerfen und die gewichtigen, theoretisch und technisch folgen-

reichen Wahrheiten der mechanischen Wärme-Theorie daraus abzuleiten; wir nennen in letzterer Beziehung hier nur die Werke von Clausius, Zeuner und Hirn.

Nach der mechanischen Wärmetheorie wird das wahre Wesen der specifischen Wärme leicht verständlich. Bei der specifischen Wärme nimmt die Veränderliche bezüglich der Schwingungsarbeit (Temperatur) für die Zuführung einer bestimmten Wärmemenge kleinere Werthe an, wenn die specifische Wärme des Körpers grösser ist, d. h. wenn der Körper für die Veränderlichen, bezüglich der inneren und äusseren Arbeit, mehr Wärme verbraucht. Beim Schmelzen, Sieden und Verdampfen wird, unter gleichbleibendem äusseren Druck, die weitere Veränderung der Schwingungsarbeit Null, d. h. man erhält dann keine Steigerung der thermometrischen Anzeige, weil alle zugeleitete Arbeit zur Zertheilung, Auflösung oder Disgregation des Stoffes verwendet wird.

Ueber den letzteren Punkt müssen wir uns, um gut verstanden zu werden, etwas eingehender aussprechen. Wenn man ein Quecksilber-Thermometer in schmelzendes Eis oder in schmelzenden Schnee stellt, so gewinnt das Quecksilber des Thermometers bald den Nullpunkt, bei welchem es unverändert (constant) stehen bleibt, bis alles Eis durch Erwärmung geschmolzen ist; in ähnlicher Weise verhält es sich bei anderen schmelzenden Körpern.

Die Schmelztemperatur eines jeden Körpers bleibt, so lange er schmilzt, constant.

In ähnlicher Weise verhält es sich beim Sieden der Flüssigkeiten. Die Temperatur, bei der das Sieden einer Flüssigkeit eintritt und fortdauert, heisst ihre Siedetemperatur oder ihr Siedepunkt. Letztere ist, je nach der materiellen Beschaffenheit der Flüssigkeit, ein eigenthümlicher und wird auf einen bestimmten Luftdruck bezogen. So lange eine Flüssigkeit, bei ungeändertem Drucke, siedet, bleibt ihr Siedepunkt constant; man mag nun das Feuer noch so sehr verstärken, so bewirkt man nur ein rascheres Verdampfen der Flüssigkeit, aber keine Steigerung ihrer Temperatur über den Siedepunkt. Was geschieht nun mit der grossen Wärmemenge, welche den schmelzenden und siedenden Substanzen zugeführt wird? Auf diese Frage werden wir mit einem historischen Ausfluge antworten; wir werden dadurch zur Lösung des vorliegenden Räthsels geführt werden.

Schon vor drei halben Jahrhunderten kannten Réaumur und Celsius die Constanz des Schmelz- und Siedepunktes bezüglich des Eises und Wassers. Allein so höchst aufdringlich diese Erscheinungen auch auftraten, so wurden sie dennoch von den Verfertigern der Thermometer nur für ihren Zweck als sehr erwünscht benützt, sonst aber nicht weiter beachtet. Erst Black, den wir bereits als Entdecker der specifischen Wärme gefeiert haben (S. 10), erfasste

die Wichtigkeit dieses Naturräthsels und versuchte dessen Lösung (1759—64). Er war es, der folgenden, heute allgemein bekannten Satz aufstellte und vielseitig experimentell begründete: So oft und so lange irgend eine Materie schmilzt oder siedet (verdampft) ebenso oft und so lange verschwindet alle derselben zugeführte Wärme; denn die letztere wirkt dann nicht mehr auf die Thermometer, welche in jene schmelzenden oder siedenden (verdampfenden) Stoffe eingesenkt worden sind. Sobald jedoch die Dämpfe irgend einer Substanz wieder tropfbar flüssig oder sobald eine tropfbare Flüssigkeit erstarrt, kommt, wie Black nachgewiesen hat, die beim Sieden oder Schmelzen dieser Stoffe scheinbar verschwundene Wärme wieder zum Vorschein; sie wirkt dann wieder auf die Thermometer, welche in die aus dem Dampfe tropfbar flüssig werdenden, oder in die erstarrenden Substanzen eingetaucht sind. Diese zurückkehrende Wärme beträgt, nach Black, an Menge gerade so viel, als jene Wärmemenge ausgemacht hat, welche beim Schmelzen oder Sieden scheinbar verloren gegangen war. Was wird aus dieser beim Schmelzen oder Sieden eines Stoffes sich verbergenden Wärme bis zu jener Zeit, wo sie wieder — durch Umkehrung des Processes — hervortritt?

Wir wissen (S. 161), dass Black einen gewichtlosen, höchst elastischen Wärmestoff annahm, der in die Materie eindringe und sie warm mache. Zum Schmelzen und Sieden (Verdampfen) bedürfen nun,

nach Black, die Stoffe selbstverständlich viel mehr des mit seiner Spannkraft die Körpertheilchen auseinander treibenden Wärmestoffes, welcher sich, vermöge einer zwischen den wägbaren Substanzen und dem Wärmestoff waltenden Anziehungskraft, mit den Theilchen der wägbaren Materie verbinde. Black nannte daher die zum Schmelzen und Sieden (Verdampfen) verbrauchte Wärme „gebundene“ oder „latente“ Wärme. Bei Umkehrung des Processes wurde dann die vordem „gebundene“ oder „latente“ Wärmemenge wieder „ungebunden“ oder „frei“; letztere konnte wieder auf die Empfindung, sowie auch auf das Thermometer, wirken.

Die Auffindung der latenten (und bei dieser Gelegenheit auch der specifischen) Wärme durch Black ist bewunderungswürdig, weil dadurch etwas sich Verbergendes mit Scharfsinn und Geist an das Tageslicht gezogen und eigentlich die Unzerstörbarkeit der Wärme bewiesen, mithin der modernen Wärmetheorie mächtig vorgearbeitet wurde. Wir wissen bereits, dass Black's Theorie von der materiellen Natur der Wärme nicht richtig war; schon zu seiner Zeit wusste seine Hypothese nur von dem Verbergen und Wiedererscheinen eines Wärmestoffes zu sprechen; über die Ursache dieses Verbergens und Wiederauftretens der Wärme wusste sie keinen Aufschluss zu geben, und hier zeigt sich sogleich die mechanische Wärmetheorie in ihrem vollen Glanz. Wenn die specifischen und latenten Wärmemengen

nichts Anderes sind als die zur Lockerung der gegenseitig sich anziehenden Molecüle verwendeten Mengen von kinetischer Molecular-Energie (S. 180), dann ist klar, dass, so lange die erwärmten Körper nicht zu schmelzen oder nicht zu sieden d. i. im Inneren nicht zu verdampfen beginnen, nur ein Theil der zugeführten Wärmemengen zur Lockerung des Zusammenhanges der Molecüle hinreichen (specifische Wärme), und dass dabei auch eine wachsende Schwingungsarbeit, d. i. eine Temperatur-Erhöhung, stattfindet. Sobald aber durch das Schmelzen und Sieden (inneres Verdampfen) jede neu hinzukommende Wärmemenge ganz und ausschliesslich zur Trennung der Molecüle in Anspruch genommen wird, dann kann keine Zunahme an Schwingungsarbeit der Molecüle, d. i. keine Temperatursteigerung, eintreten (latente Wärme).

Werfen wir nun zum Schlusse einen Rückblick auf das in diesem Vortrage erworbene Gut, so gewahren wir, dass sich mit Sicherheit ergeben hat, dass die Wärme kein Stoff, sondern nur eine innere Bewegung der kleinsten Körpertheilchen ist. Die kleinsten Theilchen aller Körper des Weltalls, sowie auch des Weltäthers, befinden sich stets in jener eigenthümlichen Bewegung, welche Wärme heisst. Die mechanische Arbeit lässt sich in Wärme, nach einem bestimmten Aequivalent, umwandeln (S. 173). Wir werden nun in dem nächsten Vortrage nachweisen, dass sich auch umgekehrt die Wärme, unter gewissen Beschränkungen, zur

mechanischen Arbeit umformen lässt (thermodynamische Maschinen); wir werden ferner zeigen, dass sich jene kinetische Energie der kleinsten Körper- und Aethertheilchen, welche Wärme heisst, in anderen Energien, welche man Licht, Elektrizität, Magnetismus und Chemismus nennt, über- und wieder zurückführen lassen, derart, dass alle diese Energien nur als Umwandlungen (Transformationen) einer einzigen unzerstörbaren Energie erscheinen. Die Unzerstörbarkeit und Unerschaffbarkeit der Energie bildet das Fundament der neuen Grundanschauung der Physik; sie hat die letztere so gründlich und aufklärend umgestaltet, wie dies gegen Ende des vorigen Jahrhunderts in ähnlicher Weise in der Chemie, durch die Zugrundelegung des damals nachgewiesenen Satzes von der Unzerstörbarkeit und Unerschaffbarkeit der Materie, geschehen war. Diese beiden grossen Errungenschaften, nämlich die Sätze von der Erhaltung der Materie und von der Erhaltung der Energie, geben der neuen Naturlehre eine unerschütterliche Grundlage.

II.

Wir haben im letzten Vortrag erfahren, wie durch Umwandlung von mechanischer Arbeit in Wärme deren Aequivalenz nachgewiesen worden ist; wir haben nun zu zeigen, wie auch umgekehrt diese Aequi-

valenz durch Umsetzung von Wärme in Arbeit ermittelt worden ist. Eine Umsetzung von Wärme in Arbeit überhaupt sehen wir bei der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, ferner beim Schmelzen und Verdampfen der Materien, indem in diesen Fällen sowohl eine äussere als innere Arbeit geleistet wird (S. 184). Allein, dass bei der Transformation von Wärme in Arbeit eine letzterer proportionale Wärmemenge verbraucht wird, kann bei den durch Erwärmung sich ausdehnenden Körpern — weil keine Temperatur-Erniedrigung, sondern im Gegentheil eine Temperatur-Erhöhung dabei stattfindet — nicht direct und einfach nachgewiesen werden; wir müssen daher Fälle aufsuchen, bei welchen für die von einem Körper gelieferte Arbeit eine stets im Verhältniss gleichbleibende Menge der in ihm enthaltenen Wärme verwendet, mithin die letztere vermindert wird.

Dies ist z. B. bei folgendem Versuche Gay-Lussac's und später Joule's der Fall; dieselben liessen verdichtete Luft in einen luftleeren Raum strömen; es zeigte sich kein Wärmeverlust, weil keine Arbeit geleistet worden war. Dagegen trat ein Wärmeverlust auf, als die zusammengepresste Luft in einen lufteerfüllten Raum überging, weil jetzt der Druck der Luft zu überwinden, mithin eine Arbeit zu verrichten war. Aus der für diese gemessene Arbeit verschwundenen Wärmemenge hat Joule das Wärme-Aequivalent abgeleitet (1845).

In der Dampfmaschine ist der Wasserdampf der Träger der Wärme, welche also mittelbar Arbeit verrichtet. Soll das Gesetz vom mechanischen Wärme-Aequivalent aufrecht erhalten bleiben, dann muss sich beweisen lassen, dass die Wärmemenge, welche der Kessel mittelst des Dampfes geliefert hat, kleiner ist als jene Wärmemenge, welche, nach ge-
haner Arbeit, der Condensator erhält. Hirn in Colmar hat diesen schwer herzustellenden Beweis mittelst höchst sinnreicher Versuche an einer Dampfmaschine geliefert (1855) und Clausius hat aus diesen Versuchen das Wärme-Aequivalent berechnet (1855).

Wir haben soeben die Möglichkeit einer Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit kennen gelernt; es lässt sich ferner darthun, dass sich die Wärme auch noch in andere wirkliche oder mögliche (potentielle) Bewegungsformen, welche Licht, Elektrizität, Magnetismus oder Chemismus heissen, über- und wieder zurückführen lassen. So z. B. wird mittelst der Dampf-Elektrisirmaschinen und Thermosäulen die Wärme in Elektrizität umgesetzt. Mittelst der Wärme in einer Dampfmaschine lassen sich magneto-elektrische Maschinen in Rotation versetzen, welche mächtige elektrische Ströme liefern; letztere erzeugen dann wieder mechanische, chemische, magnetische, thermische und optische Wirkungen; die Elektrizität ist dann nicht mehr als solche thätig, sondern sie wird in mechanische, d. i. sichtbare Bewegung, in chemische und magnetische Kraft, sowie

in Wärme und Licht verwandelt. Auch der elektrische Strom eines galvanischen Elementes geht eigentlich, wie wir weiterhin zeigen werden, von der langsamen Verbrennung (Oxydation) des sich auflösenden Zinkes, mithin von der entsprechenden Verbrennungswärme aus, welche mittelst des Stromschliessers, in Form des elektrischen Stromes, alle oben genannten verschiedenen Wirkungen leistet. Derartige Wechselwirkungen, Umwandlungen und Transformationen der Naturkräfte findet man behandelt in Grove's „Wechselwirkung der Naturkräfte“.

Wie die vorstehenden Beispiele, welche sich beliebig vermehren liessen, zeigen, darf man aussprechen: Alle Naturkräfte hängen auf das innigste zusammen; je eine dieser Kräfte kann in die andere umgesetzt werden, keine aber lässt sich vernichten. Dieser Hauptgrundsatz der heutigen Naturforschung hat von experimentaler Seite seine Wurzel in dem von J. R. Mayer und P. Joule zuerst nachgewiesenen Wärme-Aequivalent; sein Inhalt wird jetzt allgemein mit „Erhaltung der Energie“ bezeichnet. Bis vor einigen Jahren drückte man diesen Satz allgemein durch „Erhaltung der Kraft“ aus; seitdem sich jedoch die Begriffe über Kraft, deren Arbeit und Energie geklärt haben (S. 180), zieht man in jüngster Zeit die erste Ausdrucksweise der letzteren allgemein vor. Der Satz von der „Erhaltung der Energie“ sagt aus, dass die im Weltall wirkende Summe aller Energien eine unveränderliche sei, so

sehr sich auch die Addenden dieser Summe im Verhältnisse gegen einander verändern mögen. Wird z. B. ein Stein lothrecht in die Höhe geworfen, so besitzt er, vermöge der ihm ertheilten Anfangsgeschwindigkeit, unmittelbar nach dem Wurf eine gewisse kinetische Energie, welche aber, sobald er die grösste Höhe erreicht hat, einen Augenblick vernichtet scheint; denn im Augenblick der Umkehr ist die Geschwindigkeit des Steines, also auch seine kinetische Energie, Null. Allein beim Ankommen an dem Orte, von dem aus er scheinbar aufwärts geschleudert worden ist, besitzt er, wie sich mathematisch leicht zeigen lässt, wieder die ihm anfänglich ertheilte Geschwindigkeit, also auch die ursprünglich kinetische Energie; wir fragen nun: War die Energie überhaupt zur Zeit der Umkehr wirklich einen Augenblick vernichtet?

Um hierauf zu antworten, nehmen wir an, dass jener Stein im Momente seiner Umkehr auf die Plattform eines Daches zu liegen gekommen wäre; seine kinetische Energie ist dann als Bewegung allerdings Null; die Energie ist jedoch nicht absolut vernichtet, sondern nur in eine andere Form von Energie umgewandelt. Dies wird uns einleuchten, wenn wir uns erinnern, dass ja, wenn später jener Stein wieder zu Boden fällt, zuletzt wieder die ursprüngliche kinetische Energie erreicht wird. So lange also jener Stein auf der Höhe liegen bleibt, ist jene scheinbar vernichtete Energie in einer

anderen Form für den künftigen Gebrauch aufbewahrt.

Nehmen wir ein zweites Beispiel. Wenn man bei einem Pfeilbogen die Feder spannt, so wird der letzteren mittelst der zum Spannen verwendeten Arbeit eine gewisse Energie eingeprägt, die später beim Losschiessen des Pfeiles, abgesehen von allen Verlusten durch die Bewegungshindernisse, wieder in der ganzen Grösse zurückerstattet wird. Ist, so lange jene Feder gespannt bleibt, jene aufgewendete Arbeit oder Energie verloren? Oder ist sie nur aufgespeichert? Es ist klar, dass letzteres der Fall ist.

Wenn wir jene Energie, mit der ein lothrecht aufwärts geworfener Körper seine Bewegung beginnt oder bei der Zurückkunft beendet, wie bisher „kinetische Energie“ (auch actuelle, dynamische Energie oder Bewegungs-Energie) heissen; wenn wir ferner die vorrätige oder aufbewahrte Energie eines gehobenen Gewichtes, einer gespannten Feder u. dgl. m. „potentielle Energie“ (auch Energie der Lage, statische oder ruhende Energie, Spannkraft) nennen: so sehen wir, dass beim Hinaufschleudern eines Steines, sowie beim Spannen einer Feder, die ursprüngliche kinetische Energie nach und nach in potentielle Energie umgewandelt wird, bis zuletzt die kinetische Energie Null, die potentielle Energie aber ein Grösstes geworden ist. Beim Zurückfallen des Steines, beim Losschnellen der Feder verhält es sich geradezu umgekehrt, d. h. die

potentielle Energie wird wieder nach und nach in kinetische Energie umgewandelt, bis schliesslich die letztere am grössten, die erstere dagegen zunichte geworden ist.

Beim Schwingen eines Pendels besitzt dasselbe im Augenblick, als es die Ruhelage mit der grössten Geschwindigkeit erreicht, nur kinetische Energie, in den höchsten Punkten seines Ausschlages hat es nur potentielle Energie; in allen Zwischenlagen aber ist die Summe seiner kinetischen und potentiellen Energie stets eine unveränderliche oder constante Grösse. In ähnlicher Weise bilden bei einem vertical aufwärts geworfenen oder herabfallenden Stein stets die kinetische und potentielle Energie in Summe eine constante Grösse.

Dies ist der wahre Sinn des Satzes von der „Erhaltung der Energie“. Angewendet auf die Gesamt-Energie des Universums lautet der Inhalt dieses Satzes: Die Summe der kinetischen und potentiellen Energie im Weltall bleibt stets constant, so sehr sich auch die Werthe der einzelnen Posten ändern mögen. Es ist folglich unmöglich, Energien, Arbeiten oder die sie bewirkenden Kräfte zu vernichten, es ist aber auch unmöglich, solche zu erschaffen. Das gegenseitige Spiel der Naturkräfte besteht also nur in einer Umwandlung, in einem Maskiren und Demaskiren derselben, ohne dass je die geringste ihrer Wirkungen, d. i. die mindeste Energie, die

kleinste Arbeit verloren gehen oder neu erschaffen werden könnte.

Nachdem wir den Sinn des hochwichtigen Satzes von der „Erhaltung der Energie“ erfasst haben, wollen wir seine Fruchtbarkeit an einigen Beispielen erproben. Wenn einem Steine beim Aufwärtsworfen eine kinetische Energie ertheilt worden ist, welche, im Umkehrpunkte durch die potentielle Energie gehend, an den Ausgangsort zurückkehrend, wieder die volle anfängliche kinetische Energie besitzt — verliert er diese nicht dennoch, wenn er am Boden plötzlich zur Ruhe kommt? Scheinbar ja! in Wirklichkeit aber nicht, denn die durch den Fall des Steines wieder erworbene kinetische Energie ist bei seinem Stoss an den Boden in Schwingungs-Energie, innere und äussere Arbeit der Molecüle des Steines, sie ist in Wärme und Ausdehnung durch die Wärme verwandelt worden, was eben durch Joule's Versuch (S. 172) nachgewiesen worden ist.

Das herabstürzende Wasser des Rheinfalles, der Sturzbäche u. s. w. bösst, am Fusse der Felsen zerschellend, in Wahrheit nichts an Bewegungs-Energie ein, sondern es tritt für den scheinbaren Verlust an äusserer Bewegung die innere Bewegung der Molecüle stärker als früher auf, d. h. es besitzt am Fusse der Höhe an Wärmemenge gerade um so viel mehr, als es an äusserer Bewegungs-Energie verloren hat. Die plötzliche Erwärmung der gehemmten Bewegungskörper wird dadurch verständlich.

Woher rührte aber die Bewegungs-Energie, welche jenem aufwärts geschleuderten Körper mitgetheilt worden ist? Haben wir selbst das Gewicht in die Höhe geworfen, so kam die Energie von unserer Muskelkraft, welche sie wieder von der Lebenskraft, d. i. einer Combination physikalischer und chemischer Kräfte, bezogen hatte; die letzteren waren wieder dem Grossen und Ganzen der in unveränderter Menge vorhandenen Energie der Natur entnommen; in ähnlicher Weise verhält es sich mit jeder beliebigen Kraft, welche jenen Stein aufwärts warf. Auch die herabstürzenden Massen der Wasserfälle mussten früher zur Höhe gebracht worden sein; es war dies durch die Energie der Wärme geschehen, welche das Wasser in Form von Dampf gehoben hat, während dasselbe später durch Abkühlung als Regen dorthin gelangte, von wo es endlich, nach mannigfachen Schicksalen, Wandlungen und Wanderungen herabstürzte. Diese Vorgänge sind ganz ähnlich jenen, welche die Materien bei den unzähligen physikalischen und chemischen Processen erleiden. So verschieden die letzteren auch sein mögen, niemals geht im Weltall auch nur ein Stoff-Atom verloren, sondern es kommt zuletzt nur auf die Aufführung neuer Gebäude mit alten Bausteinen zurück. Und hiebei arbeiten auch nur die alten Energien in neuen Formen mit!

Die Erhaltung der Energie hat ihr Analogon, ja ihr vorangehendes, nothwendiges und ergänzendes

Seitenstück in der Erhaltung der Materie. Da Stoff ohne Kraft und Kraft ohne Stoff nicht denkbar sind, so war eigentlich mit dem grossen Funde Lavoisier's (1772—86) von der Unzerstörbarkeit der Materie auch jene der Kraft schon gegeben; dennoch musste noch ein halbes Jahrhundert verfließen, bevor dies erkannt worden ist. Die Erhaltung der Energie, eine Errungenschaft unseres Jahrhunderts, und die Erhaltung der Materie, eine Errungenschaft des vorigen Jahrhunderts, bilden vereint das Grundgesetz und den Schwerpunkt der heutigen Naturwissenschaft.

Hier angelangt, dürfte es interessiren, in den Annalen der Wissenschaft nachzusehen, ob nicht schon in früheren Zeiten die Wahrheit von der Erhaltung der Materie und der Energie entdeckt worden, und ob diese Entdeckung etwa wieder verloren gegangen, oder in ihrer hohen Wichtigkeit und Tragweite nicht erfasst worden sei. Derartige historische Nachforschungen haben ergeben, dass in der That schon die alten griechischen Philosophen (Leucip 510 v. Chr., Demokrit 470 v. Chr., Aristoteles 350 v. Chr. u. m. A.) und, über zweitausend Jahre später, die Denker und Naturforscher wie Descartes, Newton, Huyghens, Bacon u. A. m. an unzerstörbare Atome der Materie, an ewige Ruhelosigkeit und Bewegung derselben dachten; dass jene zuweilen auch den Satz von der Unvergänglichkeit des Stoffes und der

Energie ahnten und letztere diesen Fundamentalabsatz hart streiften, dass aber erst das letzte Viertel des abgelaufenen Jahrhunderts den Satz von der Erhaltung der Materie, und erst unsere Zeit den Satz von der Unzerstörbarkeit der Energie, streng erfasst hat und mittelst der Induction zu beweisen bemüht war.

Gegen diese Beweise wurde eingewendet, dass die Constanz der Materie und Energie durch die Erfahrung in voller Strenge gar nicht nachweisbar sei, indem die betreffenden Messungen niemals ein ganz genaues Ergebniss bringen können; es sei uns vielmehr dieser Satz von vornherein unbewusst eingeprägt, und er konnte daher von den alten Philosophen ohne erfahrungsmässige Begründung errathen werden. Wir machen jedoch aufmerksam, dass die jene Sätze betreffenden Messungen jenen Grad der Genauigkeit besitzen, welche zur erfahrungsmässigen Feststellung eines naturwissenschaftlichen Gesetzes erforderlich ist, dass für die Naturwissenschaft nur derartig erwiesene Gesetze gelten können, und endlich, dass die Sätze von der Erhaltung der Materie und Energie niemals vor den oben bezeichneten Zeitpunkten mit Bestimmtheit und mathematischer Schärfe ausgesprochen worden sind. Jedenfalls fällt aber die wissenschaftliche, höchst fruchtbare Anwendung dieser beiden Grundgesetze erst in die letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts und in unsere Zeit. Erst nachdem die Erhaltung

der Materie von Lavoisier (1772—86), Wenzel (um dieselbe Zeit bis 1777) und Richter (1792) mit Hilfe der verfeinerten Präzisionswage erfahrungsgemäss nachgewiesen, und darauf basierend deutlich ausgesprochen worden war, gestaltete sich die Chemie, auf Grund der sich entwickelnden Stöchiometrie, nach Inhalt und Form wahrhaft wissenschaftlich.

Wenn einerseits der Satz von der Erhaltung der Materie erst die eigentliche Wissenschaft der Chemie schuf, so brachte andererseits der Satz von der Erhaltung der Energie volles Licht in die Physik, Chemie, Physiologie und überhaupt in die Philosophie der Naturforschung. Der letzte Anstoss zur Aufstellung des Satzes von der Erhaltung der Energie ging, wie wir gesehen haben, von der Wärmelehre aus. Die Prämissen zur Ableitung dieses Satzes waren jedoch schon in der Mechanik vorhanden, indem letztere schon frühzeitig wahrgenommen hatte, dass mittelst einer Maschine niemals an Kraft etwas gewonnen, sondern dass die Kräfte durch Maschinen nur eine bequemere und bessere Verwendung erhalten.

Das Alterthum wusste bereits, dass beim Hebel das grössere Gewicht sich gerade sovielmal langsamer bewege, als es an Masse das kleinere Gewicht übertrifft. Galilei bemerkte dann allgemeiner (1592), dass bei Hebung eines Gewichtes mittels einer einfachen Maschine immer an Weg also auch an Zeit, gerade so viel eingebüsst wird, als

man an Kraft gewinnt. Johann Bernouilli gestaltete (1717) diesen Satz in genialer Weise als „Princip der virtuellen Geschwindigkeiten“ zum obersten Grundsatz der Gleichgewichtslehre, aus dem die Lösung einer jeglichen statischen Frage fließt. D'Alembert brachte später (1743) dieses Princip in die allgemeinste analytische Form. Wir sehen also bei den einfachen und folglich auch bei allen zusammengesetzten Maschinen, weil sie aus den einfachen bestehen, dass an Kraft, also auch an Energie, absolut nichts gewonnen werden kann. Die Maschinen können keine Energie erschaffen, sondern die Kräfte, wie ein guter Kaufmann, nur besser verwerthen.

Da mittelst einer Maschine, die am ersten Motor ausgeübte Arbeit zuletzt höchstens ungeschmälert wieder zum Vorschein kommen könnte, und dies nur, wenn es keine Arbeitsverluste vermöge der Bewegungshindernisse, wie die Reibung und der Luftwiderstand, geben würde, so leuchtet ein, dass ein Perpetuum mobile unmöglich ist. Bei einem solchen soll nämlich der ein einzigesmal in Bewegung gesetzte erste Maschinentheil den zweiten, dieser den dritten u. s. w., und der letzte wieder den ersten unaufhörlich bewegen. Die Wirkung des ersten Theiles der Maschine gelangt jedoch durch die Bewegungshindernisse sehr vermindert zum letzten Theil, und von diesem nochmals verringert zum ersten Theil zurück u. s. w. — bald also muss die Maschine zur Ruhe kommen. Wenn demnach schon eine solche,

nur ihre eigene, immerwährende Bewegung besorgende Maschine unmöglich ist, wie sollte ein nur einmal angeregter, unaufhörlich bewegter Mechanismus gefunden werden, der überdies noch äussere Arbeiten, ohne Erneuerung der Kraft, verrichten könnte? Und das wollten ja die klugen Sucher des Perpetuum mobile! Eine nur sich selbst in unaufhörlicher Bewegung befindliche Maschine wäre ihnen zu wenig, es müsste eine umsonst und unaufhörlich arbeitende Vorrichtung sein, die man nur ein einzigesmal in Bewegung zu setzen hätte, worauf dann die Bewegung und Arbeit ohne Ende fort dauern müsste.

Da die theoretische Mechanik in vorstehender Weise erwiesen hatte, dass ein Perpetuum mobile unmöglich ist und auch die Erfahrung dies bestätigte, so leitete Helmholtz (1847) — der damals die einschlagenden Arbeiten (S. 170) von Mayer und Colding noch gar nicht kannte, und jene von Joule erst gegen Ende seiner Studien kennen lernte — hieraus den Satz von der „Erhaltung der Kraft“ (S. 193) ab, indem er die Frage stellte: „Wenn ein Perpetuum mobile unmöglich ist, welche Beziehungen müssen dann zwischen den Naturkräften bestehen?“ Helmholtz zeigte hierauf, wenn man die Annahme der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile mit dem von Newton (1686) aufgestellten Gesetze: „Bei jeder Wirkung einer Kraft ist stets eine gleiche und entgegengesetzt gerichtete Gegenwirkung vorhanden“, verbindet, so ergibt sich daraus der Satz von

der Erhaltung der Kraft. Colding hatte schon früher (1843) umgekehrt ausgesprochen, wenn der von ihm behauptete Satz von der Unvergänglichkeit und Transformation der Naturkräfte falsch wäre, so müsste ein Perpetuum mobile möglich sein. Newton's Satz von der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung einer Kraft ist so allgemein, dass er das früher erwähnte Bernouilli'sche Princip der virtuellen Geschwindigkeiten einschliesst; es lässt sich mithin folgern, dass Newton noch früher als Bernouilli, und von einem allgemeineren Standpunkte als dieser, der Entdeckung des Satzes von der Erhaltung der Energie nahe gekommen war.

Es hat sich gezeigt, dass im Laufe der Zeit die Bezeichnung „Erhaltung der Kraft“ durch jene „Erhaltung der Energie“ ersetzt worden ist; warum musste hierin das Wort „Kraft“ dem Ausdrucke „Energie“ weichen? Die Antwort ergibt sich, wenn wir den Begriff des Wortes „Kraft“ im Folgenden präzisiren und die Wirkung oder Wirkungsfähigkeit einer Kraft, d. i. ihre „Energie“, nicht verwechseln mit „Kraft“ selbst, welche als Ursache der Wirkung oder Wirkungsfähigkeit angesehen wird. Kraft heisst nämlich jede Ursache, welche das Beharrungsvermögen oder die Trägheit eines Körpers überwindet oder zu überwinden sucht, also jede Ursache, welche einen ruhenden Körper in Bewegung, oder einen bewegten Körper zur Ruhe, entweder wirklich bringt oder zu bringen

strebt. Jede Kraft, die auf einen Körper wirkt, geht von einem anderen Körper aus; die Kraft wirkt nie einseitig, sondern mit derselben Kraft, mit welcher der eine Körper auf den zweiten wirkt, wirkt umgekehrt der zweite auf den ersten zurück. Es ist dies das vorhin erwähnte Princip Newton's von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung; so z. B. ziehen sich ein Stein und die Erde gegenseitig mit gleicher Stärke an, beide fallen gegeneinander; der Stein als kleine Masse sichtbar, die Erde als mächtige, und daher nur um ein höchst Kleines bewegte Masse unsichtbar, d. h. es kommt die gegen den Stein gerichtete Bewegung der Erde, als eine unmessbar kleine Grösse, nicht zur Erscheinung. Ein auf dem Tische liegendes Gewicht drückt auf den Tisch, dieser dagegen erwidert den Druck mit gleicher Stärke nach aufwärts. Eine von der Hand zusammengedrückte Feder übt gegen die Hand einen gleich grossen Gegendruck aus u. s. w. Die Kräfte sind also nicht für sich bestehend, sondern sie sind an die Materie gebunden und geben sich nur durch ihre Wirkungen kund.

Da die Kräfte nie als solche, sondern stets nur in ihren Wirkungen wahrgenommen und gemessen werden können, so ist in neuerer Zeit wiederholt die Frage aufgetaucht, ob nicht das Wort „Kraft“ gänzlich aus der Naturwissenschaft zu verbannen wäre. Soweit hat sich bereits in dieser Beziehung eine Einigung allmählig vollzogen, dass man

die Wirkungen der Kräfte, welche sich entweder als Druck (Spannung) oder aber als Bewegung äussern, entsprechend als potentielle oder kinetische Energie bezeichnet; der letztere Ausdruck lässt sich auch mathematisch formuliren (Seite 180). Was man also früher Druck- oder Spannkraft nannte, heisst jetzt potentielle Energie, während man die ehemaligen Stosskräfte nunmehr zu den kinetischen Energien zählt. Das Wort „Kraft“ sollte also jetzt überall vermieden werden, wo man ihre Wirkung (Leistung, Arbeit, Wirkungsfähigkeit, Energie) meint; es kann jedoch, mit Beibehaltung des alten Sprachgebrauches, in allen jenen Fällen als kurzer Ausdruck gesetzt werden, wo man die Ursache einer Wirkung. — z. B. eines Druckes, einer Bewegung — bezeichnen will.

Wenn wir auf das bisher Vorgetragene zurückblicken, so finden wir, dass die ältere theoretische Mechanik dem Satze von der Erhaltung der Energie wohl sehr nahe gekommen war, dass dieser Satz jedoch erst durch die Auffindung des Wärme-Aequivalentes und der Transformation der Energie die volle Präcision, sowie eine hochwichtige, allgemeine Bedeutung und eine universelle Anwendung gewann. Nunmehr hat die analytische Mechanik diesen Satz auch allgemein giltig auf mathematischem Wege abgeleitet.

Durch die Auffindung des Wärme-Aequivalentes war die Wärmelehre gezwungen, die Hypothese von einem Wärmestoff, welchen die wärmeren nach den

kälteren Körpern hinstrahlen, und welcher dann von den letzteren zur Temperaturerhöhung aufgenommen werde, fallen zu lassen und sich der Hypothese zuzuwenden, nach welcher die strahlende Wärme in schwingenden Aethertheilchen und die absorbirte Wärme in den Schwingungen der kleinsten Körpertheilchen ihre Ursache hätten (Seite 178). Die Wärmelehre bekam dadurch mit der Optik eine gemeinsame Grundlage, nämlich jene der schwingenden Aethertheilchen. Die Optik hatte sich schon früher als die Wärmelehre von der Emissionstheorie, nach welcher von den leuchtenden Körpern höchst feine, elastische und schwerlose Lichttheilchen mit enormer Geschwindigkeit ausstrahlten, losgesagt; sie war dazu durch eine Reihe von Erscheinungen getrieben, welche sich nicht mehr durch die Emissionshypothese erklären liessen, sondern nur durch die Transversalschwingungen jenes höchst feinen und höchst elastischen Mittels, welches wir bereits mit dem Namen Aether bezeichnet haben (Seite 177).

Sehen wir zu, wie die Schwingungs- oder die Wellentheorie die Fundamental-Erscheinungen der Licht- und Wärmestrahlung erklärt. Die kleinsten Theilchen eines glühenden Metalles, einer Lichtflamme oder sonst einer derartigen Licht- und Wärmequelle, vollbringen äusserst schnelle Schwingungen, deren kinetische Energie sich den Theilchen des umgebenden Aethers mittheilt, in ähnlicher Weise, wie dies auch bei tönenden Körpern, in Beziehung

auf die sie umschliessende Luft, geschieht. Wie letztere dann in Schwingungen geräth und die Töne fortpflanzt, so pflanzt auch der schwingende Aether das Licht fort. Während jedoch beim Fortschreiten des Schalles in der Luft die Theilchen der letzteren längs der Schallstrahlen schwingen, ist es, wie gewisse Erscheinungen schliessen lassen, höchst wahrscheinlich, dass bei der Fortpflanzung des Lichtes die Schwingungen der Aethertheilchen senkrecht zur Richtung des Lichtstrahles erfolgen; man schliesst daraus, dass die Elasticität des Aethers eine Verschiebung der Aethertheilchen seitlich zu den Strahlen viel leichter gestattet, als längs der letzteren.

Das farblose Licht lässt sich bekanntlich mittelst eines Glasprismas in die Hauptfarben des Regenbogens zerlegen; diese verschiedenen farbigen Bestandtheile des farblosen Lichtes sind beim Lichte das, was beim Schalle die verschiedenen hohen und tiefen Töne sind, und sie werden vom Aether in ähnlicher Weise fortpflanzt, wie die Partialtöne eines Klanges in der Luft*). Die mathematische Optik lehrt, dass die Verschiedenheit der optischen Töne, d. i. die Verschiedenheit der Spectralfarben, ähnlich wie bei der Verschiedenheit der akustischen Töne, von der ungleichen Wellenlänge des schwingenden Aethers, oder von der ungleichen Anzahl der Schwingungen

*) Vergl. diese Schriften 1879, Band XIX, pag. 298 bis 301.

der zugehörigen Aethertheilchen, herrühren. In der Verschiedenheit jener Wellenlängen der verschiedenen Spectralfarben liegt der Grund, dass die verschiedenfarbigen Bestandstrahlen des farblosen Lichtes, mittelst eines Glasprismas, von einander abweichend abgelenkt werden und sich in einem Spectrum fächerartig zerstreuen.

Je schneller die Aethertheilchen schwingen, oder je kürzer die Wellenlänge ist, desto näher liegt der entsprechende Farbenton gegen das violette Ende des Spectrums hin; die längsten Aetherwellen sind also auf der rothen, die kürzesten auf der violetten Seite des Spectrums; zwischen beiden liegen die Aetherwellen von mittelgrossen Wellenlängen. Die Strahlen des Spectrums, je nachdem sie auf verschiedene Körper treffen, bewirken, vermöge ihrer kinetischen Energie, dreierlei Hapterscheinungen. In der Region der rothen Strahlen, und im unsichtbaren Theile vor den letzteren, tritt vorherrschend eine Erwärmung der dorthin gebrachten Körper, mithin Erhöhung der Molecular-Energie ein; die Strahlen von Roth bis Violett, am stärksten darunter die gelben Strahlen, wirken vorherrschend auf die Nerven-Enden der Netzhaut im Auge und erregen die Seh-Empfindung; die blauen, besonders stark aber die violetten und die unsichtbaren Strahlen über das Violett hinaus, bewirken chemische Veränderungen, indem die kürzeren Wellen des schwingenden Aethers sich auf den

Aether zwischen den Atomen eines Molecüles verpflanzen, und dann sowohl Trennungen als auch andere Anordnungen der Atome zu neuen Molecülen, welche von den vorgefundenen Molecülen verschieden sind, bewirken.

Obwohl die verschiedenen Strahlen des Spectrums, je nach der Region im letzteren, vorherrschend thermisch, optisch oder chemisch wirken; so lässt sich dennoch zeigen, dass die Verschiedenheit dieser Wirkung nicht in einer wesentlichen Verschiedenheit der Strahlen, sondern in der Verschiedenheit der materiellen Beschaffenheit der Körper, auf welche die verschiedenen Strahlen wirken, ihre Ursache habe. Es gibt nur eine Strahlung, die sich jedoch, je nach der verschieden hohen Schwingungszahl der schwingenden Aethertheilchen, und je nach Verschiedenheit des bestrahlten Stoffes, in der Wirkung verschieden äussert. Die Wärme-, Licht- und chemisch wirkenden Strahlen sind objectiv identisch, und dieselben werden erst wahrnehmbar, wenn die kinetische Energie ihrer Aetherschwingungen auf die materiellen Theilchen eines dazu passend gestimmten Körpers übertragen werden. So z. B. ist jeder Lichtstrahl zugleich auch ein Wärmestrahle; aber auch die sogenannten dunkeln Wärmestrahlen und die Lichtstrahlen unterscheiden sich nur durch die Höhe ihrer Schwingungszahlen, sie sind sonst ganz gleichartig; es vermögen jedoch nur die Lichtstrahlen die Enden der Sehnerven zur optischen Leistung zu reizen,

während sowohl die sichtbaren als unsichtbaren (sogenannten dunkeln) Wärmestrahlen Temperatur-Erhöhungen in jenen Stoffen bewirken, von welchen sie absorbiert werden.

Damit Strahlen auf einen von ihnen getroffenen Körper wirken, ist unbedingt nothwendig, dass sie absorbiert werden. Absorption von Wärme-, Licht- oder chemischen Strahlen ist also eine Uebertragung von kinetischer Energie der schwingenden Aethertheilchen auf die Molecüle und, bei chemischen Wirkungen, auf die Atome des Stoffes. Obwohl das Aequivalent einer bestimmten Lichtmenge noch nicht bestimmt worden ist, so ist doch gewiss, dass durch die Absorption von Lichtstrahlen die Stoffe sich erwärmen, und die chemische Wirkung der Lichtstrahlen wächst genau mit der Absorption der letzteren; das Gesetz der Erhaltung der Energie findet hier Anwendung, wenn auch der volle quantitative Beweis derzeit noch fehlt.

Die Wellen- oder Undulationstheorie des Lichtes erklärt, wie wir am Beispiel des Spectrums gezeigt haben, die Erscheinungen sehr einfach; sie bringt die Licht- und Wärmestrahlung auf ein gemeinsames Princip. Die Theorie der Lichtstoffe musste für die unendliche Zahl der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen eben so viele verschiedenfarbige Lichtstoffe annehmen, die sich dann im farblosen Strahle zu einem farblosen Lichtstoffe vereinigen sollten. Ausserdem musste dann ein eigenthümlicher

Wärmestoff besonders angenommen werden. Die Absorption des Lichtes konnte nur als eine Verbindung des Lichtstoffes mit den Körpern angesehen werden, wobei der Lichtstoff seine wesentliche Eigenschaft, d. i. das Leuchten, einbüßte. Ganze Gruppen von Lichterscheinungen vermochte die Emissionslehre des Lichtes gar nicht zu erklären, selbst wenn sie neue Hilfshypothesen heranzog. Wie einfach dagegen erklärt die Wellentheorie nicht nur alle Erscheinungen des Lichtes, sondern auch der Wärme- und chemisch wirkenden Strahlung! Die Anwendung des Satzes von der Erhaltung der Energie endlich macht die Transformation der einen Strahlenart in die andere, sowie auch die Absorption der Strahlen, leicht verständlich.

Durch die Undulationstheorie für die Wärme und das Licht haben beide einen gemeinsamen Boden gewonnen, ja die Wärme- und Lichtstrahlen sind sogar identisch. Weil die Wellentheorie des Aethers der apodiktischen Schwingungslehre in der Akustik nachgebildet ist, so wird sich, da wir es oben durch die Analogie schon angedeutet haben, leicht ergeben, wie man sich in der Akustik die Uebertragung oder die Fortpflanzung von kinetischer Energie vorstellt. Was zunächst die Erregung der Töne betrifft, so wird dabei die mechanische Arbeit beim Streichen oder Anschlagen des tönenden Instrumentes in die kinetische Energie der vibrirenden Bewegung der Körpertheilchen umgewandelt. Von dem tönenden

Körper geht dann die kinetische Energie auf das Schallmittel in Form der fortschreitenden Longitudinal-Wellen über, und von dem Schall-Leiter, mittelst der vibrationsfähigen Bestandtheile des Ohres, zu den Enden der Gehörnerven, wodurch endlich die Schallempfindung zu Stande kommt. Gelangen dagegen die Schallwellen an gleichgestimmte Körper, so gerathen letztere, in Folge der übertragenen kinetischen Energie, in Resonanz. Auch die Optik kennt derartige Erregungen von optischen Tönen oder Farben in dazu gestimmten Stoffen mittelst darauf fallender farbigen Strahlen, sie nennt derartige Erscheinungen Fluorescenz- und Phosphorescenz-Phänomene.

Wir haben gesehen, dass die Wärme-, Licht- und Schalltheorien auf die Wellenlehre zurückgeführt worden sind. Und da letztere aus der mathematischen Mechanik abgeleitet wird, so haben jene Lehren die theoretische Mechanik zur Grundlage, und zwar vor Allem den Hauptgrundsatz der letzteren, d. i. den Satz von der Erhaltung der Energie. Die mannigfachen Beziehungen, welche zwischen den elektrischen, optischen und thermischen Erscheinungen bestehen, und welche, seit der weiteren Entwicklung der mechanischen Wärmetheorie, immer zahlreicher aufgedeckt und herangezogen werden, mussten selbstverständlich das Bestreben der Naturforscher erwecken, die Fundamental-Erscheinungen der Elektrizität ebenfalls aus irgend einer Bewegung der

kleinsten Körper- oder Aethertheilchen zu erklären, nachdem — wegen der vielen Wechselwirkungen zwischen den thermischen, optischen und elektrischen Erscheinungen — die Hypothese von den elektrischen Fluiden oder elektrischen Materien unhaltbar geworden war.

Bisher waren es zwei verschiedene Hauptansichten, mittelst welcher man die Theorie der elektrischen Grunderscheinungen an die Aethertheorie der Optik und Wärme zu knüpfen versuchte. Die eine dieser Hypothesen behauptet, es seien einander entgegengerichtete Drehbewegungen der kleinsten Körper- oder Aethertheilchen, die denselben bei der Erregung der beiden Elektrizitätsarten mitgetheilt werden. Die andere Hypothese nimmt an, das Elektrischwerden eines Körpers rühre von einer hervorgerufenen Ansammlung freiwirkenden Aethers her. Nach der letzteren Ansicht besäße jeder unelektrische Körper den Aether in einer gewissen Menge. Durch die elektrische Erregung, z. B. durch Reibung, würde das Gleichgewicht der Aether-Atmosphären der kleinsten Körpertheilchen gestört, und es müsste in Folge dessen ein Ueberströmen des freiwerdenden Aethers von dem einen auf den anderen Körper eintreten, wonach also der eine Körper ein Plus, der andere ein gleichwerthiges Minus an freiem Aether erhalten würde; der eine Körper zeigt dann die Erscheinung der positiven, der andere aber jene der negativen Elektrizität. Man hat auch versucht, auf dieser Basis den

elektrischen Strom zu erklären. Bisher ist es weder der einen noch der anderen dieser Vorstellungen geglückt, alle Fundamental-Erscheinungen der Elektrizität zu erklären; jedoch fügen sich im Allgemeinen die bisher bekannten Grunderscheinungen leichter der letzteren als der ersteren Ansicht.

So sehr uns die derzeitigen Hypothesen, welche auf die Gewinnung einer gemeinsamen Grundlage für die Licht-, Wärme- und Elektrizitätslehre hinzielen, bei ihrer Detailanwendung im Stiche lassen, so hat doch wenigstens die Anwendung des Principes von der Erhaltung der Energie in der Elektrizitätslehre sich bewährt. Und da ein jeder Magnet sich als die Summe aller seiner von elektrischen Strömen umflossenen Molecüle ansehen lässt, so ist, wenn die fundamentalen Elektrizitäts-Erscheinungen auf den Satz von der Erhaltung der Energie zurückgeführt sind, diese Zurückführung principiell auch für die Grund-Erscheinungen des Magnetismus giltig.

Was zunächst die Reibungs-Elektrizität betrifft, so wird zur Trennung der positiven und negativen Elektrizität ein Aufwand von Arbeit bei der Reibung erfordert. Die hierbei verbrauchte kinetische Energie erscheint dann als potentielle Energie der geschiedenen Elektrizitäten an den geriebenen Körpern, indem die beiden Körper, welche die getrennten Elektrizitäten erhalten haben, sich einander zu nähern suchen; geschieht diese Annäherung bei leicht beweglichen Körpern, z. B. bei der Bewe-

gung von entgegengesetzt elektrischen Pendel-Elektroskopen, wirklich, so kommt es endlich wieder zum Auftreten von kinetischer Energie in Form der sichtbaren Gegeneinanderbewegung der leichtbeweglichen Elektrizitätsträger. Auch die elektrische Entladung in Form eines elektrischen Funkens, also in Form von Wärme, in welche die Elektrizität umgewandelt worden ist, zeigt den Uebergang und die Transformation von potentieller in kinetische Energie.

Mittelst der Elektrisirmaschine wird mechanische Energie in die potentiellen Energien der positiven und negativen Elektrizität umgewandelt; verbindet man den elektrisch geladenen positiven und negativen Conductor einer elektrischen Maschine mittelst eines Drahtes, so entsteht ein elektrischer Strom, mit dem man mechanische, thermische, magnetische, chemische und physiologische Wirkungen erzeugen, mit dem man also eine Transformation der Energien vollbringen kann.

Auch der elektrische Strom, der von den galvanischen Batterien ausgeht, bewirkt solche Transformationen; ja in den meisten Fällen in ausgiebigerem Grade als der elektrische Reibungsstrom. Wenn wir eine bestimmte Zinkmenge einfach in verdünnter Schwefelsäure auflösen, was chemisch gleichbedeutend mit einer Oxydation oder einer langsamen Verbrennung des Zinkes ist, so würde eine bestimmte Wärmemenge durch diese Verbrennung in der Flüssigkeit erzeugt. Wenn wir dagegen

die vorige Zinkmenge in der verdünnten Schwefelsäure eines galvanischen Elementes, das z. B. mit einem längeren dünnen Eisendrahte geschlossen ist, welcher der elektrischen Leitung einen sehr grossen Widerstand bietet, auflösen oder gleichsam langsam verbrennen, so nimmt — für die gleiche Menge des aufgelösten (verbrannten) Zinkes — die Wärmemenge in dem galvanischen Elemente ab, und sie tritt dafür in dem einen grossen Widerstand bietenden Schliessungsdrahte auf, so dass jener dünne Eisendraht als Träger einer gewissen Wärmemenge oder der entsprechenden kinetischen Energie erscheint. Es ist dann die in der ganzen Stromleitung erzeugte Wärmemenge, vermehrt um die innere Arbeit, gleich jener Wärmemenge, welche aus der galvanischen Zelle verschwindet, sobald man letztere mit dem einen grossen Leitungswiderstand bietenden Eisendraht schliesst. Wenn man diesen Versuch dahin modificirt, dass man eine galvanische Batterie an ihren Polen mit langen und dicken Kupferdrähten, welche nur einen verhältnissmässig geringen Leitungswiderstand bieten, metallisch verbindet, und dann zuletzt diese Drahtenden mit einem dünnen Eisendraht oder mit Kohlenspitzen schliesst, so lässt sich ein grosser Theil der in jener Batterie erzeugten Verbrennungswärme auf grosse Entfernungen, in Form von elektrischem Glühen und Leuchten, verpflanzen; es wurde dabei chemische Energie in solche von Wärme, Elektrizität und abermals Wärme,

nach dem Gesetze der Erhaltung der Energie, transformirt.

Wenn wir mit dem elektrischen Strome einer Volta-Batterie das Wasser in seine Bestandtheile zerlegen, so besitzen die hiebei erhaltenen Wasserstoff- und Sauerstoffmengen, vermöge ihrer chemischen Anziehungskraft (chemischen Verwandtschaft, Affinität), jene potentielle Energie, welche in der Batterie als kinetische Energie der Wärme verschwunden ist, und im Schliessungsdraht als kinetische Energie des elektrischen Stromes vorhanden war. Durch die Elektrolyse des Wassers muss also der elektrische Strom um so viel geschwächt werden, als Arbeit zur Trennung der Atóme in den Wassermolecülen erforderlich ist. Entzündet man das bei jener Elektrolyse des Wassers erhaltene Knallgas-Gemenge, so entstehen bei der Explosion Licht, Wärme und Schall; mithin dreierlei kinetische Energien. Wenn alle Verluste bei diesen Processen in Rechnung gezogen werden könnten, so müsste die Summe aller dieser Energien jener Wärme-Energie an Grösse gleich sein, welche bei Auflösung des Zinkes in der Batterie während der Elektrolyse erzeugt wurde.

Auch für die Erregung von Magnetismus in einem Elektromagnet wird kinetische Energie des elektrischen Stromes verbraucht, weshalb im Momente der Magnetisirung eine kurz dauernde Stromschwächung auftritt; dagegen wird zur Festhaltung des bereits entwickelten Magnetismus keine

Energie in Anspruch genommen, weil dann zu dem bestehenden Gleichgewichtszustande im Elektromagnete keine Arbeit erforderlich ist; wo aber keine mechanische Arbeit geleistet wird, da kann auch kein Stromverlust eintreten. Bei den elektromagnetischen Motoren, wo immer wieder der Elektromagnet auf's Neue erzeugt werden muss, tritt also immer wieder ein Verbrauch an der Energie des elektrischen Stromes auf. Man hat dann hier mittelbar eine Transformation der Wärme, welche das in der elektrischen Batterie verbrennende Zink liefert. Diese Wärme wird umgewandelt in elektrischen Strom, Magnetismus und zuletzt in mechanische Bewegung; letztere könnte zur Leistung von mechanischer Arbeit benützt werden.

Für jede Arbeit, welche der elektrische Strom leistet, muss eine dieser Arbeit äquivalente Energie des Stromes oder der Verbrennungswärme des oxydierenden Zinkes in der Batterie verbraucht oder richtiger umgewandelt werden. Wir wissen bereits (Seite 192), dass auch bei der Dampfmaschine ein Theil der Wärme des Dampfes in mechanische Arbeit transformirt, und dass dann nach gethauer Arbeit diese Wärmemenge in dem Dampfe, welcher gewirkt hat, fehlt. Bei den Dampfmaschinen, und überhaupt bei den calorischen oder thermodynamischen Maschinen, muss für die geleistete Arbeit der Maschine ein jener mechanischen Arbeit proportionaler Theil der in den Dämpfen oder Gasen aufgespeichert gewesenen

Wärme scheinbar verschwinden. Wärme wird jedoch nur dann in Arbeit verwandelt, wenn sie von einem wärmeren Körper zu einem kälteren übergeht; sie gleicht in dieser Beziehung, wie schon 1824 Sadi Carnot sinnvoll bemerkt hat, dem Wasser, welches nur dann Mühlen treiben und andere Arbeiten leisten kann, wenn es von einem höheren zu einem tieferen Ort zu fallen vermag. Diese bildliche Vorstellung hat jedoch Carnot zu dem Fehlschluss verleitet, dass er annahm, es gehe bei diesem Herabsinken der Wärme von dem höher zum tiefer temperirten Körper keine Wärme verloren. Erst Clausius stellte den Carnot'schen Satz von der Arbeitsleistung der herabsinkenden Wärme dadurch richtig (1850), dass er den Schluss des Carnot'schen Satzes von der Erhaltung der Wärmemenge in das directe Gegentheil verwandelte, d. h. dass er aussprach, es gehe für jede geleistete Arbeitseinheit eine proportionale Wärmemenge, wegen ihrer Umwandlung in Arbeit, als Wärme scheinbar verloren. Clausius zeigte ferner, dass man mit Carnot annehmen müsse, bei einer beliebigen thermodynamischen Maschine hänge die Arbeit in letzter Instanz von der Menge der übergeführten Wärme, und nicht von der materiellen Beschaffenheit des Wärmeträgers, z. B. des Dampfes oder erhitzten Gases, ab.

Eine Dampf- oder Gasmaschine kann also nur dann eine Arbeit leisten, wenn das wärme-

tragende Mittel auf der einen Seite des Kolbens abgekühlt, und ein Theil der Wärme in Arbeit umgewandelt wird. Die Abkühlung geschieht z. B. bei der Niederdruck-Dampfmaschine durch das kalte Wasser des Condensators, bei der Hochdruck-Maschine durch die kühlere Luft, in welche der unwirksam gewordene Dampf strömt.

In einer jeden thermodynamischen Maschine gibt also ein wärmerer Körper (das Feuer) eine gewisse Wärmemenge an den Wärmeträger (an die Dämpfe oder Gase) ab. Letzterer vermittelt, dass ein kleinerer Theil der erhaltenen Wärmemenge in mechanische Arbeit umgewandelt wird, während er den ergänzenden, grösseren Theil der Wärme zum kälteren Körper überführt. Die thermodynamischen Maschinen heizen also in unvermeidlicher Weise, wider den Willen ihrer Erfinder, die Umgebung, und man macht nur aus der Noth eine Tugend, wenn man die Heizung als solche nach Möglichkeit benützt. Die zu dieser unwillkürlichen Heizung und zu jener mechanischen Arbeit verbrauchten Wärmemengen geben in Summa die ganze Wärmemenge, welche der wärmevermittelnde Stoff (die Dämpfe oder Gase) von der höhergradigen Wärmequelle aufgenommen hat. Misst man die geleistete Arbeit, und zieht man alle Verluste an Wärme sorgfältig in Rechnung, so ergibt sich, dass die von der Wärmemaschine geleistete Arbeit genau einer scheinbar verloren gegangenen Wärmemenge äquivalent ist (S. 192).

Nicht nur bei den thermodynamischen Maschinen, sondern bei jeder Verwandlung von Wärme in Arbeit, lässt sich — wie die Erfahrung sowohl als die Theorie lehren — nur ein kleiner Theil der „absteigenden“, d. i. vom wärmeren zum kälteren Körper herabsinkenden Wärme in Arbeit verwandeln, während der grössere Theil der Wärme als solche zu dem kälteren Körper herabsinkt. Nun hat aber Clausius (1850) nachgewiesen, dass von einem kälteren zu einem wärmeren Körper nur dann Wärme übergehen oder „aufsteigen“ kann, wenn zu diesem Heben der Wärme gleichzeitig eine Arbeitsleistung verwendet wird. Dieser Satz hat zur Folge, dass noch die letzte Hoffnung der Schwärmer für das Perpetuum mobile zu Grabe ging; diese Hoffnung ging dahin, ob nicht die Wärme, welche bei einer Maschine durch die Bewegungshindernisse — Reibung, Stösse, Widerstand des Mittels — entsteht, in Arbeit zurückverwandelt und mindestens ein dauernder, sich selbst regulirender Mechanismus herzustellen wäre? Hiebei wurde nur das Eine vergessen, dass die Wärme nie gänzlich in Arbeit sich verwandeln lässt, sondern dass im Gegentheil nur der kleinere Theil der höher temperirten Wärmequelle in Arbeit umgestaltet werden kann, und dass der grössere Theil davon, indem er zu den tiefer temperirten Körpern übergeht, stets Wärme bleiben muss; das Perpetuum mobile bleibt also unmöglich.

Durch den Satz von der Erhaltung der Energie ist die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile vollends erwiesen (Seite 202); denn was ist die Folge jenes Satzes? Eine Arbeit kann immer nur durch eine dazu verwendete Energie geleistet werden; ist letztere verbraucht oder transformirt, so kann keine weitere Arbeit erfolgen. Man kann jetzt nicht mehr wie ehemals meinen, dass etwa mittelst der thermischen, elektrischen oder magnetischen Kräfte die Construction eines Perpetuum mobile möglich werden könnte, weil wir ja wissen, dass alle Energien, sie mögen heißen wie sie wollen, nur nach äquivalentem Masse in Arbeit transformirbar sind, und dass die Rückverwandlung von Wärme in Arbeit nur theilweise möglich ist.

Durch die Bewegungshindernisse wird stets ein Theil der kinetischen Energie in Wärme umgewandelt; auch im Universum müsste, wenn Bewegungshindernisse vorhanden sein sollten, die von der Gravitation herrührende Energie zum Theil in Wärme umgeformt werden. Laplace hat für die ewige Dauer des Planetensystems (1799—1825) einen absolut leeren Weltraum vorausgesetzt; nach dem heutigen Stande der Wissenschaft sind wir, wegen der Strahlung von Licht und Wärme, gezwungen anzunehmen, dass der Weltraum mit einer schwerlosen, höchst feinen und ausserordentlich elastischen Materie, der man den Namen Aether beigelegt hat, erfüllt ist. Die Feinheit dieses ange-

nommenen Aethers ist so gross, dass bisher die Folgen einer durch seinen Widerstand bewirkten Hemmung nur am Laufe des Encke'schen Kometen, sonst aber bei keinem andern Weltkörper wahrgenommen werden konnten. Welches wären überhaupt die Wirkungen eines die Bewegung der Weltkörper hindernden Mittels? Zunächst würde statt der eingebüsstten Bewegungs-Energie Wärme auftreten; ferner müsste, weil die Anziehung des Centralkörpers ungeschwächt vorausgesetzt ist, die seitliche Bewegung der Weltkörper aber durch den Widerstand des Mittels vermindert würde, die Wirkung der anziehenden Kraft der Sonne relativ vergrössert sich äussern, d. h. solche Himmelskörper würden durch eine vermehrte Geschwindigkeit und eine engere Bahn das Dasein eines widerstehenden Mittels verrathen. Dies scheint nun bei dem Encke'schen Kometen, nach neueren Beobachtungen, wirklich der Fall zu sein, und das Endschicksal dieses Kometen dürfte dessen Sturz in die Sonne sein.

Ein derartiges Hineinstürzen von zahllosen kleinen Weltkörpern (Asteroïden) in die Sonne nimmt J. R. Mayer (1848) an, um zu erklären, woher die Sonne den Ersatz an Wärme erhalte, welche sie unaufhörlich ausstrahlt. Bei diesem Hineinstürzen von Asteroïden in die Sonne wird die Energie der mechanischen Bewegung in die Energie der Wärme mit solcher Mächtigkeit umgewandelt, dass dies hinreicht, die ungeschwächte Erhaltung

der Sonnenwärme daraus abzuleiten. In anderer Weise erklärt Helmholtz den Ersatz der Ausstrahlung der Sonne, indem er berechnet, dass eine fortdauernde Verdichtung der ursprünglich aus einer kosmischen Nebelmasse geballten Sonne derselben ihre Wärme für unübersehbar lange Zeiten erhielt.

So wie die Sonnenhitze wird auch die innere Hitze der Erde von J. R. Mayer durch das ehemalige Gegeneinanderstürzen kleinerer Weltkörper, von Helmholtz aber durch die Verdichtung der ursprünglich aus kosmischer Nebelmasse geballten Erde, erklärt, indem Beide bei der bezüglichen Rechnung das Wärme-Aequivalent der Arbeit zu Grunde legen. Das Resultat solcher Rechnungen lehrt, dass, bei Zugrundelegung obiger Hypothesen, unvergleichlich höhere Hitzegrade und Wärmemengen als bei jeder bekannten Verbrennung oder chemischen Verbindung auftreten, und dass folglich auch bezüglich der Sonne, bei Annahme obiger Hypothesen, die Wärme- und Licht-Erscheinungen sich viel gewaltiger gestalten, als bei Annahme von Verbrennungen oder chemischen Processen in und auf der Sonne, so dass die Spectral-Erscheinungen der Sonne mit den obigen Annahmen keineswegs im Widerspruche, sondern vielmehr damit im Einklange stehen.

Wenn auch die bei der Verbrennung und bei den chemischen Verbindungen erscheinenden Wärme-

mengen zur Erklärung der Erhaltung der Sonnenhitze, wenigstens nach den irdischen Daten und Kenntnissen, bei weitem nicht ausreichen, so sind doch andererseits die bei den irdischen Verbrennungsprocessen zum Vorschein kommenden Wärmemengen für uns auffallend und wichtig genug, derart, dass wir nach dem letzten Grunde derselben zu forschen aufgefordert sind. Und dies um so mehr, als uns die Verbrennungswärme in vielen Fällen unentbehrlich ist! Wenn ein Körper vermöge der Schwere fällt und im Fallen plötzlich gehemmt wird, so verwandelt sich die sichtbare kinetische Energie in moleculare Bewegung oder Wärme; in ähnlicher Weise stellen wir uns vor, dass, vermöge der chemischen Anziehung oder chemischen Verwandtschaft, die Atome der in unmessbarer Nähe und unter günstigen Verhältnissen aufeinander wirkenden Stoffe heftig gegeneinander stürzen und dann die Molecüle der neuen Verbindung bilden, wobei ebenfalls die beim mächtigen Aneinanderfallen plötzlich gehemmte Bewegung in jene moleculare Bewegung umgewandelt wird, welche Wärme heisst. So wie zum Heben eines Steines, also zu seiner Trennung vom Erdboden, eine Arbeit gebraucht wird, die er beim Herabstürzen genau wieder zurückerstattet und die zuletzt als moleculare Bewegung, d. i. als Wärme, erscheint; so haben wir auch zum Trennen chemischer Verbindungen Energie, in vielen Fällen die Wärme selbst noth-

wendig. Die chemisch getrennten Stoffe gleichen gehobenen Gewichten oder gespannten Federn, kurz sie besitzen potentielle Energie, welche bei der chemischen Verbindung wieder in kinetische Energie, und zwar meist in Wärme, übergeht. Am hervorstechendsten tritt dies bei jener chemischen Verbindung der Stoffe mit Sauerstoff ein, welche unter Licht- und Wärme-Erscheinungen erfolgt, und welche Verbrennung heisst, weshalb auch die hierbei erzeugte Wärmemenge zuerst gemessen worden ist. Bei jeder Verbrennung und, allgemeiner, bei jeder chemischen Verbindung, sie mag unmittelbar oder mittelbar, auf einmal oder in Zwischenacten erfolgen, wird stets eine für diese Verbindung gleich grosse Wärmemenge erzeugt. Wenn also z. B. die Gewichts-Einheit Kohle zuerst zu Kohlenoxyd und dann dieses zu Kohlensäure verbrennt, so wird zuletzt gerade so viel Wärme entwickelt, als ob die Kohle unmittelbar zu Kohlensäure verbrannt worden wäre.

Eine solche stufenweise und langsame Verbrennung erleiden die oxydirbaren Bestandtheile des Blutes im Körper der Menschen und Thiere, wodurch die menschliche und thierische Lebens- oder Eigenwärme entsteht. Da die Verbrennungsproducte aus dem lebenden Thierkörper durch die Ausathmung (Kohlensäure, Wasser und der unveränderte Stickstoff), durch den Schweiss (Wasser, Kohlensäure und verschiedene Verbindungen) und auf an-

deren Wegen ausgeschieden werden, so ist ein Ersatz für jene verbrannten Stoffe nothwendig. Diesen Ersatz leisten die Nahrungsmittel, welche stets aus dem Pflanzen- oder Thierreich stammen, und also der Hauptsache nach verbrennlich sein müssen, weil ja in letzter Instanz ihre Bestandtheile im Blute der Thiere verbrennen, d. i. mit dem Sauerstoff der eingeathmeten Luft sich chemisch verbinden. Bei den thierischen Wesen wird ein Theil ihrer Wärme, ähnlich wie bei der Dampfmaschine, in mechanische Arbeit umgewandelt, und zwar, wie sich durch Rechnung zeigen lässt, vortheilhafter als bei der Dampfmaschine, wobei überdies noch der thierische Körper und seine unwillkürlichen Bewegungen zu erhalten sind. Nach dem Satze von der Erhaltung der Energie muss z. B. unter sonst gleich bleibenden Verhältnissen ein arbeitender Mensch mehr Wärmemengen in Anspruch nehmen, als wenn er ruht, was eine stärkere Verbrennung, also auch einen gesteigerten Sauerstoffverbrauch, zur Folge haben muss.

Durch den fortwährenden thierischen Oxydationsprocess müssten die so gebildeten Verbrennungsproducte, nämlich Kohlensäure und Ammoniak, sich in bedrohlicher Weise anhäufen, wenn nicht die Pflanzen dieselben theils direct, theils im Wasser absorbirt, aufnehmen und zu ihrem Baue verwenden würden. Die von den Pflanzen verbrauchte Kohlensäure wird unter dem Einflusse des Sonnenlichtes zersetzt, die Kohle als Baustoff zurückbehalten,

der Sauerstoff aber von den Blättern ausgeathmet, welchen wieder die Thiere verzehren. So bereiten die Pflanzen den Menschen und Thieren den ihnen erforderlichen Sauerstoff, und letztere den Pflanzen die nothwendige Kohlensäure. Dieser das Leben der Pflanzen und Thiere bedingende Zirkel erstreckt sich nicht bloß auf den Sauerstoff, sondern er ist, wie J. v. Liebig zuerst gezeigt hat (1840—46), ein allgemeiner, indem die Pflanzen den Thieren die ihnen erforderlichen Brennstoffe als Nahrungsmittel liefern, während die Thiere für die Pflanzen die Verbrennungsproducte abgeben. Da aber bei diesem Kreislauf die von den Thieren nach aussen abgehende Wärme und die geleisteten mechanischen Arbeiten nicht zur nothwendigen Zerlegung jener Verbrennungsproducte verwendet werden, so müssen wir nach der Energiequelle suchen, welche jene Verbrennungsproducte wieder in ihre chemischen Bestandtheile auflöst. Wir finden sie in der Sonne, welche, vermöge ihrer Strahlen, je nach Umständen, chemische Verbindungen herstellen und trennen kann. Wir haben bereits oben angedeutet, dass die Sonnenstrahlen die Bestandtheile der von den Pflanzen eingenommenen Kohlensäure wieder trennen, und so Sauerstoff für die Einathmung der Thiere freimachen.

Die von der Sonne ausgehende Energie der Strahlung wird also theils in den Pflanzen potentiell aufgespeichert, theils zu der bei den meteorologischen Vorgängen erforderlichen Bewegungs-Energie

umgewandelt. Letztere Transformation kommt abermals den Pflanzen, durch den meteorologischen Kreislauf des Wassers, zugute. Da nun aber die Pflanzen wieder den Thieren und Menschen unmittelbar oder, bei der Ernährung mit Fleisch, mittelbar zur Speise dienen, und die thierischen Ausscheidungen dagegen im Kreislauf für die Pflanzen verwerthet werden, so zeigt sich, dass in letzter Instanz die Sonne das erhaltende Princip der organischen Welt auf Erden ist. Vom Bestand der Sonne hängt die fortwährende Erhaltung des Kreislaufes der irdischen Organismen ab. Und da die Nachheizung der Sonne mindestens für ungezählte Jahrmillionen gesichert ist, so ist auch die dauernde Erneuerung der irdischen Organismen für kaum berechenbar lange Zeiten verbürgt.

So hat uns denn die Wärmelehre auf die Entdeckung des mechanischen Aequivalentes der Wärme, und dieses auf den Satz der Erhaltung der Energie geführt. An der Hand dieses Satzes haben wir einige Hauptgebiete der Physik durchwandert; nirgends sind wir dabei auf einen Widerspruch gestossen; überall haben sich früher zerstreut liegende Erscheinungen einheitlich verbunden. In dem Satze von der Erhaltung der Materie haben wir ein Analogon zu dem Satze von der Erhaltung der Energie; die Aehnlichkeit beider Sätze erstreckt sich jedoch nur auf die Unzerstörbarkeit und Unerschaffbarkeit von Stoff und Energie; in folgenden Punkten ergeben sich jedoch einige Unter-

schiede: Der auf die Erhaltung der Materie bezügliche Satz lässt sich in allen Fällen leichter und genauer als der auf die Erhaltung der Energie bezügliche Satz direct durch die quantitative Messung nachweisen; dagegen ist bisher noch keine Transformation eines einfachen Stoffes in einen anderen bekannt, während man mannigfache Umwandlungen oder Transformationen der Energien kennen gelernt hat. Die Möglichkeit der Umformung der letzteren gestattet anzunehmen, dass es nur eine einzige Grundenergie gebe, von welcher die einzelnen Energien (Gravitation, Affinität, Strahlung, Elektrizität und Magnetismus) die besonderen Erscheinungen sind. Man vermuthet zwar dem analog, dass es vielleicht auch eine einzige, einfache Grundmaterie geben könnte, von welcher die Grundstoffe nur verschiedene Formen oder Allotropien wären — in ähnlicher Weise etwa wie die Kohle als solche, als Graphit und Diamant, der Phosphor als gewöhnlicher und rother Phosphor, der Schwefel als gewöhnlicher und amorpher Schwefel erscheint — aber derzeit ist es noch nicht geglückt, die chemischen Elemente auf einen einzigen Grundstoff — von welchem vielleicht selbst der hypothetische Weltäther eine Abart sein könnte — zurückzuführen.

Sowie im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts die Betonung der Unzerstörbarkeit und Unerschaffbarkeit der Materie eine gänzliche Revision und die Reform der Lehren der Chemie nach sich gezogen

hat, so ergab sich in unserem Jahrhundert — seit der Entdeckung der Unzerstörbarkeit, Transformationsfähigkeit und Unerschaffbarkeit der Energie — eine Neugestaltung der Grundlehren der Physik und der erklärenden Naturwissenschaft überhaupt; ja die Naturwissenschaft hat dadurch ihre Verbindung mit der Philosophie wieder gefunden. Auf gesicherter Grundlage lassen sich nunmehr die Hauptlehren der erklärenden Naturwissenschaft ableiten, und ein einheitliches Band umschlingt jetzt die früher getrennten Zweige derselben. Täglich gewinnt dadurch die Naturwissenschaft an Einfachheit und Tiefe, und der Satz von der Erhaltung des Stoffes sowie der Energie ist der verlässlich leitende Compass auf dem Meere der verwirrenden, einzelnen Erscheinungen. Und wenn der Spruch: „In das Innere der Natur dringt kein erschaffener Geist“ auch noch immer wahr bleibt, so ist doch wenigstens jetzt der Schleier gelüftet, welcher das Innere der Natur verhüllt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1880

Band/Volume: [20](#)

Autor(en)/Author(s): Pisko Franz Josef

Artikel/Article: [Ueber die neuen Grundanschauungen in der Physik. 151-232](#)