

Die Erhaltung der Kraft.

Die Naturwissenschaft ist eine Wissenschaft verhältnißmäßig neuen Datums. Das gesammte Alterthum hat uns, was die Erklärung der Naturerscheinungen anbelangt, außer den Gesetzen des Archimedes (287—212 v. Chr.) über Schwerpunkt, Hebel, schiefe Ebene und Schraube fast nur noch in der Astronomie erhebliche Kenntnisse überliefert. Wie seltsam klingt uns jetzt, was Aristoteles (384—321 v. Chr.) über das Steigen und Fallen der Körper, über natürliche und unnatürliche Bewegung sagt! Wir können kaum glauben, daß es ernstlich gemeint sei, wenn er in Beziehung auf die Hebelercheinungen anführt: „Der Kreis sei ein so wunderbares Ding, daß es wohl zu begreifen, wie die im Kreise erfolgenden Bewegungen auch ihrerseits die wundervollsten Eigenschaften darbieten“. Und doch war Aristoteles der bedeutendste Philosoph des Alterthums und galt auch in naturwissenschaftlicher Hinsicht das ganze Mittelalter hindurch als Auctorität, so daß es für die bahnbrechenden Geister der neuen Aera, beinahe 2000 Jahre nach Aristoteles, noch ein Unternehmen war, einen Zweifel an den Aussprüchen desselben zu äußern.*)

Was ist der Grund dieser Unfruchtbarkeit des Alterthums an naturwissenschaftlichen Kenntnissen, selbst bei einem Volke, wie die Griechen, die doch sonst so Bedeutendes in Wissenschaft und Kunst geleistet haben? Vorzugsweise Mangel an der richtigen Methode

*) „Du bist beinahe der einzige, klagt Galilei in einem Briefe an Keppler, worin er diesem über die von ihm entdeckten Jupitersmonde schreibt, der meinen Angaben vollkommenen Glauben beimißt. Als ich den Professoren zu Florenz die 4 Jupitersmonde zeigen wollte, wollten sie weder diese noch mein Fernrohr sehen. Sie verschlossen ihre Augen vor der Wahrheit. Diese Gattung Menschen glaubt, in der Natur sei keine Wahrheit, sondern nur in der Vergleichung der Texte (das sind ihre eignen Worte).“

(Bosly, Principien der Mechanik.)

naturwissenschaftlicher Forschung. Worin dieselbe besteht, kann uns die Astronomie lehren. Die Astronomie ist der einzige Zweig der Naturwissenschaft, der, wie gesagt, im Alterthume schon zu einer verhältnißmäßig bedeutenden Ausbildung gelangt war. Selbst bei den frühesten Völkern finden wir astronomische Kenntnisse, die uns in Erstaunen setzen, wenn wir die Einfachheit der Mittel bedenken, durch deren Benutzung dieselben erreicht wurden. In der Astronomie nämlich war es den Menschen unbewußt gelungen, den richtigen Weg zur Erforschung der Natur einzuschlagen. Das Bedürfniß einer bürgerlichen Zeitrechnung hatte schon früh zur Anstellung solcher Beobachtungen geführt, deren Resultate in bestimmten Zahlen ihren Ausdruck fanden. „Zahlen aber sind die Elemente jeder exacten Naturforschung.“

Es verging eine lange Zeit, die ganze Nacht des Mittelalters, bevor diese Methode auch auf die übrigen Naturwissenschaften angewandt wurde. Erst dann, als nach der Zerstörung Constantinopels (1453) mit den auswandernden Griechen ein befruchtender Same in die Länder des Westens geführt wurde, und ein frischer Geist des Strebens und Forschens, gewekt durch das Studium der griechischen Quellen, — vor allen auch des Aristoteles selbst — die man so lange nur aus schlechten Uebersetzungen und durch Commentare corrumpiert kennen gelernt hatte, belebend die Geister durchwehte, schlägt auch für unsere Wissenschaft die Stunde der Geburt.

Dem englischen Philosophen und Naturforscher Franz Bacon von Verulam (1561 bis 1626) gebührt das Verdienst, auf die mangelhafte Art und Weise der aristotelischen Naturerklärung zuerst entschieden hingewiesen und den richtigen Weg, den die Naturforschung einschlagen müsse, angedeutet zu haben. Die Naturwissenschaft, sagt er, ist eine Erfahrungswissenschaft, und das Ziel derselben die Erkenntniß des Allgemeinen. Dieses können wir aber nicht erkennen aus seinem Zweck, wie Aristoteles versuchte, sondern nur auf dem Wege der Induction, vom Einzelnen zum Allgemeinen aufsteigend. Man folgte dem Rathschlage Bacon's, und seitdem hat die Naturwissenschaft, besonders in der neueren Zeit, Fortschritte gemacht, die nicht allein eine neue Welt der Gedanken sondern gewissermaßen auch der Dinge um uns geschaffen haben.

Wie für die Geschichte, so liegt es auch für die Naturwissenschaft nahe, das Geschehen aus dem Verkehr und der Wechselwirkung vieler einzelner individueller Punkte abzuleiten. Schon das Alterthum — Leucipp und Demokrit, etwa 500 v. Chr. — suchte die Mannichfaltigkeit der Naturerscheinungen durch die Verbindung und Trennung der Atome (*σύνχρσις καὶ διάκρισις*) zu erklären, die ihrer Natur nach untheilbar (*ἄτομοι*) und unveränderlich durch Nothwendigkeit (*ἀνάγκη*) getrieben im leeren Raume sich bewegen. Der Mangel zusammenhängender exacter und zweckmäßig angestellter Beobachtungen verhinderte jedoch die Alten, dieser Vorstellungsweise eine mathematische Ausbildung zu geben, und so blieb sie bei ihnen mehr ein allgemeiner Gedanke einer möglichen Naturerklärung, als daß sie in Wirklichkeit bei irgend einer Gruppe von Erscheinungen dazu angewandt wäre. — Der neueren Physik, wenn sie von derselben Voraussetzung ausgeht, ist dieser

Vorwurf nicht zu machen.*) Als Grund für die Annahme von sog. Atomen dienen ihr die zahlreichsten Thatfachen der Chemie und Physik. Die Elemente der Chemie — deren man gegenwärtig 65 zählt — zeigen unter denselben Bedingungen, was auch inzwischen ihre Schicksale gewesen, stets wieder dieselben Formen der Wechselwirkung. Eine gewisse Menge irgend eines Elementes oder Grundstoffes kann aus den verschiedensten Verbindungen sowohl an Quantität als Qualität unverändert stets zurückerhalten werden. Diese Unzerstörbarkeit und Unveränderlichkeit der Stoffe glaubt die Wissenschaft am besten durch die Annahme von untheilbaren, unzerstörbaren und unveränderlichen Atomen erklären zu können, deren Wechselwirkung die ganze bunte Mannichfaltigkeit der Erscheinungswelt erzeugt. Diese Wechselwirkung denkt sie sich aber nicht — und das ist ein wesentlicher Unterschied zwischen der alten und neuen Atomlehre — nach blinder Nothwendigkeit erfolgend und den Atomen zugetheilt, ohne mit ihrer Natur in irgend einem Zusammenhange zu stehen, sondern die Atome selbst sind die thätigen nach bestimmten und beständigen Gesetzen auf einander wirkenden individuellen Punkte, die nicht allein aller Erscheinung zu Grunde liegen, sondern auch alle Erscheinung bewirken.**)

*) Fechner, Atomlehre, S. 10. Unter den jetzt lebenden Physikern und Chemikern, die als solche wirklich zählen, ist mir überhaupt kein erklärter Gegner der Atomistik bekannt, als etwa Faraday (nach Phil. mag. 1844 Febr.) und Schönbein, beide hochverdiente Forscher, doch beide noch von der alten Schule und mathematischer Betrachtungsweise nicht eben mächtig zc.

**) Fechner (Atomlehre, Seite 88) theilt einen Brief W. Weber's mit, worin dieser sagt: „Es kommt darauf an, in den Ursachen der Bewegungen einen solchen constanten Theil auszufondern, daß der Rest zwar veränderlich, seine Veränderungen aber bloß von meßbaren Raum- und Zeitverhältnissen abhängig gedacht werden können. Auf diesem Wege gelangt man zu einem Begriff von Masse, an welcher die Vorstellung der räumlichen Ausdehnung gar nicht nothwendig haftet. Consequenter Weise wird dann auch die Größe der Atome in der atomistischen Vorstellungsweise keineswegs nach räumlicher Ausdehnung, sondern nach ihrer Masse bemessen, d. i. nach dem bei jedem Atome constanten Verhältnisse, in welchem bei diesem Atome die Kraft zur Beschleunigung immer steht. Der Begriff von Masse (sowie auch von Atomen) ist hiernach ebenso wenig roh und materialistisch, wie der Begriff von Kraft, sondern ist demselben an Feinheit und geistiger Klarheit vollkommen gleich zu setzen.“

Loze, Mikrokosmos I. Seite 37. Man sieht leicht, daß diese Vorstellungsweise uns zugleich gestattet, von einer räumlichen Ausdehnung jener Urbestandtheile gänzlich abzusehen und sie als übersinnliche Wesen zu betrachten, die von bestimmten Punkten des Raumes aus durch ihre Kräfte ein bestimmtes Maß der Ausdehnung beherrschen, ohne es doch im eigentlichen Sinne zu erfüllen. . . . Der Physik, welcher die kleinsten Theile nur als Mittelpunkte ausgehender Kräfte wichtig sind, widerstrebt es nicht, diesen Schein einer ausgedehnten Materie aus einfachen übersinnlichen Wesen abzuleiten; die philosophische Naturbetrachtung wird sich zu diesem Versuche genöthigt sehen, denn er allein verbindet die Vorstellung von der Einfachheit der wirklich letzten Elemente mit der gleich unentbehrlichen Formenmannichfaltigkeit der Atome, die wir als die nächsten Baubestandtheile des Körperlichen voraussetzen müssen.

möglich ist, und welche Vorgänge dabei innerhalb derselben stattfinden, läßt die Physik, da die Erfahrung ihr nichts darüber aussagt, vorläufig unerörtert. Sie hält sich an die Thatfachen, die in die Erscheinung treten. Und da finden wir, das scheint in Uebereinstimmung mit den Vorstellungen der älteren Atomiker die Wissenschaft immer mehr fest zu stellen, als Aeußerung der inneren Beziehungen zwischen den Atomen und des Wechsels dieser Beziehungen überall Bewegungen.

Drei Grundgesetze der Bewegung (*axiomata sive leges motus*) stellt Newton (geb. 1642), der Schöpfer der wissenschaftlichen Mechanik, an die Spitze seiner *principia philosophiae naturalis*, die im Jahre 1687 erschienen. Alle drei sind der Erfahrung entnommen und waren zum Theil schon vor Newton bekannt.

1. Das Princip des Beharrungsvermögens.
2. Das Princip der relativen Bewegung.
3. Das Princip der gleichen Wirkung und Gegenwirkung.

Das erste dieser Gesetze, welches aussagt, daß kein Körper seinen Zustand der Ruhe oder Bewegung aus sich selbst ohne Einwirkung von äußeren Kräften ändern kann, verdanken wir Galilei (*Discorsi e dimostrazioni etc.* 1638), der dasselbe dem irrigen Satze der aristotelischen Philosophie gegenüber aufstellte: „*cessante causa cessat effectus*“. Der Ausdruck „Trägheit der Materie“, wonach das Gesetz auch das Gesetz der Trägheit oder des Beharrungsvermögens genannt wird, rührt von Newton her.*)

Das zweite Princip sagt aus:

Die Einwirkung einer Kraft auf einen Körper hindert nicht die gleichzeitige Einwirkung einer zweiten, dritten, überhaupt beliebig vieler Kräfte auf denselben Körper. In allen Fällen wird die Bewegung, die aus der Einwirkung einer Kraft entsteht, verbunden mit derjenigen, die der Körper schon hatte; jede Kraft übt ihre Wirksamkeit aus, als ob sie allein vorhanden, die Endbewegung aber, das Resultat, enthält die Einzelbewegungen sämmtlicher Componenten in sich.

*) Locke begründet den Satz folgendermaßen (*Mikrokosmos I. 39*): welche inneren Zustände und Bewegungen wir auch immer in den Atomen voraussetzen, nie wird sich doch um ihretwillen das einzelne von selbst in Bewegung setzen, ohne durch seine Beziehungen zu anderen dazu genöthigt zu sein. Denn der Raum an sich umgiebt jedes Atom gleichförmig von allen Seiten und kein Punkt dieser gleichgültigen Ausdehnung besitzt einen Vorzug vor dem andern, um deswillen das ruhende Atom sich nach ihm aufmachen, oder das bewegte aus seiner Richtung nach ihm ablenken müßte; keiner entspricht der Natur des Atomes besser als ein anderer, so daß er ihn schneller aufsuchte oder zögernder verliesse. Jedes ruhende wird daher, so lange nicht äußere Einflüsse hinzutreten, in Ruhe, und jedes bewegte in der Richtung und Geschwindigkeit seiner Bewegung verharren, bis neu dazwischen wirkende Ursachen diese hemmen oder ablenken.

Schon Kopernikus, fast hundert Jahre vor Galilei, hatte Kenntniß von diesem Satze, und benutzte ihn zur Widerlegung der Einwürfe gegen die Aendrehung der Erde, indem seine Gegner meinten, die Wolken, der fallende Stein u. s. w. müßten bei einer solchen Aendrehung von Westen nach Osten gegen Westen zurückbleiben. Galilei leitete aus demselben das Gesetz der Fallbewegung, sowie die Bestimmung der Bahn geworfener Körper ab und Newton das Gesetz des Parallelogramms der Kräfte.

Am spätesten ist das dritte Newton'sche Grundgesetz entdeckt, das Gesetz der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung. Freilich wirft schon Aristoteles die Frage auf, ob der geworfene Stein gegen die wirkende Kraft reagiere; wirklichen Gebrauch von dem Grundsatz, jedoch ohne ihn als solchen zu nennen, machen aber zuerst Galilei und namentlich Huyghens (*Horologium oscillatorium*. 1673); Newton stellt ihn dann als dritten und letzten Erfahrungssatz über die Bewegung der Körper ausdrücklich an die Spitze seiner Untersuchungen.

Von diesen drei Grundsätzen ausgehend behandelt Newton in seinen Principien der Naturphilosophie die Gesetze der Bewegung der Körper, zuerst allgemein ohne Rücksicht auf die besonderen Kräfte der Natur, und wendet dann die gewonnenen Resultate auf die Kraft der Schwere als ein Beispiel an. Er spricht die Hoffnung aus, daß es gelingen möchte, die übrigen Naturerscheinungen dereinst in derselben Art der Beweisführung aus den Principien der Dynamik abzuleiten, da sie alle wahrscheinlich von gewissen Kräften abhängen, durch welche die kleinsten Theilchen der Körper auf einander wirken.

Der Verwirklichung dieser Hoffnung ist die Neuzeit um einen bedeutenden Schritt näher gekommen. Besonders fruchtbar für die Weiterentwicklung der Naturwissenschaft in diesem Sinne hat sich das dritte der Newton'schen Axiome erwiesen. Anknüpfend an dasselbe hatte schon J. Bernouilli, veranlaßt durch die Untersuchungen von Huyghens über den Schwingungsmittelpunkt, das Gesetz der „Erhaltung der lebendigen Kraft“ aufgestellt. Dieses Gesetz hatte übrigens bis dahin nur eine beschränkte, mehr mathematische als physikalische Gültigkeit. Es galt bei Pendelbewegungen unter der Voraussetzung, daß die Schwingungen des Pendels in unveränderlicher Größe stattfinden, was bekanntlich wegen der Reibung und des Widerstandes der Luft nicht herzustellen ist, außerdem beim Stoß und der Zusammenpressung oder Ausdehnung vollkommen elastischer Körper. Durch die Entdeckung der Verwandelbarkeit der Naturkräfte in einander hat dasselbe indes eine ungeahnte Erweiterung erfahren und bildet jetzt als Gesetz „der Erhaltung der Kraft“ eine der wichtigsten und fruchtbarsten Errungenschaften der neueren Physik.

Für das Verständniß der hierher gehörigen Betrachtungen ist es wichtig, sich klar zu machen, was der Begriff „Quantität einer Kraft“ bedeutet.

Cartesius und Leibniß und ihre beiderseitigen Anhänger hatten lange darüber gestritten, was als das Maß einer Kraft zu betrachten sei, die einer gewissen Masse m eine Geschwindigkeit c erteilt oder die vorhandene Geschwindigkeit derselben auf Null re-

duciert habe. Die einen (Cartesianer) behaupteten, in Uebereinstimmung mit Galilei, das Product (mc), die anderen (Leibnizianer) das Product mc^2 sei das Maß derselben. Erst D'Alembert schlichtete den Streit durch Veröffentlichung seines berühmten Werkes „Traité de Dynamique“ (1743) und zeigte, daß beide Parteien in gewisser Weise Recht und Unrecht hatten.

Sei p eine Kraft, z. B. die Zugkraft eines Gewichtes, m die Masse desselben, g ($= 9,808 m$) die Beschleunigung, welche diese Masse beim freien Fall durch Einwirkung der Kraft p auf dieselbe während der Zeiteinheit (Secunde) erhält, so ist, wenn man als Masseneinheit diejenige Masse nimmt, die durch die Gewichtseinheit in der Zeiteinheit die Beschleunigungseinheit erhält,

$$1. \quad \frac{p}{g} = m.$$

Ist nun P eine constante Kraft, die das Gewicht p in Bewegung setzt, z. B. auf horizontaler Unterlage ohne Reibungswiderstand, so ist nach den Formeln für gleichförmig beschleunigte Bewegung

$$2. \quad c = \frac{P}{p} gt,$$

$$3. \quad s = \frac{1}{2} \frac{P}{p} gt^2,$$

wo c , t , s die bekannten Bedeutungen haben, Geschwindigkeit, Zeit, Weg.

Substituirt man $\frac{p}{m} = g$ aus (1) in (2), so erhält man

$$4. \quad Pt = mc$$

und durch dieselbe Substitution von $\frac{p}{m} = g$, sowie von $t = \frac{c}{g} \cdot \frac{p}{P}$ aus (2) in (3)

$$5. \quad Ps = \frac{1}{2} mc^2.$$

Daraus würde sich ergeben

$$Pt : P't' = mc : m'e'$$

und für den Fall, daß $t = t'$,

$$6. \quad P : P' = mc : m'e'$$

Ebenso

$$Ps : P's' = mc^2 : m'e'^2$$

und für den Fall, daß $s = s'$,

$$7. \quad P : P' = mc^2 : m'e'^2.$$

In den Formeln (6) und (7) sprachen Cartesius und Leibniz ihre Sätze aus. Sie ließen dabei unberücksichtigt: Cartesius, daß die Zeiten, während welcher, und Leibniz, daß die Wege, durch welche hin die Kräfte wirken, die gleichen seien. Das Maß der Kraft P

hatte keiner von beiden richtig angegeben, denn nicht P , sondern Pt ist $= mc$, und nicht P ist $= mc^2$, sondern $Ps = \frac{1}{2} mc^2$. Die Frage nach der Größe der Kraft, die einer Masse m die Geschwindigkeit c verleiht, oder ihr dieselbe nimmt, ist in dieser Form überhaupt nicht zu stellen. Sowohl eine kleine wie eine große Kraft kann diese Wirkung ausüben, jenachdem die Zeit, während welcher, oder der Weg, durch welchen hin sie auf die Masse wirkt, verschieden ist. Statt nach der Kraft P zu fragen, ist es vielmehr die Größe des Productes Pt oder Ps , die wir bestimmen müssen, um eine bestimmte Antwort zu erhalten.

Uns interessiert hier besonders die zweite Form des Ausdrucks, das Product Ps . Coriolis hat diesen Ausdruck sehr passend „Arbeit der Kraft“ genannt. Der Ausdruck ist hergenommen von der Arbeit der lebenden Wesen.

Die körperliche Arbeit des Menschen, so mannichfaltiger Art sie ist, besteht im wesentlichen überall darin, daß durch einen gewissen Aufwand von Muskelkraft irgend eine mechanische Aenderung in dem Zustande eines Körpers, auf den diese Kraft wirkt, hervor gebracht wird. Je größer dabei die Muskelanstrengung und je länger sie dauert, um so größer schätzen wir die aufgewandte Kraft und die von ihr geleistete Arbeit. Das Gefühl der Muskelanstrengung und der allmähig in Folge davon eintretenden Ermüdung würde aber stets nur ein unsicheres Maß für die Größe einer geleisteten Arbeit liefern, man hält sich daher besser an diese selbst.

Die Arbeit kann in zweierlei Form auftreten: entweder besteht die Wirkung der bewegenden Kraft darin, daß durch dieselbe der Angriffspunkt einer Widerstand leistenden Kraft entgegengesetzt ihrer Richtung zurückgeschoben wird — wie das z. B. beim Heben eines Gewichts statt hat — oder es wird einem Körper in der Richtung der auf ihn wirkenden Kraft eine beschleunigte Bewegung durch diese mitgetheilt. Nun ist es klar, daß im ersteren Falle die Arbeit um so größer sein wird, einmal: je größer der zu überwindende Widerstand, und dann: je größer der Weg ist, um den der Angriffspunkt der Widerstand leistenden Kraft ihrer Richtung entgegengesetzt zurückgedrängt wird. Nimmt man als Einheit dieser letzteren Kraft die Gewichtseinheit, ein Kilogramm oder ein Pfund, als Längeneinheit ein Meter oder einen Fuß, und als Arbeitseinheit die Arbeit, die geleistet wird, wenn ein Kilogramm oder ein Pfund um ein Meter oder einen Fuß gehoben wird — welche Arbeit man nach Poncelet's Vorschlag mit Kilogrammometer oder Fußpfund bezeichnet — so bedeutet das Product Ps eine Arbeit, die eine Hebung von P Kilogramm oder Pfund auf eine Höhe von s Metern oder Fuß repräsentiert, je nachdem man die betreffenden Einheiten gewählt hat.

Das Maß der geleisteten Arbeit im zweiten Falle, wo die ganze Arbeit nur dazu verwandt wird, um einem Körper eine beschleunigte Bewegung zu ertheilen, führt sich, wie leicht zu zeigen, auf das erste zurück. Ein Körper nämlich, von der Masse m , der durch die Einwirkung einer constanten Kraft P den Weg s hindurch in der Richtung dieser Kraft sich bewegt, ohne außer seinem Beharrungsvermögen dieser Bewegung einen andern Wider-

stand entgegen zu setzen, erlangt am Ende des Weges eine gewisse Geschwindigkeit, die wir aus der oben entwickelten Gleichung $Ps = \frac{1}{2} mc^2$ erkennen. Die Kraft P , die den Weg s hindurch auf m gewirkt hat, hätte aber, statt der Masse m eine beschleunigte Bewegung zu ertheilen, auch eine P gleiche Gegenkraft um denselben Weg s zurückdrängen können, während sie auf dieser Strecke thätig war, und dann eine Arbeit $= Ps$ im ersten Sinne geleistet. Demnach ist Ps als das Maß der Arbeitskraft auch in diesem Falle anzusehen, und da nach der obigen Entwicklung $Ps = \frac{1}{2} mc^2$ ist, auch letzterer Ausdruck. So kann die Schwere eines Gewichtes entweder, indem man das Gewicht frei fallen läßt, der Masse desselben lebendige Kraft ertheilen oder auch ein anderes ihm gleiches Gewicht, mit dem es durch eine über eine feste Rolle laufende Schnur verbunden ist, heben. Nach Coriolis pflegt man letzteres Product ($\frac{1}{2} mc^2$) statt des Leibniz'schen Ausdrucks (mc^2) mit dem Namen „lebendige Kraft“ zu bezeichnen.

Es war bekannt, daß in gewissen seltenen Fällen die Arbeitskraft in der geleisteten Arbeit sich erhalte und aus derselben in ihrem vollen Werthe zurückhalten werden könne, eben in jenen Fällen, wo das Gesetz der lebendigen Kraft seine Gültigkeit hatte. In andern Fällen glaubte man, daß nur ein Theil der Arbeitskraft in der geleisteten Arbeit als Arbeitsvorrath erhalten geblieben sei, oder man hielt sie für völlig verschwunden. Das durch unsere Muskelkraft gehobene Gewicht z. B. treibt bei seinem Sinken das Räderwerk unserer Wanduhren, aber nachdem es gesunken, scheint auch die ursprünglich aufgewandte Arbeitskraft verschwunden zu sein. Der fallende Hammkloß arbeitet, indem er den Widerstand des Erdbodens überwindet; die gespannte Feder, die comprimierte Luft, indem sie sich wieder auszudehnen streben, setzen schneller oder langsamer andere Körper in Bewegung, aber schließlich, wenn diese Bewegung auch noch so oft übertragen wird, verschwindet doch dieselbe, ohne daß man einen augenscheinlichen Ersatz für die verloren gegangene lebendige Kraft erblickt. Reibung und Stoß, so sagte man, haben sie vernichtet, und fand nichts Räthselhaftes in dieser Erscheinung. Wie sollte man auch Anstoß nehmen an der Verwandlung einer Kraft in nichts, da man anscheinend täglich die ebenso wunderbare Erschaffung der Kraft aus nichts im lebendigen Körper vor sich zu haben glaubte, denn der Zusammenhang zwischen Kraft und Nahrung war ja noch lange dunkel, als man die Wichtigkeit der Nahrung für die Wärmeerzeugung in unserem Körper schon kannte.

Einem deutschen Arzte, J. A. Mayer in Heilbronn, war es vorbehalten, Licht zu bringen in diese dunklen Vorgänge der Physik.

Mayer erkannte den Widerspruch, der in den bisherigen Vorstellungen über die Bewegungsercheinungen der Körper lag, und veröffentlichte vor etwa 30 Jahren in einem kurzen vorläufigen Aufsatze seine Bemerkungen über die „Kräfte der unbelebten Natur“, die in der Geschichte der Physik, der Naturwissenschaft überhaupt, schon jetzt als eine neue Epoche begründend angesehen werden.

„Kräfte sind Ursachen“, so beginnt Mayer seine meisterhafte Abhandlung, „mithin findet auf dieselben der Grundsatz Anwendung: „causa aequat effectum.“

Die Wirkung einer Kraft ist wieder eine Kraft und an Größe der ursprünglichen gleich. In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann aber nie ein Glied oder ein Theil eines Gliedes zu Null werden. Kräfte sind folglich: „unzerstörbare, wandelbare, imponderable Objecte“.

Der Kraftvorrath der Natur ist entsprechend den beiden Arten der Arbeitsleistung in zweierlei Form vorhanden zu denken. Einestheils besteht derselbe in Anziehungen und Abstoßungen der Massen oder ihrer Theile, die bestrebt sind, Bewegungen hervorzubringen, aber durch einen Widerstand daran verhindert werden — Quantität der Spannkraft nach Helmholtz, oder potentielle Energie nach englischem Ausdrucke — andernteils in Bewegung der Massen oder Massentheile — Quantität der lebendigen Kraft nach Helmholtz, oder dynamische Energie nach englischem Ausdrucke. Die Summe dieser beiden Kraftvorräthe ist eine constante in der Welt, so lange sie besteht, ebenso wie die Summe des Stoffes. Aller Wechsel der Erscheinung besteht nur in einer verschiedenen Verwendung des Stoffes und in der Verwandlung des Kraftvorrathes von der einen Form in die andere. Das ist das Gesetz der „Erhaltung der Kraft“. Dasselbe gilt überall, wo nur anziehende und abstoßende Kräfte zwischen den Massenpunkten existieren. Ob das allgemein der Fall ist, darüber dürfen wir nur die Erfahrung entscheiden lassen. Das Hauptziel der gegenwärtigen Naturwissenschaft geht dahin, die ausnahmslose Gültigkeit dieses Gesetzes empirisch nachzuweisen, woraus dann auch umgekehrt folgen würde (siehe Helmholtz, Erhaltung der Kraft, 1847, S. 10), daß zwischen den Theilchen der Körper nur Centralkräfte als einfachste Grundkräfte anzunehmen sind.

Kehren wir zurück zu den Betrachtungen Mayer's. Nachdem Mayer erkannt, daß die Zerstörung einer Kraft unmöglich, lag noch die schwierige Aufgabe vor ihm, nun thatsächlich auch nachzuweisen, wo denn die Kraft, die man bisher durch Reibung und Stoß als vernichtet ansah, bleibe, und was aus ihr werde. Mayer's Lösung ist einfach: Da in vielen Fällen das Aufhören der Bewegung einer Masse mit dem Auftreten von Wärme verbunden ist — überall da wo wir keine neue Massenbewegung erfolgen oder die Hebung eines Gewichtes bewirkt sehen — und umgekehrt Wärme verschwindet, wenn eine Massenbewegung durch dieselbe hervorgebracht wird, so schließen wir: Wärme ist Bewegung. Die durch Reibung oder Stoß verloren gegangene Kraft der Bewegung der Masse hat sich in die unsichtbare Wärmebewegung der Massentheilchen verwandelt.

Die Ansicht, daß Wärme Bewegung sei, war nicht absolut neu. Schon Baco und Locke hatten sie vertreten und Rumford (1798), sowie namentlich Davy so zu sagen den entschiedenen Beweis dafür geliefert. Aber Keiner hatte es bis dahin verstanden, die Wärme zu messen in Beziehung auf diese ihre Bewegungskraft, so daß sie mit den andern mechanischen Kräften, aus denen man sie entstanden dachte, hätte verglichen werden können. Diesen

Schritt that Mayer. Er verstand es, seine Behauptung in Zahlen zu fixieren und somit der Wissenschaft eine feste Basis für ihre Untersuchungen zu geben.

Mayer war auf den Zusammenhang zwischen Wärme und Bewegung durch eine Beobachtung aufmerksam gemacht, die er im Jahre 1840 in Java machte: daß das venöse Blut der neuangekommenen fieberkranken Europäer eine auffallend hellrothe Färbung zeigte. Von der Theorie Lavoisier's*) ausgehend, daß die animalische Wärme das Resultat eines Verbrennungsprocesses sei, betrachtete er die doppelte Farbenveränderung des Blutes in den Haargefäßen des kleinen und großen Kreislaufes als ein sinnlich wahrnehmbares Zeichen einer mit dem Blute vor sich gehenden Drydation.**). Da nun die Temperatur des menschlichen Körpers eine constante ist, so folgt, daß die Wärmeentwicklung in demselben mit seinem Wärmeverluste, also auch mit der Temperatur des umgebenden Mediums in einem bestimmten Größenverhältniß stehen muß. Je höher die Temperatur der Umgebung, um so weniger kann der Körper von seiner Eigenwärme dieser mittheilen. Die Wärme-production und der Drydationsproceß, sowie auch der Farbenunterschied beider Blutarten muß also im ganzen in der heißen Zone geringer sein als in der kälteren.

Diesen Gedanken nachhängend warf dann Mayer die Frage auf, ob die direct im thierischen Organismus entwickelte Wärmemenge allein oder ob die Summe der auf directem und indirectem Wege entwickelten Wärmemenge auf Rechnung des Verbrennungsprocesses zu bringen seien? Er bejahte das Letztere und schloß dann, daß die vom lebenden Körper erzeugte Wärme mit der dazu verbrauchten Arbeit in einem constanten Verhältnisse stehen müsse.

„Indem ich im Allgemeinen die angegebene Richtung einhielt, fährt Mayer fort, mußte ich also nothwendig mein Hauptaugenmerk zulezt auf den zwischen der Bewegung und der Wärme bestehenden physikalischen Zusammenhang richten, wo mir denn die Existenz des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht verborgen bleiben konnte.“

Der ersten Abhandlung Mayer's, die im Jahre 1842 in Liebig's Annalen Bd. XLII. erschien, folgten bald mehrere meisterhafte Arbeiten, die denselben Gedanken weiter ausführten und den Begriff der gegenseitigen Verwandlungsfähigkeit der Naturkräfte in einander in seine letzten Consequenzen verfolgten.***)

*) fiel im Jahre 1794 als Opfer der französischen Revolution. Nous n'avons plus besoin des savants lautete der Ausspruch des das Urtheil verkündenden Gerichtspräsidenten.

**) Mayer, Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften. Stuttgart 1867. S. 249 u. f. w.

***) Organische Bewegung 1845, Mechanik des Himmels 1848, Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme 1851. Sämmtliche Schriften finden sich vereinigt in „Mechanik der Wärme“. Stuttgart 1867.

Fast gleichzeitig, und ohne von Mayer's Untersuchungen zu wissen, beschäftigte sich der Engländer Joule in Manchester, durch technische Fragen des Maschinenbau's darauf geführt, mit demselben Gegenstand (1843) und lieferte durch die mannichfachen und sorgfältigsten Versuche den vollständigen experimentellen Beweis der von Mayer aufgestellten Behauptungen. Die Zeit war überhaupt reif für die Entdeckung, kann man sagen. Schon 1824 hatte der Franzose Sadi Carnot, Sohn des berühmten Kriegsministers der Revolution, einen Weg eingeschlagen, der ihn zur Entdeckung des von Mayer aufgestellten Gesetzes hätte führen können. Auch Montgolfier trug sich bereits mit dem Gedanken der Äquivalenz von Wärme und mechanischer Arbeit. Im Jahre 1843 übergab der Däne Golding der Akademie von Kopenhagen eine Abhandlung mit einer Versuchsreihe zur Begründung seiner Ansichten, die zu einem Resultate führten, das von Mayer's und Joule's Angaben nicht wesentlich abweicht.*) Helmholtz veröffentlichte 1847, ohne von Mayer, Joule oder Golding zu wissen, seine berühmte Abhandlung „Ueber die Erhaltung der Kraft“. In der neuesten Zeit haben sich zahlreiche Forscher, unter denen besonders Clausius, Zeuner, Hirn, Regnault zu erwähnen, mit demselben Gegenstande beschäftigt.

Wenn man ein Volumen Luft — eingeschlossen gedacht in einem unausdehnbaren Würfel, dessen eine Wand jedoch ungehindert zurückweichen kann — einmal unter constantem Druck, z. B. dem Druck einer Atmosphäre, dann unter constantem Volumen von 0° C auf 273° C erwärmt, so findet man, daß die dazu verbrauchten Brennstoffe in dem Verhältnisse 1,41 : 1 stehen.

Ein Cubikmeter Luft von 0° C und unter dem Drucke einer Atmosphäre wiegt 1,293 Kg.

Die spezifische Wärme der Luft bei constantem Drucke — d. h. die Wärmemenge, die nöthig ist, um eine Gewichtseinheit Luft unter constantem Druck von 0° C auf 1° C zu erwärmen, wenn die unter denselben Verhältnissen für das Wasser nöthige Wärmemenge gleich 1 gesetzt wird — beträgt 0,2377.

Die Erwärmung eines Cubikmeters Luft bei dem constanten Drucke einer Atmosphäre von 0° C auf 273° C, wobei die Luft sich der Temperatur proportional ausdehnend ihr Volumen verdoppelt, ergiebt darnach

$$273 \cdot 1,293 \cdot 0,2377 = 83 \text{ Wärme-Einheiten.}$$

Dieselbe Luft bei constantem Volumen von 0° C auf 273° C erwärmt — wobei der Druck von außen gleich der gleichmäßig anwachsenden Spannkraft der erwärmten Luft

*) Tyndall. Die Wärme. Golding fand, daß eine Wärmemenge, welche die Temperatur von einem Pfund Wasser um 1° C zu erhöhen vermag, im Stande ist, ein Pfundgewicht 1448 Fuß hoch zu heben.

innerhalb des Würfels allmählig verdoppelt wird — erfordert einen Wärmeverbrauch, der sich berechnet aus der Proportion

$$1,41 : 1 = 83 : x, \text{ wonach} \\ x = 59 \text{ Wärme-Einheiten.}$$

Die Differenz der verbrauchten Wärmemengen in den beiden Versuchen würde also = 83 W.-E. — 59 W.-E. = 24 W.-E. sein.

Dieser Mehraufwand von Wärme beim ersten Versuche kann, da das Volumen der Luft, der Druck, unter dem dieselbe stand, sowie die Temperatur zu Anfang und Ende bei beiden Versuchen dieselben waren, nur dadurch veranlaßt sein, daß die Luft im ersten Falle durch ihre Ausdehnung Arbeit verrichtet und dadurch Wärme verbraucht hat. Diese Arbeit besteht aber darin, daß die eine Wand des Würfels, die dem innern Drucke allein nachgab, den entgegenstehenden Druck der Atmosphäre um 1 Meter zurückgeschoben hat. Der Atmosphären-Druck für 1 Quadratmeter beträgt 10334 Kg., also haben die 24 Wärme-Einheiten eine Arbeit geleistet von 10334 Kilogrammometer, was für eine Wärme-Einheit $\frac{10334}{24} = 430$ Kgm. ausmacht.

Die Zahl 430 Kgm. ist das, was Mayer das mechanische Äquivalent der Wärme nennt. Die obige Rechnung stimmt in ihrem Gange nahe mit der von Meyer ausgeführten überein.*)

Joule schlug einen andern Weg ein. Seine ersten Versuche waren ausgeführt mit Hilfe einer magneto-electrischen Maschine*). Später vermannichfaltigte er seine Versuche. Er trieb Wasser durch enge Röhren, so daß es sich erwärmte durch Reibung, ließ Wasser, Quecksilber, Wallratöl in einem messingenen und eisernen Gefäße durch Schaufelräder bewegen, rieb gußeiserne Scheiben gegen einander u. s. w. Es ergab sich überall, abgesehen von kleinen Differenzen, wie sie aus der Mangelhaftigkeit der Apparate und den bei dergleichen Versuchen unvermeidlichen Beobachtungsfehlern sich ergeben, dieselbe Zahl als Äquivalent der Wärme.

Als Mittel der besten Versuche, wie sie Joule und Hirn (*théorie mécanique de la chaleur*. Paris 1865) neuerdings veröffentlicht haben, nimmt man jetzt die Zahl 424 Kgm. an. Dieselbe bedeutet also, um das Gesagte noch einmal zusammenzufassen: Die Wärmemenge, die nöthig ist, um 1 Kg. Wasser von 0° C auf 1° C zu erhöhen, kann, als Arbeit benutzt, ein Gewicht von 1 Kg. 424 Meter hoch heben oder umgekehrt: ein Gewicht von 1 Kg., das von einer Höhe = 424 Meter frei herunter fällt, erzeugt, falls keine andere Arbeit geleistet wird, beim Zusammenstoß mit der Erde eine Wärmemenge, die gesammelt

*) Siehe Tyndall, die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung, §. 71, 72, 73, 74, außerdem Pouillet-Müller und Willner. III. Seite 479. II. Seite 898.

***) Siehe Tyndall. Die Wärme u. Seite 95.

hinreichen würde, um 1 Kg. Wasser von 0° C auf 1° C zu erwärmen. Hierbei ist von keiner Hypothese die Rede. Die Frage nach dem mechanischen Aequivalent der Wärme ist rein practischer Art und konnte gelöst werden und ist gelöst, ohne irgend welche Voraussetzungen über die Natur der Wärme zu machen, obgleich sowohl Mayer als Joule ihre Anregung zur Lösung derselben aus ihrer Vorstellung über die Wärme als Bewegungserscheinung schöpften. Daß diese Vorstellung richtig, dafür kann nun aber außer zahlreichen andern Thatsachen namentlich das constante Aequivalentverhältniß zwischen Wärme und mechanischer Arbeit angesehen werden.

Schwieriger gestaltet sich schon die Sache, wenn wir nach der Art dieser Wärmebewegung fragen. Die Wissenschaft hat darüber nur mehr oder weniger wahrscheinliche Hypothesen bis jetzt aufzuweisen, unter denen die von Redtenbacher und Clausius das meiste Ansehen genießen.

Redtenbacher denkt sich die Körper bestehend aus Atomen oder Molekülen, die mit Aetherhüllen umgeben sind. Ein solches Körper-Atom mit seiner Aetherhülle nennt er Dynamide. Die Aetheratome dieser Hüllen sind gegen die Körperatome sehr klein, träge wie alle Materie, aber der Schwere nicht unterworfen. Sie üben untereinander nur Abstößungskräfte aus, werden aber von den Körperatomen angezogen. Die Wärmebewegung besteht nun nach Redtenbacher darin, daß die Aetherhüllen radial um ihre Centra, die Atome, schwingen. Von der Stärke dieser Schwingungen, sowie von dem Größenverhältniß zwischen den anziehenden Kräften der Körperatome und den abstößenden der Aetheratome hängt die Temperatur und das molekulare Gefüge der Körper ab.

Clausius, Krönig, Maxwell und andere vertreten dagegen die Ansicht, daß die Wärme in einer Bewegung der Atome oder Moleküle der Körper selbst bestehe. Clausius denkt sich diese Bewegung als dreierlei Art: fortschreitend, rotierend und oscillierend — letzteres bei den Bestandtheilen der zusammengesetzten Moleküle. Jede Zufuhr von Wärme bewirkt ein doppeltes: einmal treibt sie die Atome auseinander und dann verstärkt sie die schwingende Bewegung derselben. Nur der letztere Theil der Thätigkeit macht sich als Wärme dem Gefühle kund, der erstere ist als Wärme verloren (latente Wärme).

Lyndall giebt uns ein anschauliches Bild von dem Vorgange, der bei der Erwärmung eines Körpers nach dieser Vorstellung statt hat. Er vergleicht denselben mit dem Heben eines Gewichtes, das zugleich in immer schneller werdende pendelartige Schwingungen versetzt wird.

Die Erklärung der verschiedenen Aggregatzustände, sowie das latent und wieder frei Werden der Wärme bei Aenderung derselben ist nach dieser Hypothese sehr einfach.

Im gasförmigen Zustande hält Clausius die Cohäsion der Atome für vollständig überwunden, so daß dieselben geradlinig nach allen möglichen Richtungen durch den Raum fliegen, „einem Mückenschwarme vergleichbar“. Diese Bewegung erfolgt mit um so größerer Geschwindigkeit, je mehr Wärme den Atomen zugeführt wird, während mit Abnahme der

Wärmezufuhr auch die Geschwindigkeit der Atom-Bewegung, die Intensität des Bombardements, wieder abnimmt. Die Spannkraft der Gase ist eine Folge dieser Bewegung der Atome. Dieselbe nimmt, wie wir bereits oben für die atmosphärische Luft angedeutet haben, bei jeder Erwärmung um 1°C um $\frac{1}{273}$ der Spannkraft, die das Gas bei 0°C hatte, zu, und umgekehrt bei einer Erkältung um 1°C um eben so viel ab. Daraus würde folgen, daß bei einer Temperatur von -273°C , wenn überhaupt das Gesetz über die Abnahme der Spannkraft mit der Temperatur so weit seine Gültigkeit hat, jede Spannkraft, also auch jede Atombewegung und Wärme verschwunden sein müßte. Man nennt deshalb diese Temperatur den absoluten Nullpunkt der Temperatur. Derselbe liegt weit unter jedem Kältegrade, den wir bis jetzt haben hervorbringen können, und wahrscheinlich würde jedes Gas schon weit eher ein fester Körper geworden sein, als es diese Temperatur erreicht hat.

Welche von den beiden angeführten Ansichten über die Natur der Wärmebewegung die richtige ist, oder welche andere, falls beide falsch sein sollten, wir an ihre Stelle zu setzen haben, das nachzuweisen, ist Sache der fortschreitenden Wissenschaft. Gegenwärtig scheint die Clausius'sche Hypothese den meisten Anklang bei den Physikern zu finden, obgleich auch die Redtenbacher'sche manche Auctoritäten für sich hat.

Die Wärmebewegung findet sich in der Natur allgemeiner verbreitet als irgend eine andere Bewegungsform. Der Grund hiervon ist, daß die Bedingungen ihres Auftretens sich vorzugsweise leicht realisiert finden. Wärme ist nämlich, darin stimmen sowohl Clausius als Redtenbacher überein, eine zitternde Bewegung der ponderablen Theilchen eines Körpers überhaupt, die unter günstigen Umständen sich in die Erscheinungen des Lichts, der Electricität, des Magnetismus u. s. w. verwandelt. Jeder Körper, dessen Temperatur über den absoluten Nullpunkt der Temperatur hinausgeht, hat ein gewisses Quantum von Wärmebewegung in sich, das einem beständigen Wechsel unterworfen ist, so lange es noch wärmere oder kältere Körper, die ihre Wärme mit ihm auszugleichen bestrebt sind, in seiner Umgebung giebt. Fast kein Proceß existiert in der Natur, bei dem nicht Wärmeerscheinungen mit stattfinden. Dadurch ist die Wärme ein Verbindungsglied für die verschiedensten Erscheinungen und ihr Maß, sowie dessen Zurückführung auf das gewöhnliche Maß der mechanischen Kräfte von so großer Bedeutung. Die Wärme kann in ähnlicher Weise zur Messung aller möglichen Naturkräfte dienen, wie das Geld zum Maße der verschiedensten öconomischen Werthe benutzt wird. Das ist die Bedeutung des Aequivalents der Wärme. Durch die Auffindung desselben ist es nicht allein gelungen, die Naturerscheinungen auf Bewegungsvorgänge zurückzuführen, sondern auch das Gesetz der Erhaltung der Kraft experimentell zu erweisen, das einen so wunderbaren Zusammenhang unter diesen Vorgängen uns erkennen läßt.

Heben wir die Hauptzüge des Bildes hervor, wie es unter Zugrundelegung dieses Princips vom Sein und Werden in der Natur sich uns darstellt.

Den Urzustand unseres Sonnensystems haben wir uns wahrscheinlich, wie schon Kant und Laplace annahmen, als eine gewaltige nebelartige Masse zu denken. Sowohl an Materie als an Kraftvorrath war in dieser Masse die ganze Summe dessen enthalten, was von beiden noch jetzt in unserm Sonnen-System vorhanden ist. Die allgemeine Anziehungskraft der Materie zu einander mußte den lockeren Nebelball allmählig verdichten und seine ursprüngliche Rotationsbewegung — die wir annehmen müssen — beschleunigen, wodurch eine Trennung desselben, die Bildung der Planeten mit ihren Trabanten, Kometen u. s. w. erfolgte.

Diese Zusammenballung der Massen ging vor sich, indem eine Verwandlung ihrer Spannkraft zunächst in die lebendige Kraft der Massenbewegung und dann beim Zusammenprall in eine zitternde Bewegung der kleinsten Theile, in Wärme, stattfand. Die Arbeit, die geleistet worden ist, bis aus der ursprünglichen Nebelmasse der gegenwärtige Zustand des Sonnen-Systems sich entwickelte, ist eine so gewaltige gewesen, daß nach Helmholtz' Schätzung sie hinreichen würde, um eine der Masse der Sonne und der Planeten zusammen genommen gleiche Wassermasse um 28 Millionen Grad des hunderttheiligen Thermometers zu erwärmen. Diese ungeheure Wärme mußte ihrerseits einer festen Zusammenfügung der Massen hinderlich sein und der größte Theil derselben hat sich gewiß erst durch Strahlung in den Weltraum verlieren müssen, bevor die Massen so dichte Körper bilden konnten, wie gegenwärtig Sonne und Planeten sie darstellen. Reste derselben haben sich aber noch erhalten in der Sonne selbst, in dem Innern der Planeten und der übrigen Weltkörper. So hat z. B. unsere Erde ihren heißflüssigen Kern, auf den die vulkanischen Erscheinungen und die Zunahme der Temperatur nach innen hin schließen lassen, dieser Wärmeentwicklung bei ihrer Entstehung zu verdanken.

Von dem gesammten ursprünglichen mechanischen Kraftvorrath des Sonnensystems ist nach Helmholtz gegenwärtig nur noch der 454ste Theil als solcher vorhanden. Er ist aufgespeichert in der Anziehung zwischen Sonne, Planeten, Kometen und den übrigen Körpern unseres Sonnensystems, in der Umlaufsbewegung dieser Körper um die Sonne, sowie in der Rotationsbewegung derselben um ihre Axe. Professor W. Thomson giebt folgende Daten für einige dieser Werthe an, wobei die Arbeitskraft durch das Wärmemaß gemessen und dieses auf die Zeit zurückgeführt ist, während welcher die Sonne durch die betreffende Wärmemenge ihre Ausstrahlung decken könnte. *)

Sonne	Gravitationswärme		Rotationswärme		Umlaufwärme	
	— Jahre	— Tage	116 Jahre	6 Tage	— Jahre	— Tage
Merkur	6	214	—	—	—	15
Venus	83	227	—	—	—	99
Erde	94	303	—	—	—	81
Mars	12	252	—	—	—	7

*) Tyndall. Die Wärme. S. 604.

	Gravitationswärme		Rotationswärme		Umlaufwärme	
	Jahre	— Tage	— Jahre	— Tage	— Jahre	144 Tage
Jupiter	32240	—	—	—	—	2
Saturn	9650	—	—	—	—	127
Uranus	1610	—	—	—	—	71
Neptun	1890	—	—	—	—	—

Die Umlaufsbewegung wie die Rotationsbewegung der Weltkörper werden aber allmählig verzehrt durch die Reibung derselben gegen den Lichtäther, den man sich überall im Weltraume verbreitet zu denken hat. Das schließliche Schicksal aller Körper des Sonnensystems, wenn auch in unendlich ferner Zeit, muß darnach ein Hinabstürzen derselben auf die Sonne sein, wobei sie durch die aus dem Zusammenprall erzeugte Wärme geschmolzen und verflüchtigt werden müssen. Ein solches Hinabstürzen kosmischer Materien auf die Sonne denkt sich Mayer beständig vor sich gehend und leitet hieraus die Wärme und das Licht der Sonne ab. Einen Anhalt für diese Ansicht gewähren die auf die Erde hinabstürzenden Meteorsteine. Sie rühren her von kleinen Weltkörpern, die von der Erde angezogen in die Erdatmosphäre gerathen, sich erhitzen, zerplagen und so auf die Erde fallen. Auch vom Encke'schen Kometen ist es nachgewiesen, daß er immer kleiner werdende Ellipsen um die Sonne beschreibt und also schließlich auf die Sonne fallen muß. Dieser Entwicklungsgang des Sonnensystems — die Verwandlung sämmtlicher Körper desselben in eine heißflüssige, zum Theil gasförmige Masse — würde freilich zeitweise eine Neubildung von Weltkörpern, wie sie aus dem ursprünglichen Nebelchaos stattgefunden hat, zulassen. Jedoch auch diese würden wieder demselben Schicksale unterworfen sein. Der Vorgang kann sich indessen nicht, da Wärme beständig in den Weltraum ausgestrahlt wird, in infinitum wiederholen. Außerdem beschränkt der Carnot'sche, von Clausius modificirte sog. zweite Grundsatz der Wärmelehre, wenn er richtig ist, die Arbeitsleistung der Wärme, da nach demselben Wärmebewegung in Arbeit sich nur dann verwandeln kann, wenn sie von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergeht, und auch dann nur zum Theil.

Die Weltkörper, mit denen die Erde am engsten verbunden ist, sind Sonne und Mond. Ihr Einfluß auf die Vorgänge auf der Erde ist daher von hervorragender Bedeutung. Sowohl Sonne als Mond erzeugen täglich in Folge ihrer Anziehung und der Umdrehung der Erde zwei mächtige Flutwellen im Ocean, die von Osten nach Westen die Erde umkreisen.*) Die Wellen des Mondes sind wegen der größeren Nähe desselben etwa $3\frac{1}{2}$ mal so groß als die der Sonne. In den Springsfluten treffen beide zusammen

*) Die Flutwellen in der Luft sind nicht so bedeutend. Nach Laplace beträgt die Geschwindigkeit derselben 1 geographische Meile in 24 Stunden, eine Bewegung, die so gering ist, daß ihre Einwirkung durch die sonstigen Vorgänge in der Atmosphäre für den Beobachter leicht sich verwischt.

und verstärken sich, während sie in den Rippfluten sich gegenseitig schwächen. Von der Mächtigkeit dieses Phänomens der Ebbe und Flut kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man bedenkt, daß nach Bessel's Berechnungen das vom Meere bedeckte Erdviertel während seiner Flutzeit 200 Cubikmeilen Wasser mehr enthält als zur Zeit der Ebbe, und daß eine solche Wassermasse während $6\frac{1}{4}$ Stunden von einem Erdviertel zum andern fließen muß.*) Mayer machte zuerst auf den Zusammenhang dieser Erscheinung mit dem Gesetze „der Erhaltung der Kraft“ aufmerksam. Die Flutwelle, da sie der Erdrotation entgegenwirkt, muß durch die überall stattfindende Reibung und durch den Stoß gegen die festen Wandungen des Meeres eine Verzögerung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde hervorbringen, die ihr nicht ersetzt wird, da die durch Reibung und Stoß entwickelte Wärme nicht wieder zur Vermehrung dieser Geschwindigkeit benützt werden kann. Die scharfsinnigen Untersuchungen und Berechnungen verschiedener Forscher — Adams, Hansen, Delaunay, W. Thomson — haben in neuerer Zeit Mayer's Angaben bestätigt. Nach Delaunay**) beträgt die Verzögerung, welche die Erde in ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit durch diese Reibung erleidet, in 100000 Jahren eine Secunde, allerdings eine so kleine Größe, daß vorläufig und auf lange Zeit hinaus die Dauer des Tages nicht merklich dadurch beeinträchtigt wird, aber im Laufe der Zeit wird auch sie sich summieren und nach 8640000000 Jahren (der Tag hat 86400 Secunden) würde, wenn nicht inzwischen das Meer eingefroren, eine vollständige Vernichtung dieser Rotationsbewegung eingetreten und Tag und Nacht verschwunden sein. Ähnliche Erscheinungen werden auch auf andern Planeten sich wiederfinden, die mit Wasser versehen sind.***)

Die Völker des Alterthums waren von einer tiefen Ahnung erfüllt, wenn sie die Sonne als Quelle alles Daseins betrachteten und als Schöpferkraft verehrten. Die Sonne ist in der That der Urquell fast aller Veränderungen auf der Erde. Die neuere Naturwissenschaft hat das in viel großartigerer Weise bestätigt, als wohl jemals die kühnste Phantasie des Menschen sich es hat vorstellen können.

Die Physik hatte schon längst, seit Young und Fresnel, festgestellt, daß Sonnenschein nichts anderes ist als Bewegung und zwar wellenartig sich fortpflanzende schwingende Bewegung, des, wie gesagt, überall im Raume verbreitet zu denkenden Lichtäthers. Man unterscheidet im Sonnenlichte chemische Strahlen, Lichtstrahlen und Wärmestralen, die sich durch die Schnelligkeit der Oscillationen der in ihnen schwingenden Aethertheilchen unterscheiden. Treffen diese Strahlen einen Körper, der auf ihrem Wege sich befindet, so pflanzt sich die Bewegung entweder fort durch die Aethertheilchen, die zwischen den Molekülen des Körpers sich befinden, oder sie überträgt sich auf diese Moleküle selbst, so daß der Körper dann ent-

*) Helmholtz, Wechselwirkung der Naturkräfte.

**) Delaunay. Sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre. Paris. 1866.

***) Auf dem Mars hat man Spuren von Wasser und Eis entdeckt.

weder leuchtet oder vorzugsweise erwärmt oder zu chemischer Thätigkeit erweckt wird. Welcher von diesen Vorgängen stattfindet, oder wie dieselben sich auf die verschiedenen im Sonnenlichte enthaltenen Stralengattungen vertheilen, hängt von der Natur des getroffenen Körpers ab. Wahrscheinlich ist, daß alle drei Stralengattungen, wenn auch in verschiedenem Grade, jede der genannten Wirkungen hervorbringen können, da ein principieller Unterschied zwischen ihnen nicht existiert.

Die von der Sonne ausgestrahlte Wärmemenge ist von J. Herschel am Cap der guten Hoffnung und von Pouillet in Paris gemessen. Die Resultate beider Berechnungen, auf den Zenith-Stand der Sonne reducirt, stimmen nahezu überein. Herschel fand, daß die directe Wärmewirkung der im Zenith stehenden Sonne auf der Meeresoberfläche eine Schicht Eis von 0,00754 Zoll Dicke in der Minute schmelzen könne, während Pouillet 0,00703 Zoll angiebt.*) Die gesammte von der Sonne im Laufe eines Jahres ausgestrahlte Wärme ergiebt sich daraus gleich der Wärme, wie sie die Verbrennung einer Kohlschicht von $3\frac{1}{2}$ Meilen Dicke, rings um die Sonne gelegt, liefern würde. Von dieser Wärme wird nur ein kleiner Theil von der Erde aufgefangen, nur $\frac{1}{2.300.000.000}$ der ganzen Ausstrahlung, der sich je nach der Stellung der Erdoberfläche zur Sonne verschieden auf ersterer vertheilt findet. Die Aendrehung und der Umlauf der Erde um die Sonne sind die zweckmäßigen Regulatoren dieser Vertheilung, Tag und Nacht, sowie der Wechsel der Jahreszeiten ihre Folgen.

Die stärkste Erwärmung erfährt die Erde in der Gegend des Aequators, weil dort die Sonnenstralen senkrecht die Erdoberfläche treffen. Die erwärmte Luft jener Gegenden steigt in die Höhe und fließt oben zu beiden Seiten des Aequators nach den Polen ab, während unten von den Polen her kalte Luftströme die entstandene Lücke ersetzen. So entstehen unter Mitwirkung der Aendrehung der Erde die regelmäßig wehenden Passate jener Zone. Die veränderlichen Winde in den höheren Breiten sind zum Theil Folgen dieser Strömungen, des Kampfes, der sich entwickelt, wenn bei ihrem Zusammentreffen der obere und der untere Passat um die Herrschaft streiten, zum Theil verdanken sie ihr Dasein einer anderweitigen Verschiedenheit in der Erwärmung der Erdoberfläche, wie die Vertheilung von Land und Wasser und die Verschiedenheit des festen Erdbodens selbst sie bedingt. Nach dem Gesetze der Erhaltung der Kraft muß sich die lebendige Kraft der Sonnenstralen, die verbraucht wird, um die Winde zu erzeugen, in der Bewegung derselben erhalten finden. Der brausende Orkan, wie der leise wehende Westwind, sind also Kinder der Sonnenstralen. Unsere Windmühlen werden in letzter Instanz durch die Kraft der Sonnenstralen getrieben und unsere Segelschiffe durchfahren den Ocean auf ihre Kosten. Auch die Strömungen des Meeres außer Ebbe und Fluth verdanken zum Theil den Winden und somit den Sonnenstralen ihr Dasein, und selbst der Compaß, der dem Schiffer den Weg weist durch die Deden des Meeres, erhält seine richtende Kraft durch die Sonne, denn der Magnetismus

*) Tyndall. Die Wärme. Seite 598.

ist wahrscheinlich eine Folge der beständigen electricischen Ströme, welche die Reibung der Passate an der Erdoberfläche erzeugt.*)

Nur ein Theil der lebendigen Kraft der Sonnenstralen wird indeß zur Erwärmung der Atmosphäre und der hierdurch in ihr erzeugten Bewegungen verbraucht, ein anderer größerer Theil bleibt als Wärme an der Erdoberfläche zurück und ruft dort sowohl im Wasser als auf dem Lande neue Erscheinungen hervor.

Der Golfstrom, der die Küsten des nordwestlichen Europas erwärmt, wie der kalte Polarstrom, der die zahlreichen Fische an Neufundlands Küste führt, nehmen ihren Ursprung aus dieser weiteren Thätigkeit der Sonnenstralen. Aehnliche Ströme finden sich in andern Meeresstheilen. Sie werden erzeugt durch die verschiedene Erwärmung des Wassers in niederen und höheren Breiten und durch die in Folge hiervon stattfindende größere Verdunstung des Wassers in äquatorialen Gegenden, wofür ein Ersatz durch Zufluß von den Polen her stattfinden muß, ähnlich wie bei den Passaten in der Luft.

Die Masse des Wassers, das durch die Wärme verdunstet wird, ist eine bedeutende. Man schätzt die hierfür verbrauchte Kraft auf ein Drittel der Wärme, welche die Erde von der Sonne erhält. Die Luft, vom Winde bewegt, nimmt das verdunstete Wasser auf und führt es als Wolken, Schnee, Regen oder Hagel auf die Berge und in die Thäler, so daß organisches Leben gedeihen kann an Stellen, deren Dürre sonst weder Pflanze noch Thier das Dasein gestattete. Quellen, Bäche und Flüsse sammeln das so vertheilte Wasser — wenn es nicht zunächst als Schnee auf den Bergen liegen bleibt, um dann als Gletscher ins Thal zu gleiten — und lassen es zum Meere zurückströmen, von dem es seinen Ursprung nahm. Das in der Höhe befindliche Wasser hat in sich einen gewissen Vorrath von Arbeitskraft, den es den Sonnenstralen entnommen, die es aufwärts führten. Diesen Vorrath giebt es wieder aus, während es abwärts fließt, wie das sinkende Gewicht unserer Wanduhren die Arbeitskraft verbraucht, welche ihm beim Aufziehen der Uhr durch unsere Muskelkraft verliehen wurde. Das fließende Wasser ist die billigste Arbeitskraft, welche die Natur uns unmittelbar zu Gebote stellt. Man hat sie seit alten Zeiten bereits zu verwerthen verstanden.**) Unsere Wassermühlen und Hammerwerke benutzen indeß, wo sie vorhanden, nur einen sehr kleinen Theil des im fließenden Wasser enthaltenen Kraftvorraths; der größere Theil desselben geht immer durch Reibung und Stoß des Wassers gegen die feste Erdrinde verloren oder verwandelt sich in die lebendige Kraft des strömenden Wassers, mit der es im Meere anlangt, um hier seine Bewegung auf eine größere Masse zu übertragen, deren

*) Eine Vermuthung, die Mayer auf der Naturforscher-Versammlung zu Innsbruck aussprach, und mit der Zeit beweisen zu können glaubt.

***) Bei den Römern wurden die Wassermühlen zur Zeit der ersten Kaiser eingeführt.
Helmholz. Erhaltung der Kraft.

lebendige Kraft durch die Reibung schließlich in Wärme verwandelt wird, wenn nicht vorher eine neue Verdunstung stattfindet.

Wir sehen also, Wind und Wetter und die Vertheilung des Flüssigen auf der Erde ist eine Wirkung der Sonnenstrahlen. Der Einfluß dieser Factoren auf das organische Leben liegt auf der Hand. Noch bedeutender übrigens ist die directe Einwirkung der Sonne auf dasselbe. Der greise Stephenson, der Erfinder der Locomotive, fragte einst den Geologen Buckland, als sie sich unterhaltend im Park von Robert Peel spazierten und zufällig ein Eisenbahnzug vorbeifuhr: von welcher Kraft er wohl glaube, daß diese Masse mit so großer Geschwindigkeit dahin geführt werde? Buckland antwortete lächelnd: das ist eure Locomotive. Aber was giebt der Locomotive die Kraft? erwiderte Stephenson. Natürlich die Hitze der Steinkohlen, die den Dampfkessel erwärmt und das Wasser verdampft, meinte Buckland. Aber, fuhr Stephenson fort, woher hat denn die Kohle die Kraft? Was mich betrifft, fügte er hinzu, so bin ich überzeugt, es ist die Kraft der Sonne, die Wärme und das Licht ihrer Strahlen, die in der Kohle fixiert sind, seit die Pflanzen, aus denen sie hervorgegangen, unter der erwärmenden und beleuchtenden Kraft der Sonne lebten und athmeten. — So ist es in der That. Was Stephenson nur ahnen konnte, hat die Wissenschaft gegenwärtig bestätigt.

Die Pflanze ernährt sich, außer von einigen wenigen Bestandtheilen, die ihr der Erdboden liefert, namentlich von Kohlensäure, Wasser, Ammoniak und bereitet daraus die pflanzlichen Stoffe, Stärkemehl, Zucker, Fett, Eiweiß &c. In den ersteren Verbindungen sind die Elemente, Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, fester mit einander vereinigt als in den letzteren. Es gehört also eine gewisse Kraft dazu, jene zu trennen. Diese Kraft gewähren die Sonnenstrahlen. In den grünen Blättern der Pflanzen werden die blauen, violetten und auch gelben Strahlen des Sonnenlichts absorbiert und die lebendige Kraft derselben zur Bereitung von chemischer Spannkraft, namentlich zur Trennung des Sauerstoffs vom Kohlenstoff und Wasserstoff benutzt. Daher die Kühle des Waldes und seine erquickende, belebende, sauerstoffreiche Luft. Es fehlen allerdings noch die quantitativen Messungen, die nachweisen, daß die lebendige Kraft der verschwundenen Sonnenstrahlen dem während derselben Zeit angehäuften chemischen Kraftvorrathe entspricht. Es ist aber nicht zu zweifeln, daß dem Gesetze der Erhaltung der Kraft auch hier Genüge geschieht.

Die Thiere leben von den Pflanzen oder von pflanzenfressenden Thieren. Die Sonnenkraft, die in den Pflanzen aufgespeichert ist, geht also durch die Nahrung schließlich in den thierischen Leib über, so daß wir nicht mit Unrecht Dasein, Kraft und Leben auch der Thierwelt auf die Sonne zurückführen können.

Die Unerläßlichkeit der Aufnahme von Nahrungsmitteln für die Fortdauer des Lebens ist natürlich von jeher den Menschen bekannt gewesen, von der eigentlichen Bedeutung derselben aber für das Leben wußte man früher sehr wenig. Den Hauptzweck der

Nahrung sah man in dem Aufbau und der Erhaltung des Körpers, während man die ganze lebendige Thätigkeit desselben bis in die neueste Zeit nicht anders als durch die Annahme einer besonderen Lebenskraft erklären zu können glaubte. Der Fortschritt der Wissenschaft hat endlich auch hier Licht gebracht.

Die Entdeckung Lavoisier's über die Bedeutung des Sauerstoffes für den Verbrennungsproceß hatte es bereits möglich gemacht, die constante Blutwärme des menschlichen Körpers als eine Folge der Verbrennung der Nahrungsmittel in unserem Körper zu erkennen. Diese Verbrennung findet Statt im arteriellen Blute, das in der Lunge mit dem eingeathmeten Sauerstoffe sich mischt. Hier vereinigen sich Kohlenstoff und Wasserstoff wieder mit dem von ihnen getrennten Sauerstoff. Durch die chemische Verwandtschaft getrieben stürzen die Atome dieser Elemente mit großer Energie auf einander und gerathen beim Zusammenprallen in die zitternde Bewegung, welche als Wärme sich uns kund thut. — Die Nahrungsmittel liefern aber nicht allein das Material für die Wärme unseres Körpers, sondern auch für jede Thätigkeit, die wir verrichten. Die contractile Muskelfaser, die mit arteriellem Blute durchsetzt ist, verwandelt die durch den Verbrennungsproceß in ihm entwickelte chemische Arbeit nur zum Theil in Wärme, zum andern Theil in mechanische Arbeit, welche letzterer Vorgang wahrscheinlich unter Vermittlung von electrischen Processen — ohne das Mittelglied der Wärme — statt hat. Professor Ludwig in Wien hat durch das Experiment so zu sagen diese Verwandlung nachgewiesen, indem er zeigte, daß das arterielle Blut, das einen Muskel im gewöhnlichen nicht contrahierten Zustande durchfloss, als venöses Blut noch $7\frac{1}{2}\%$ Sauerstoff enthielt, während der contrahierte Muskel dem hindurchgeflossenen Blute fast allen Sauerstoff entzogen hatte. *)

Nach dem Gesetze der Erhaltung der Kraft müssen wir erwarten, den gesammten in den vom Körper verwertheten Nahrungsmitteln enthaltenen Kraftvorrath in diesem wiederzufinden. Einige schätzenswerthe Untersuchungen über diesen Gegenstand sind ausgeführt von Dulong, Desprez, Frankland, Hirn und anderen. **) Sie sind natürlich äußerst schwierig, da die chemische Thätigkeit im Innern des Körpers uns noch wenig bekannt ist. So viel steht aber fest, es existiert kein Versuch, der dem Gesetze der Erhaltung der Kraft widerspräche. Ist dasselbe auch hier durchaus gültig, so ist damit die Frage der Lebenskraft wissenschaftlich als vollständig entschieden anzusehen. Dieselbe kann dann nicht als besondere in die körperlichen Functionen eingreifende Kraft existieren, da ihre Wirksamkeit doch irgendwie fördernd oder hemmend die Thätigkeit der übrigen Kräfte des Körpers beeinflussen müßte. ***)

*) Tyndall, Die Wärme, S. 618.

**) Siehe Adolf Fick, Die Naturkräfte in ihrer Wechselbeziehung.

***) Eine ausführliche Widerlegung der für die Annahme einer Lebenskraft aufgeführten Gründe siehe Lotze, Mikrokosmos I. Cap. 3. Lotze schließt Seite 80: Wie wenig die Züge, die man als

„Enthält denn aber der menschliche Körper nicht etwas, das ihn der Kette der Nothwendigkeit, die das Gesetz der Erhaltung der Kraft um die organische Natur schlingt, entzieht?“ fragt Tyndall. Die Antwort lautet: nein. Unser Wille kann wohl leiten und benutzen, aber schaffen und zerstören kann er nichts, so wenig im eigenen Körper, wie in der Natur überhaupt.

„Die Summe der Kraft ist stets dieselbe. In vollem Einklange wirkt sie im Lauf der Jahrhunderte, und alle irdische Kraft, die Aeußerungen des Lebens sowohl wie die mannichfaltige Gestaltung der physikalischen Erscheinungen sind nur die wechselnden Klänge ihrer Harmonie.“

die unterscheidenden Eigenschaften der Lebenskraft hervorgehoben hat, die Annahme derselben nothwendig machen, haben wir umfassender nachgewiesen; welche anderen Gründe uns zu ihr zurückführen sollten, wüßten wir ebenso wenig anzugeben, als den Nutzen, den dieselbe bisher der Wissenschaft gebracht hätte.

