

Über die Bedeutung der Energie in der Naturwissenschaft.

Von Professor Dr. Otto Pilling.

Die Lehre von der Energie nimmt immermehr eine dominierende Stellung in der Technik, in der Physik und sogar in der theoretischen Chemie ein; es dürfte daher angebracht sein in einem Programm, welches doch fast ausschliesslich in die Hände von Schülern und ihrer Angehörigen gelangt, über diesen Gegenstand zu schreiben und zu versuchen einen Begriff von der Sache selbst und ihren so zahlreichen Beziehungen zu allen Teilen der Naturwissenschaften zu geben. Selbstverständlich reicht der Raum nicht im entferntesten für eine erschöpfende Darstellung aus.

Wenn man den Wagen der elektrischen Strassenbahn laufen sieht, so weiss man, dass zu ihm ein Motor, eine Drahtleitung, eine elektrische Centrale mit Dynamo- und Dampfmaschine gehört, und dass letztere geheizt werden muss. Ohne Brennmaterial würde trotz der ganzen complicierten und kostspieligen Einrichtung der Wagen nicht von der Stelle kommen. Heizt man mit Steinkohle, so entsteht Wärme, die als eine Bewegung der kleinsten Massenteilchen des warmen Gegenstandes aufgefasst werden muss. Diese teilt sich dem Wasser des Dampfkessels mit, dies wird zu Dampf, nimmt damit einen viel grösseren Raum ein und schiebt den Kolben der Dampfmaschine hin und her. Durch mechanische Übertragung wird der Anker der Dynamomaschine in schnelle Rotationen versetzt, es entstehen elektrische Ströme, wieder eine nicht sichtbare Bewegung eigentümlicher, noch unbekannter Art. Die erregte Elektrizität fliesst in der Leitung nach dem Motor im Wagen, macht dort die den Motor bildenden Eisenmassen zu Magneten, welche durch ihre Anziehung endlich das vollbringen, was man wünscht, nämlich die Fortbewegung der Wagen und die Beförderung der Personen.

Die Eigentümlichkeit der Kohlenatome zu verbrennen, d. h. sich chemisch mit dem Sauerstoff der Luft zu verbinden hat hier die Möglichkeit dieser Erscheinungen gegeben, die alle auf einer Reihe von teils sichtbaren, teils unsichtbaren von einem Körper auf den andern übertragenen Bewegungen beruhen.

Wenn nun von Übertragungen die Rede ist, so muss der eine Körper, der überträgt, etwas verlieren, der andre etwas bekommen. Das was verbrannt ist, scheint verschwunden zu sein, man könnte demnach geneigt sein zu glauben, dass durch die Vernichtung eines Stoffes die

geschilderten Wirkungen hervorgerufen würden. Dies würde ein grosser Irrtum sein und einem der wichtigsten Naturgesetze widersprechen, nach welchem der Stoff unzerstörbar und unvergänglich ist, auf welchem die ganze moderne Chemie begründet ist, und welches sich in allen Fällen aufs vollständigste bestätigt hat. In unserm Falle findet sich das, was verbrannt ist, vollständig in den Verbrennungsgasen wieder. Die scheinbar verschwundene, zum Heizen verwendete Kohle hat sich mit dem Sauerstoff der Luft zu einem durchsichtigen Gase, zu Kohlensäure verbunden und dabei Wärme entwickelt. Eine wichtige Eigenschaft ist ihr aber verloren gegangen, die sie vor der Verbrennung besessen hatte; man kann nämlich die entstandene Kohlensäure nicht von neuem zum Heizen verwenden.

Das, was ihr so verloren gegangen ist, was sich nach einander auf die Dampfmaschine, die Leitungsdrähte u. s. w. übertragen hat, ist Energie. Die Kohle besitzt Energie, insofern sie fähig ist zu verbrennen, ebenso die laufende Dampfmaschine, elektrisch durchströmte Drähte, heisse Gegenstände, die in der einen oder andern Weise fähig sind Bewegungen hervorzurufen.

Dasselbe Brennmaterial könnte man auch ganz anders verwerten, z. B. zum Heizen von Zimmern, zur Herstellung von Eisen oder Zink aus ihren Erzen, zur Bereitung von Leuchtgas. Es macht sich also dem Menschen in der allerverschiedensten Art und Weise nützlich, weil es imstande ist sich in der angegebenen Weise chemisch zu verbinden. Ist dies geschehen, so existiert der Stoff noch in anderer Gestalt, kein Atom davon ist verschwunden; er ist aber wertlos, weil er seine chemische Energie beim Verbrennen verloren hat.

So, wie in diesem Falle, besitzen auch sonst die Stoffe oft an sich wenig Wert und bekommen ihn erst in Verbindungen oder Lagen, in denen sie Energie besitzen.

Man wird z. B. in das ruhige Wasser eines Teiches keine Tourbine einsetzen, sie würde natürlich nicht gehen; man baut aber mit grossen Kosten Stauweiher, die hoch liegen müssen und deren abfliessendes Wasser dann allerdings Maschinen treiben kann. Hier besitzt das Wasser, weil der Teich hochliegt, Energie der Lage und giebt sie beim Herabfliessen zum teil an eingesetzte Turbinen ab. Nur der Umstand, dass der Stoff, das Wasser, eine bestimmte Lage hat, macht es brauchbar für diese Zwecke; ist es in die Ebene hinab gesunken, so ist wohl die ganze Masse (das Wasser) noch vorhanden, kann aber für die gewünschte Verwendung nicht mehr gebraucht werden.

In der atmosphärischen Luft kommt in ungeheuren Mengen Stickstoff vor; man könnte ihn in beliebiger Menge umsonst haben. Man bezahlt ihn aber teuer in Düngemitteln, wie im Chilisalpeter, und noch viel teurer in unseren Nahrungsmitteln. In der Luft hat der Stickstoff keine freie, chemische Energie, wohl aber in den genannten Verbindungen.

Man hat deshalb wohl auch scherzhaft gesagt, Energie sei das, was bezahlt wird; in vielen Fällen, namentlich auf elektrischem Gebiete, trifft dies auch wörtlich zu.

In dem ersten Beispiel sollte gezeigt werden, wie eine Energiequelle, der Brennstoff, die verschiedensten Bewegungen hervorruft, wie sie sich der Reihe nach in einander verwandeln und von dem einen Körper auf den andern übergehen. Die ganze Aussenwelt tritt uns überhaupt entgegen als ein System von Bewegungen oder Zuständen, die solche hervorzurufen vermögen. Wenn wir etwas sehen, werden unsre Augen, wenn wir hören, unsre Ohren durch eigentümliche Schwingungen getroffen, wenn wir tasten, so tritt der Bewegung unsrer Finger ein Hemmnis entgegen, und ähnlich verhält es sich bei Wärmeempfindungen, bei Geruch und Geschmack.

Alles, was uns umgiebt, ist unaufhörlich in Bewegung irgend einer Art, mag sie äusserlich

sichtbar sein, oder die Gegenstände ruhend erscheinen. Eine angeschlagene Klaviersaite scheint zu ruhen, bei genauerer Betrachtung bemerkt man schon mit blossen Auge, noch mehr durch das Gefühl, dass sie schnell hin und herschwingt. Diese Bewegung überträgt sie an die Luft, und wir nehmen, wenn die so übertragenen Schwingungen an unser Ohr gelangen, sie als Töne wahr. Hier kann man sich noch leicht von dem Vorhandensein der Schwingungen überzeugen, in andern Fällen gelingt dies nicht mehr. Ein kupferner Leitungsdraht sieht genau so aus, mag er vom elektrischen Strom durchflossen werden oder nicht, man wird auch beim Betasten in der Regel keinen Unterschied finden, und doch weiss man, dass etwas in ihm fliesst, sich also bewegt. Der Stein, der am Wege liegt, scheint so unbeweglich, wie nur möglich, gleichwohl ist bekannt, dass seine kleinsten Teilchen mit einer Schnelligkeit um gewisse feste Lagen oscillieren, die sich ganz gut mit der von Büchsenkugeln vergleichen lässt. Die tastenden Finger können diese Bewegungen empfinden, wir bemerken nämlich eine mit ihrer Schnelligkeit wachsende Wärme.

Da nun alle Körper mit den ihnen benachbarten mehr oder weniger im Zusammenhang stehen, so zieht der eine den andern, das kleinste Teilchen das ihm nahe liegende in Mitleidenschaft, und deshalb übertragen sich die Bewegungen von der einen Stelle zur andern, von dem einen Stoff auf den andern unter Veränderungen und Umwandlungen der allerverschiedensten Art.

Zu einer Bewegung gehört notwendigerweise etwas, was sich bewegt, und dies bezeichnet man als Masse oder Materie. Man hat wohl vermutet, oder besser gesagt, gewünscht, dass im Grunde genommen die verschiedenartigen Stoffe unter sich gleich seien, dass nur durch wechselnde Gruppierungen und Bewegungen die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen hervorgerufen würde. Dann müssten sich schwere und leichte, glänzende und unscheinbare, giftige und harmlose Körper nur dadurch unterscheiden, dass ihre unter sich völlig gleichen, kleinsten Teile anders geordnet oder anders bewegt wären. Manches spricht ja für diese Auffassung. Wenn wir sehen, wie der zum Leben unentbehrliche Sauerstoff sich mit unschädlicher Kohle zum tödlichen Kohlenoxyd, mit Aluminium zu dem durchsichtigen, glänzenden Rubin verbindet, wie überhaupt bei der chemischen Vereinigung die Eigenschaften der sich verbindenden Körper total verändert erscheinen, so möchte man wohl glauben, dass erstere nicht vom Stoff, sondern nur von seiner Zusammensetzung abhängen.

Aber die Körper zeigen doch auch Unterschiede, die noch nicht auf Lagenverhältnisse haben zurückgeführt werden können.

Man kann die Materie in zwei wohl wesentlich von einander verschiedene Arten einteilen, zunächst in Massen, die der Schwere unterworfen sind, die also von der Erde, der Sonne, dem Monde angezogen werden und sich gegenseitig anziehen. Sie sind es, die sich zu den Weltkörpern zusammengeballt haben, aus denen unsre Erde mit allem, was sich auf ihr befindet, besteht, die also auch unsre ganze sichtbare Welt ausmachen. So verschiedenartig sie auch erscheinen, so weiss man doch, dass sie alle aus einer verhältnismässig geringen Anzahl sogenannter Elemente bestehen, zu denen alle Metalle, die beiden Hauptbestandteile unsrer Luft u. s. w. gehören, die, wenn sie auch gelegentlich in verschiedenen Formen erscheinen, doch nicht weiter zerlegt werden können.

Man hat Grund anzunehmen, dass diese aus unter sich gleichartigen, getrennten Teilen, den sogenannten Atomen, bestehen, welche freilich dem Auge nie, auch nicht mit dem denkbar besten Mikroskop sichtbar gemacht werden können, weil ihr Durchmesser viel geringer als die kürzeste Wellenlänge des Lichtes ist.

Die Erde besteht also aus einer ausserordentlich grossen Zahl von Eisen-Schwefel-Sauerstoffatomen u. s. w., durch deren nach bestimmten Gesetzen erfolgende Zusammenstellung die Gesteine, das Wasser, die Pflanzen, kurz alles, was sich auf der Erde befindet, entsteht. Es giebt demnach ebenso viele Arten von Atomen, als Elemente, und bisher ist man nicht imstande gewesen eine Art in die andre zu verwandeln, man kann z. B. nicht Gold aus Eisen bereiten, so wie man etwa Wasser aus Sauerstoff und Wasserstoff herzustellen imstande ist. Die oben erwähnte Annahme der völligen Gleichheit der Materie hat sich bis jetzt nicht beweisen lassen.

Die Atome scheinen unvergänglich und unzerstörbar zu sein. Man hat nämlich gefunden, dass bei den verschiedensten Umwandlungen, Verbindungen, Zersetzungen kein Stoff verschwindet oder neu entsteht; denn das gesamte Gewicht der hierbei in Betracht kommenden Massen bleibt stets unverändert, dies hat sich auch bei den compliciertesten chemischen Analysen und Synthesen bestätigt.

Wenn wir sehen, wie ein Stück Holz vom Feuer verzehrt wird, so ist dies ebensosehr Schein, als wenn wir glauben, Wasser verschwinde nach und nach aus einem offenen Gefäss. In Wirklichkeit finden wir das Wasser als solches und das Holz zum teil mit Sauerstoff verbunden als durchsichtige Gase in der umgebenden Luft und können sie auch durch geeignete Mittel auffangen. Sind die Atome unveränderlich, so wird auch die ganze aus ihnen bestehende Materie wohl verschiedene Formen annehmen; aber nicht der kleinste Teil verschwindet oder kommt hinzu. Dieses Naturgesetz wird das Gesetz von der Constanz der Materie genannt.

Die Räume zwischen den einzelnen Himmelskörpern sind scheinbar leer; denn der unbegrenzte Zeit hindurch dauernde Lauf der Himmelskörper wird in keiner Weise aufgehalten, trotzdem sich diese sehr schnell bewegen, so wie etwa die Sternschnuppen, bei denen die dünnste Luft hinreicht, um unter intensiver Wärmeentwicklung ihren Lauf nach kaum einer Sekunde zu hemmen. Ferner weiss man, dass beim Untergang die Sonne sich gelblich bis rot färbt, weil bei dem nur wenige Meilen langen Durchgang durch die Atmosphäre Lichtarten absorbiert werden. Man hat aber nicht bemerkt, dass etwa sehr entfernte Sterne, von denen das Licht erst in Tausenden von Jahren zu uns gelangt, allgemein gelblich oder rötlich erscheinen. Es kann also auf dem ungeheuer langem Wege wohl nicht merklich Licht absorbiert werden.

Trotzdem müssen wir annehmen, dass auch die zwischen den Sternen liegenden Räume vollständig von Materie erfüllt sind. Denn durch sie geht das Licht, welches man mit sehr triftigen Gründen für eine Wellenbewegung hält. Nun sind Wasserwellen gewiss nicht ohne Wasser denkbar, ebenso wenig sind Lichtwellen denkbar ohne einen Stoff, der ihr Träger ist, der ebenso weit und zwar wohl mit gleicher Dichte (sonst dürften niemals bemerkte Brechungserscheinungen eintreten) reicht als das Licht. Dieser Stoff wird Äther genannt.

Er absorbiert anscheinend gar kein Licht, die Himmelskörper gehen durch ihn, ohne irgend wie gehemmt zu werden, hindurch und doch können, wenn er aus getrennten Teilen bestehen sollte, diese jedenfalls nicht allzuweit von einander entfernt sein, wegen der geringen Länge der Lichtwellen. Neuerdings weiss man, dass er der Sitz von elektromagnetischen Vorgängen (Herz'schen Wellen) ist. Man hat Grund zur Annahme, dass er alle Körper durchdringt, also auch die Räume zwischen ihren Atomen ausfüllt. Die vielgenannten Kathoden- und Röntgenstrahlen mögen ebenfalls Bewegungen des Äthers sein. Demnach besteht das Universum aus Atomen und aus Äther.

Die Körper üben nun aufeinander gewisse Wirkungen aus, sie ziehen sich an, stossen sich

ab, bewirken dadurch Orts- und Lagenveränderungen, sowie Bewegungen der verschiedensten Art. Mit den Bewegungen der Materie treten uns nun ebenso viele Energieformen entgegen, die in der mannigfaltigsten Weise sich in einander verwandeln, übertragen, scheinbar sogar verschwinden. Die Masse bildet die Trägerin der Energie, die Kräfte, mit denen die Stoffteilchen aufeinander wirken, bringen die Verwandlung und Übertragung der Energie von Ort zu Ort, von Körper zu Körper zu Stande. Von den verschiedenen Arten derselben sollen zunächst nur einige aufgezählt werden. Man spricht von chemischer Energie bei Stoffen, die verbrennen, von elektrischer Energie, von Energie der Bewegung z. B. bei strömendem Wasser, bei einem geworfenen Steine. Jedenfalls kann man 2 Hauptarten unterscheiden. Energie der Lage (potentielle) besitzen Körper, die selbst ruhend im Stande sind Bewegungen hervorzurufen, also ein hochliegender Stein, der fallen kann, ein Accumulator, der einen elektrischen Motor zu treiben vermag, Zink, welches sich unter Wärmeentwicklung in Säuren lösen lässt, eine gespannte Feder, Schiesspulver, ein mit Elektrizität geladener Conduktor, der kleine Hollundermarkkugeln anzieht oder abstösst. Energie der Bewegung besitzen Körper, die sich im ganzen oder in ihren Teilen bewegen. Diese besitzt also auch ein Raum, durch den Schall- oder Lichtwellen gehen, so lange diese Schwingungen dauern. Dasselbe gilt von der Wärme, die als eine unregelmässige mehr oder weniger schnelle Bewegung der Atome aufgefasst wird. Von letzterer ist die Temperatur abhängig, so dass sie um so höher erscheint, je schneller, um so niedriger, je langsamer sich die Atome bewegen. Ein Körper erscheint im ersteren Falle mit wachsender Schnelligkeit warm, heiss, glühend, mit abnehmender immer kälter. Der grösste denkbare Kältegrad entspricht dem Zustande, in welchem gar keine Bewegungen dieser Art vorhanden sind, also der völligen Ruhe. Man nimmt an, dass er bei -273° Cels. liegt und zählt von ihm an die (sog. absolute) Temperatur, gewöhnlich mit T bezeichnet (also bei 0° Cels. ist $T = 273$, bei 100° $T = 373$, bei -73° hat man immer noch $T = 200$.)

Man wird finden, dass in den exakten Naturwissenschaften oft die Klarheit der Gesetze und ihre Tragweite erst dann hervortritt, wenn man sie der Rechnung unterwirft. Dies ist aber nur möglich, wenn man sie messen kann, und deshalb sind die Masse der Energie von grösster Bedeutung. Eins derselben ist die sogenannte äussere Arbeit. Was versteht man darunter? Fragt man nach dem Preise für das Herschaffen von Steinen oder Holz zu einem Bau, so überlegt man sich, wie viel und wie weit befördert werden muss, und berechnet die zu bezahlende Arbeit unter sonst gleichen Umständen nach dem Produkt aus Last und Weg, oder, da die aufzuwendende Kraft der Last entspricht, nach dem Produkte aus Kraft und Weg. Dem entsprechend drückt man auch in der Physik die Arbeit aus als das Produkt aus einer Kraft und der Strecke, längs der sie wirksam ist. Ein hochliegendes Gewicht kann beim Fallen ein Uhrwerk treiben, also Arbeit leisten, wieviel diese beträgt, berechnet sich aus seinem Gewicht und aus der Strecke, die es beim Fallen zurücklegen kann. Wiegt es 1 Kilogr., und fällt es 1 m herab, so leistet es eine Arbeit von 1 Kilogramm-meter, bezeichnet mit Kgr. m. Dies dient häufig als Mass für die Arbeit. Ein Gewicht von 3 kgr, welches 2 m tief fallen kann, besitzt also Energie der Lage und zwar entsprechend einer Arbeit von 6 Kgr. m. Ein anderes viel verwendetes Mass ist die Pferdekraft 75 Kgrm.

Unser Uhrgewicht bewegt sich ganz langsam herab, wenn es ein Räderwerk in Bewegung setzen soll, und erreicht den Boden mit einer kaum nennenswerten Geschwindigkeit. Ganz anders ist es, wenn es nichts zu thun hat, also auch keine Reibung irgend einer Art überwinden muss.

Dies ist der Fall, wenn es frei fällt; dann wird seine Geschwindigkeit von Sekunde zu Sekunde grösser und lässt sich leicht aus den bekannten Fallgesetzen berechnen. Es leistet dann keine Arbeit, seine potentielle Energie geht vollständig in Bewegungsenergie über, und, da man einerseits weiss, wie viel es Arbeit leisten könnte, andererseits eine Beziehung zwischen der Fallhöhe und der Geschwindigkeit sich aus den Fallgesetzen ergibt, so erhält man hieraus ein Mass für die kinetische (Bewegungs)-Energie. Ist G das Gewicht, also die herunterziehende Kraft, M die ihm entsprechende Masse des Körpers, h die durchfallene Höhe, v die erlangte Geschwindigkeit, so ist die Arbeit $G \cdot h$; man findet aber auch aus den Fallgesetzen $G \cdot h = \frac{M v^2}{2}$.

Für $M v^2$ hat man eine bestimmte Bezeichnung, lebendige Kraft, ja nicht zu verwechseln mit dem ganz verschiedenen Begriffe Kraft.

Die Begriffe Masse, Geschwindigkeit, Kraft, Beschleunigung kommen sehr häufig in der Physik vor, und man benutzt zu ihrer Bestimmung gewöhnlich die sogenannten drei Grundmasse, Sekunde, Centimeter, Gramm.

Mit Geschwindigkeit v bezeichnet man die in einer Sekunde zurückgelegte Strecke. Ist also $v = 5$, so bedeutet es, dass der Körper in einer Sekunde 5 cm zurücklegt. Gewöhnlich ändert sich die Schnelligkeit der Bewegung immerwährend, dann bestimmt man die in einem möglichst (unendlich) kleinen Zeitteilchen (dt) zurückgelegte, natürlich entsprechend kleine Strecke (ds) und bildet die Proportion v (cm): ds (cm) = 1 Sek.: dt Sek., heraus $v = \frac{ds}{dt}$. Werden

also in $\frac{1}{100000}$ Sek. $\frac{4}{10000}$ cm zurückgelegt, so kann man annehmen, dass in dieser kleinen Zeit sich die Geschwindigkeit nicht sehr ändert, man hätte dann $v = \frac{4}{10000} : \frac{1}{10000000} = 40$ cm.

Beschleunigung ist der in einer Sekunde erreichte Zuwachs von Geschwindigkeit. Hat also eine bewegte Masse am Ende einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 100 cm, am Ende der folgenden eine solche von 1081 cm, so ist die Zunahme, also die Beschleunigung 81 cm. Beim freien Fall tritt diese hier angenommene Zunahme wirklich ein, man bezeichnet hier die Beschleunigung, die eine Folge der Schwere ist, mit g , also $g = 981$ cm. Bei ungleichförmigen Beschleunigungen müsste man ähnlich verfahren, wie bei der Geschwindigkeit.

Kraft ist das Produkt aus Masse und Beschleunigung, demnach etwas ganz anderes als lebendige Kraft.

Die Masse berechnet man aus einer bekannten Kraft, am einfachsten aus der Schwere oder dem Gewicht G des Körpers, nach der Definition der Kraft hat man $G = M \cdot g$. (Masse mal Beschleunigung der Schwere), also $M = \frac{G}{g}$. Bezeichnet ein Gramm den auf die Wagschale ausgeübten Druck des benutzten Körpers, so ist seine Masse $\frac{1}{981}$.

Nicht selten versteht man aber unter dem Worte Gramm nicht den Druck, sondern den Körper, durch den er entsteht, dann bedeutet Gramm eine Masse, und in diesem Sinne versteht man darunter die Masseneinheit.

Die Beziehung der lebendigen Kraft zur Arbeit ($\frac{M v^2}{2} = G h$) gestattet nun auch Energie bewegter Massen durch die Arbeit zu bestimmen.

Bisweilen geht die eine abwechselnd in die andre über, so beim Pendel. So lange dies

festgehalten wird, besitzt es Energie der Lage, lässt man es los, so verwandelt sich diese immermehr in lebendige Kraft. Die Umwandlung ist vollständig, wenn der tiefste Punkt erreicht wird, dann kehrt sich das Verhältnis um. Allmählich kommt das Pendel zur Ruhe; da Reibung nie ganz fehlt und die Luft immer bei Seite geschoben werden muss, so überträgt sich die Energie immermehr auf die Umgebung.

Wir wollen nun durch ein Gewicht von 106 Kgr. ein kleines, in Wasser befindliches Schaufelrad treiben lassen, so dass es die Flüssigkeit umrührt. Steht dem Gewicht eine Fallhöhe von 4 m zur Verfügung, so können wir damit eine Arbeit von 424 Kgrm. auf das Wasser vollständig übertragen, wenn von der Reibung abgesehen werden kann. Ist das Gewicht abgelaufen, so steht das Rad und bald darauf die Flüssigkeit still. Die Energie hat sich in diesem Falle wieder in eine andre Form, in Wärme, verwandelt. Man bemerkt nämlich eine, wenn auch nicht gerade grosse Temperatursteigerung, die natürlich von der Menge des umgerührten Wassers abhängt. Beträgt seine Masse ein Kgr., so nimmt die Temperatur um 1° Cels. zu.

Der Arbeit von 424 Kgrm. entspricht demnach eine Wärmemenge, die im Stande ist, 1 Kgr. Wasser um 1° Cels. zu erwärmen („mittlere Calorie“), wenn die Temperatur $15\text{--}17^{\circ}$ beträgt.

Man nennt sie Wärmeeinheit oder Calorie, und auch sie dient sehr oft als Mass der Energie, namentlich bei chemischen Processen. Es wurde bereits erwähnt, dass Körper, die verbrennen können, Energie der Lage besitzen, die bei der Verbrennung andre Formen annimmt. Ähnlich ist es bei chemischen Umwandlungen überhaupt, z. B. wenn Stoffe sich vereinigen oder trennen, aufgelöst oder aus Lösungen ausgeschieden werden. In allen Fällen kann man die bei solchen Vorgängen frei werdende Energie vollständig in Wärme verwandeln, und die Anzahl der Calorien, die man erhält, die sogenannte Wärmetönung einer chemischen Reaktion, giebt die Änderung der Energie des Systems an. Ein Kgr. Zink in Schwefelsäure aufgelöst giebt etwa 586 Wärmeeinheiten, entsprechend einer Arbeit von 580.424 Kgrm, ein Kgr. Wasserstoff liefert nicht weniger als 68 400 Cal. Man kann sich daraus eine Vorstellung machen, eine wie grosse Energiemenge bei derartigen Processen zum Vorschein kommt.

Elektrische Energie wird nach Voltampère gemessen. Die Zahl der Ampère giebt hier die strömende Elektrizitätsmenge und die Zahl der Volt. die Grösse der Kraft, welche die Bewegung verursacht, an. Was strömt, weiss man in diesem Falle ebensowenig, als wie schnell die Bewegung ist (wenigstens bei Leitern 1. Klasse), aber die Energie kann man messen, man braucht nur zu beobachten, wie viel Wärme ein durchflossener Draht abgiebt. Ein Voltampère entspricht $\frac{1}{736}$ Pferdekraft, demnach könnte ein Strom von 1 Amp. und 736 Volt., oder von 2 Amp. und 368 Volt. etc. eine Arbeit von 75 Kgrm. leisten.

Bei unsern Glühlampen von 8 Kerzenstärken geht eine Elektrizitätsmenge von etwa $\frac{24}{110}$ Ampère durch einen dünnen Kohlenfaden, bei einer Spannung von 110 Volt. Die letzteren bilden das Mass für die Kraft, die die Elektrizität durch den Faden treibt. Die ganze Energie ist hier 24 V. A., sie wird vollständig in Wärme umgewandelt, und ein Teil davon, leider nicht die ganze Wärme, überträgt sich als Lichtschwingungen auf die Umgebung und bildet so die verlangte Energieform.

Bei diesen Massangaben war ein wichtiges Gesetz stillschweigende Voraussetzung, was nun näher betrachtet werden soll. Es hat früher nicht an Versuchen gefehlt Maschinen herzustellen, die ohne weiteres Arbeit liefern sollten. Man hätte dann keine Brennstoffe, keine Wasserkräfte

mehr nötig gehabt, man hätte die Erfindung gemacht Energie zu schaffen. Aller Aufwand von Mühe und Arbeit ist in dieser Hinsicht vergebens gewesen, und mit Recht hat man daraus geschlossen, dass das erstrebte Ziel unerreichbar ist, und weitere Betrachtungen führten zu dem wichtigen Satz, dass Energie ebenso unvergänglich ist, wie der Stoff, dass sie trotz ihrer Fähigkeit die allerverschiedensten Formen anzunehmen, ebensowenig hergestellt als vernichtet werden kann. Dieses Gesetz von der „Konstanz der Energie“, zuerst von R. Mayer ausgesprochen, ist von der allergrössten Bedeutung und steht gewissermassen als leitendes und herrschendes Princip über dem bunten Wechsel der Erscheinungen. So würden die ganzen angeführten Massangaben ohne dieses Gesetz fraglich; denn wenn z. B. von Verwandlung der Arbeit in Bewegungsenergie oder in Wärme die Rede war, so kann man das zweite nur dann durch das erste bestimmen, wenn man voraussetzt, dass nichts verloren geht und nichts hinzukommt. Das angeführte Gesetz lässt sich durch folgende kurze Formel ausdrücken $U = Q + A$, wobei U die Abnahme der Energie irgend einer Energiequelle, Q die hierbei entstandene Wärme, A die gelieferte Arbeit bedeutet. Geht der Vorgang, wie dies nicht selten geschieht, unter Abkühlung vor sich, dann ist Q negativ zu nehmen. Gewöhnlich bezeichnet man U durch den Ausdruck, Abnahme der Energie eines Systems. Ein Beispiel mag das Vorstehende erklären. Eine Gasmaschine bildet mit dem zugeführten Gas und der zum Verbrennen nötigen Luft ein solches System. U bedeutet die auf Verbrennung des Gases beruhende Energieabgabe, das Gas selbst und die Luft (der Sauerstoff) stellen die Energiequelle dar. Hält man die Maschine fest, so dass trotz des Heizens keine Arbeit geleistet wird ($A = 0$), so geht die ganze Energie in Wärme über ($U = Q$), mag sie beispielsweise in einer bestimmten Zeit 10 000 Wärmeeinheiten betragen. Lässt man nun die Maschine laufen, so gewinnt man eine von der Güte der Konstruktion abhängige Arbeitsmenge, aber weniger Wärme, beispielsweise bis zu 10 %. In diesem Falle wäre $Q = 9000 \text{ Cal.}$ und $A = 1000 \text{ Cal.} = 424000 \text{ Kgrm.}$ Letzteres (A) ist immer noch klein genug, und eine Vorrichtung, die gestattete mehr Arbeit zu gewinnen, z. B. 20 % würde der Technik gewiss willkommen sein. Dann wäre $Q = 8000 \text{ A} = 2000 \text{ Cal.} = 828000 \text{ Kgrm.}$ Sollte gar die ganze Energie in Arbeit umgesetzt werden, dann hätte man $U = A$ und $Q = 0$. Man sieht, je grösser der Nutzen sein soll, desto geringer darf die Wärmeentwicklung sein; am grössten ist er, wenn das System sich gar nicht erwärmt, oder wo möglich abkühlt. Eine Verbrennung so zu leiten, dass gar keine Wärme, womöglich sogar Kälte entsteht, scheint unmöglich zu sein, und Versuche mit unserm gewöhnlichen Brennmaterial würden auch nutzlos sein; aber bei ähnlichen Vorgängen gelingt die Vermeidung von Temperaturerhöhungen fast vollständig, ja es tritt sogar Abkühlung ein, und dann bestätigt sich die Richtigkeit der eben angegebenen Ausführungen. So bildet sich bei der Lösung von Zink in verdünnter Schwefelsäure Zinkvitriol, und die Flüssigkeit wird ziemlich heiss. Ganz derselbe Vorgang findet in einem Daniel'schen Element statt; aber hier bleibt trotz der Metallauflösung die Flüssigkeit kalt, dafür entstehen elektrische Ströme, die sich leicht und fast vollständig in Arbeit umsetzen lassen. Die Berechnung zeigt hier auch, dass die Energiequelle bestens ausgenutzt wird; denn statt der 10 % bei guten Dampfmaschinen gewinnt man gegen 90 %. Die weitgehende Anwendbarkeit des obigen Satzes mögen noch folgende Beispiele bestätigen. Man hat sich früher von der billigen Erzeugung von Wasserstoff goldene Berge für die Industrie versprochen und hört dies wohl auch jetzt noch gelegentlich von Laien, weil dieses Gas eine sehr heisse Flamme giebt. Nun erhält man Wasserstoff (und Kohlensäure) in grossen Mengen und zu billigem Preise, wenn man Wasser bei Gelbglut über glühende Kohlen leitet. Gewinnt man etwas dabei?

Man will den Brennwert des entstehenden Gases ausnutzen, nachdem man es hergestellt hatte aus Kohle, deren Energie ihm mitgeteilt wurde, und die verwendet werden soll. Der Brennwert kann höchstens ebensogross sein, wie der des benutzten Stoffes, nämlich dann, wenn die Energie vollständig übertragen wird und keine andre zur Umwandlung nötig ist, eine Annahme, die schon deshalb falsch ist, weil die Stoffe auf Gelbglut erhitzt werden müssen und die hierzu erforderliche Wärme wohl grösstenteils verloren geht.

Bringt man ein System unter Zufuhr von Wärme von einem Zustande in einen zweiten, und dann irgendwie wieder in den ersten, so muss nach unserm Satze die aufgenommene Wärme wieder frei werden. Erwärmt man also Wasser von 100° Cels. (Anfangszustand), bis es sich völlig in Dampf verwandelt hat und erhitzt diesen um 1° Cels. (Endzustand), so muss man fortdauernd Wärme zuführen. Condensiert man nun den Dampf von 101° zu Wasser von 101° und kühlt letzteres um 1° ab, so wird alle Wärme wieder erhalten. Man könnte eine solche Erörterung für müssig halten, sie giebt aber eine interessante Beziehung zwischen Zunahme der Verdampfungswärme und Wärmecapazität des Wassers und seines Dampfes.

Ein zweiter Punkt von der grössten Bedeutung ist die Verwandlungsfähigkeit der Energie. Die Natur liefert uns eine Menge davon, die aber nur zum allerkleinsten Teil für den Menschen zum Gebrauch geeignet ist. Am liebsten benutzt man nächst der chemischen Energie der Steinkohle Wasserkräfte; aber schon diese erschweren die Verwertung durch ihre Unregelmässigkeit. Noch viel unzuverlässiger ist der Wind, der doch aber gelegentlich Mühlen treiben, Wasser heben und andre Dienste verrichten muss. Sonnenwärme und Licht, ohne die unsre ganze Pflanzen- und Tierwelt undenkbar ist, konnten bisher für technische Zwecke nicht brauchbar gemacht werden. Bei allen ist aber wenigstens die Möglichkeit der Verwendung gegeben; indessen bemerkt man stets, dass bei den notwendigen Übertragungen scheinbar Energie verloren geht. Bei den Dampfmaschinen gewinnt man höchstens 8—10%, bei unsern elektrischen Lampen, trotzdem sich die Elektrizität vorzüglich zur Herstellung von Licht eignet, weil sie sehr hohe Temperaturgrade hervorbringen kann, kaum 1%. Heutzutage stellt man das sonst so teure Aluminium und andre Metalle so billig her, dass man staunt, wenn man aber liest, dass in einem ähnlichen Falle, zur Herstellung von 100 Kilo Natrium, nicht weniger als 4 Tonnen Coaks gebraucht werden (Borchers, Elektro-Metallurgie S. 63) und weiss, dass daraus nur etwa 25 Kgr. Kohle wiederzugewinnen sind, dann wundert man sich eher über die allerdings nicht zu vermeidende Verschwendung. Die Verluste entstehen aus der vielfachen Umwandlung der Energie. Eine beliebige Form derselben lässt sich nämlich keineswegs vollständig in eine verlangte andre verwandeln, man erhält vielmehr oft nur einen sehr kleinen Teil derjenigen, die man gerade braucht, dafür aber andre, die man nicht haben will. Nur Wärme entsteht immer in höherem oder geringerem Grade bei Verwandlung und Übertragungen, und in sie lässt sich jede Energieart vollständig verwandeln. Kann nun diese benutzt werden? Warm sind eigentlich alle Körper, da ihre Temperatur über dem „absoluten Nullpunkt“ (-273° Cels.) liegt, also auch die Eismassen am Nordpol; aber heizen kann man mit ihnen nicht. Wir haben demnach überall Mengen von Energie dieser Art; ob aber zur beliebigen Benutzung, das ist eine andre Frage. Man wird nicht ein Zimmer mit einer Tonne Wasser von gleicher Temperatur erwärmen wollen. Das Wasser ist wohl warm, hat also Energie; aber es ist nicht möglich, sie zu dem gewünschten, oder zu einem andern Zwecke zu verwenden, weil sie sich nicht übertragen lässt. Das Wasser bleibt doch natürlich in seiner gleichwarmen Umgebung, wie es war, Umwandlung und Über-

tragungen, also auch Verwendungen zu irgend einem Zwecke sind daher ausgeschlossen. Anders verhält es sich bei vorhandenen Temperaturverschiedenheiten. Mit unsrer Wassertonne können wir allerdings einen etwa 20° kalten Raum ein wenig erwärmen, auch Bewegungen der Luft (die eine gewisse Arbeit repräsentieren) bleiben dann nicht aus, die Möglichkeit diese Energie zu verwandeln, unter Umständen also auch benutzen zu können ist dabei wohl vorhanden, aber nur bei Temperaturunterschieden. Nun entsteht Wärme, wie gesagt, stets, wenn eine Energieart sich ändert, so z. B. durch Reibung, wenn ein Körper zu Boden fällt, durch elektrische Ströme, namentlich bei chemischen Verbindungen, genug jede Energieform zeigt Neigung sich in Wärme zu verwandeln; aber an eine Verwendung der letzteren z. B. zu äusserer Arbeit ist nur beim Vorhandensein von Temperaturunterschieden zu denken und auch dann nur, so lange diese noch unausgeglichen sind, und auch in diesem Falle ganz unvollständig; denn nur dann giebt der warme Körper etwas, aber nicht alles, von seiner Energie her, dies thut er nicht, auch wenn er sie, etwa weissglühend, in hohem Grade im Besitz hat, wenn seine Umgebung genau so warm ist, wie er selbst.

Diese Betrachtungen führen zum zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie, der in Nernsts Lehrbuch der theoretischen Chemie (S. 10) in folgender Fassung angegeben ist. „Äussere Arbeit, sowie kinetische Energie bewegter Massen lässt sich auf mannigfache Weise und vollständig in einander überführen, sowie in Wärme verwandeln; umgekehrt ist aber die Rückverwandlung von Wärme in Arbeit entweder gar nicht oder nur teilweise möglich (Prinzip von Carnot und Clausius).“ So wie äussere Arbeit verhält sich übrigens auch elektrische Energie. Dieser harmlos und einfach erscheinende Satz hat die weitgehendsten Folgerungen und findet die allerverschiedensten Anwendungen. Nach ihm kann man die Energie in zwei Hauptarten teilen, 1. in solche, die umgewandelt und infolgedessen benutzt werden kann; 2. in nicht verwandelbare und daher wertlose. Letztere ist, wenn Temperaturunterschiede fehlen, die Wärme. Man spricht deshalb mit Recht bei Wärmeentwicklungen von Verwüstung oder Entwertung der Energie. Da nun bei Umänderungen immer ein Teil in Wärme verwandelt wird und diese selbst stets Temperaturdifferenzen auszugleichen sucht, so muss die verwandelbare, deshalb verwendbare Energie abnehmen und immermehr in die Form übergehen, bei der eine Umänderung unmöglich ist. Man hat nun daraus geschlossen, dass nach sehr langen Zeiträumen die gesamte vorhandene Energie entwertet wird. Sie würde dann nur als Wärme, die also dann in grösserer Quantität vorhanden wäre als jetzt, existieren, das gesamte Weltall müsste eine völlig gleichmässige (vielleicht durchschnittlich höhere) Temperatur annehmen, andre Bewegungen irgend einer Art müssten ganz und gar fehlen, die Welt würde durchaus regungslos und tot erscheinen. Dieser Endzustand liegt, wenn er überhaupt erreicht wird, jedenfalls in der entlegensten Zukunft; manche Fragen möchten sich daran knüpfen, z. B. ob zu einem Endpunkte nicht auch ein Anfangspunkt gehört, warum bei der Unendlichkeit der Zeit der sich abspielende Prozess der Energieverwüstung nicht schon jetzt zu Ende ist, Fragen, deren Beantwortung wohl mehr dem philosophischen Gebiet angehört und jedenfalls durch die Erfahrung nicht kontrolliert werden kann. Ungleich wichtiger, als derartige Betrachtungen, ist für uns die praktische Seite. Fest steht, dass bei jeder Umwandlung mehr oder weniger Energie unbrauchbar wird, und deswegen sollen derartige Veränderungen möglichst vermieden werden. So wird es erklärlich, dass man beim elektrischen Licht höchstens 1% der Energie benutzt, da diese erst in Wärme, dann in äussere Bewegung (Dampfmaschine), dann in elektrische Ströme, dann wieder in Wärme und endlich in Licht übergeht. Unsere

jetzigen elektrischen Einrichtungen können demnach, so sehr sie in jeder Hinsicht auf der Höhe der Zeit stehen, keineswegs als vollkommen angesehen werden; theoretisch möchte das Gasglühlicht, weil es die Wärme direkt ausnutzt, ökonomischer erscheinen als das elektrische, obgleich die direkt erhaltene Wärme wegen ihrer geringeren Temperatur sich lange nicht mehr so gut zur Lichterzeugung eignet als die Elektrizität. Nun wird auch wohl der Wunsch der Elektriker verständlich, aus billigem Material Elektrizität ohne Wärmeentwicklung hervorbringen zu können. Bis zu einem gewissen Grade ist dies bereits seit langer Zeit gelungen. In manchen Metallen besitzen wir Energiequellen, deren Ergiebigkeit wir leicht dadurch messen können, dass wir die Stoffe auflösen und die dabei entstehende Wärme untersuchen. Verwenden wir nun dieselben Metalle in galvanischen Elementen, so erhalten wir einen mehr oder weniger grossen Teil der Energie (mitunter vollständig) als Elektrizität. Abgesehen von anderen Unzuträglichkeiten ist aber das verwendete Material zu teuer; könnte man jedoch die billige Kohle so verwerten, dann würde möglicherweise die ganze Elektrotechnik einen grossen Schritt vorwärts thun. Dampfmaschinen und mit ihnen verbundene Dynamo fielen weg, es liesse sich eine bessere Ausnutzung der Kohle erwarten, und die noch immer zu teure Elektrizität würde sich einer noch viel weitergehenden Verwendung erfreuen als bisher. An Versuchen in dieser Richtung hat es natürlich nicht gefehlt, aber sie sind bisher ohne Erfolg gewesen; und man kann auch nicht vorhersehen, ob überhaupt in diesem Falle auch nur annähernd eine so vollständige Ausnutzung möglich ist, wie etwa beim Zink, welches fast 100% Nutzeffekt giebt. Man weiss wohl, dass chemische Energie sich vollständig in Wärme, seltener (bei Volumveränderungen) in äussere Arbeit und nur bei bestimmten Zusammenstellungen (galvanischen Elementen) in elektrische Ströme verwandelt; aber in welchem Grade letzteres in jedem einzelnen Falle theoretisch möglich ist, entzieht sich noch z. t. der Beurteilung. In galvanischen Elementen wird die chemische Energie manchmal fast ohne Verlust abgegeben, aber durchaus nicht in allen Fällen.

Bisweilen scheint auch ohne Temperaturdifferenz Wärme aus der Umgebung aufgenommen und in äussere Arbeit umgewandelt zu werden, also im Widerspruch zu dem vorher Erwähnten. So giebt ein galvanisches Element von der Zusammenstellung Silber in Höllenstein- und Blei in Bleinitratlösung, wobei Blei gelöst und Silber abgeschieden wird, ungeschlossen eine Wärmemenge von 21,49 Wärmeeinheiten, wenn 103 gr Blei gelöst und 54 gr Silber aus der Höllensteinlösung ausgeschieden werden. Schliesst man das Element, so bekommt man unter gleichen Umständen elektrische Energie, die 25,435 Wärmeeinheiten entspricht (Nernst, Lehrbuch der theor. Chemie 1893. S. 558). Der Überschuss von 3,945 cal. müsste demnach der Umgebung entnommen und in elektrische Ströme verwandelt sein. In Wirklichkeit verhält es sich folgendermassen: Bei Benutzung von potentieller Energie zur Leistung von Arbeit können drei Fälle eintreten, 1. die letztere kann nicht ohne Wärmeentwicklung geliefert werden (so ist es, wenn entzündete Pulvergase ein Geschoss fortschleudern), 2. die Temperatur bleibt unverändert, wie z. B. wenn man durch eine gespannte Feder ein Gewicht heben lässt, 3. es tritt Abkühlung ein, wie bei der Verwendung von comprimierten Gasen, oder von flüssiger Kohlensäure zu Arbeit. Der sich abkühlende Stoff nimmt nun eine der geleisteten Arbeit entsprechende Wärmemenge auf, nachdem durch seine Abkühlung ein Temperaturunterschied entstand. Die Arbeit bleibt aber nicht aus, wenn man den Zutritt der Wärme (die Möglichkeit ist vorhanden) verhindert. Daraus folgt, dass diese gar nicht nötig ist, allerdings wird ohne sie der Körper kälter. Die Fähigkeit der Arbeitsleistung ist dann nicht die Folge davon, dass die Umgebung Wärme besitzt, sondern

dass die Gase und die Kohlensäure vorher comprimiert wurden. Man hat diesen Stoffen durch äussere Arbeit erst ihre verwendbare potentielle Energie zuführen müssen, und die eventuell absorbierte Wärme bildet nur ein Mass davon. Genau so ist es bei dem angegebenen galvanischen Element, es arbeitet eben mit Abkühlung. Die Vorgänge lassen sich allerdings nicht so genau übersehen, wie bei comprimierten Gasen, bei denen die Gesetze der Ausdehnung, der Wärmeaufnahme und Abgabe so genau bekannt sind, dass man alles durchrechnen kann. Deswegen gerade eignen sich letztere auch zu der so wichtigen Untersuchung über Verwandlung der Wärme in Arbeit. Welche Bedeutung es hat zu wissen, wie viel Energie man aus einer gegebenen Form erhalten kann, geht wohl aus dem Früheren hervor. Die Berechnung, in welchem Grade die Wärme in Arbeit verwandelt werden kann (also bei vorhandenen Temperaturdifferenzen), ist schon an sich wichtig und auch der eigentümlichen Beweisführung wegen interessant.

Man zeigt zuerst, dass am meisten Arbeit aus Wärme erhalten wird, wenn die dazu verwendeten Apparate isotherm und reversibel arbeiten, d. h. wenn während der Entnahme und Abgabe von Wärme die beiden bezüglichen Temperaturen sich nicht ändern, und wenn durch Zuführung von ebensoviel äusserer Arbeit, als bei der Wärmeabgabe erhalten wurde, der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt wird.

Dann lässt sich nachweisen, dass diese höchste erreichbare Arbeitsmenge unabhängig von der Art der Herstellung (von den dazu gebrauchten Maschinen) ist. Sonst würde nämlich ein perpetuum mobile sich konstruieren lassen, dessen Unmöglichkeit als feststehend gilt.

Man untersucht nun einen bestimmten genau kontrollierbaren Weg der Herstellung. Man entnimmt Wärme durch möglichst grosse Arbeitsleistung und giebt sie bei etwas niedrigerer Temperatur wieder ab unter Arbeitszufuhr. Dazu dient ein comprimiertes Gas, eingeschlossen in ein Gefäss mit beweglichem, belasteten Stempel, welches sich ausdehnt und durch Fortschieben des Stempels Arbeit (A_1) leistet. Dabei kühlt es sich ab und erhält eine der Arbeit entsprechende Wärmemenge (Q_1) aus der Umgebung, die gewöhnlich als eine so grosse Wassermasse gedacht wird, dass die Temperatur sich trotz der Wärmeabgabe nicht ändert. Die vom Gefässe aufgenommene Wärme ist hier der äusseren Arbeit gleich. Nun wird die Wärme wieder abgegeben, indem man das Luftgefäss in einen Wasserbehälter von einer etwas niedrigeren Temperatur bringt. Da kühlt sich das Gefäss ab, aber die so hergegebene Wärme braucht nicht gerechnet zu werden, wenn die Temperaturdifferenz unendlich gering ist; den allergrössten Teil gewinnt man durch Zurückschieben des Stempels auf seinen ursprünglichen Stand. Dadurch wird Arbeit zugeführt (A_2), eine entsprechende Wärme entwickelt (Q_2) und dem 2. Gefäss mitgeteilt, welches man sich so gross denkt, dass sich auch hier die Temperatur nicht merklich ändert. Nun war die Arbeit beim Ausdehnen des Gases etwas grösser als beim Zusammendrücken, weil die Temperatur, also auch die Gasspannung im ersteren Falle höher war. Man gewinnt so ein wenig Arbeit, indem man eine bestimmte Wärmemenge (Q_1) von einer Umgebung von höherer Temperatur (T_1) auf eine solche von etwas kleinerer (T_2) überträgt, weil die geleistete, oder erhaltene Arbeit (A_1) etwas grösser, als die zugeführte (A_2) war. Aus den bekannten Gasgesetzen lässt sich nun alles leicht berechnen. Man findet die Bezeichnung $A_1 : A_2 = T_1 : T_2$, wobei T_1 und T_2 die absoluten Temperaturen der beiden Wasserbehälter sind, oder da $A_1 = Q_1$ und $A_2 = Q_2$ auch $Q_1 : Q_2 = T_1 : T_2$. Daraus folgt weiter $(A_1 - A_2) : A_1 = (T_1 - T_2) : T_1$ oder $(A_1 - A_2) : Q_1 = (T_1 - T_2) : T_1$. Hier ist $A_1 - A_2$ die gewonnene Arbeit, die gewöhnlich dA geschrieben und $T_1 - T_2$ ist die entsprechende Temperaturdifferenz (mit dT bezeichnet).

So hat man $dA : Q_1 = dT : T_1$ man schreibt gewöhnlich $dA = \frac{Q}{T} dT$. Von einer unendlich kleinen Temperaturdifferenz kann man nun auch Schlüsse auf endliche Unterschiede und endliche Arbeitsmengen ziehen, und weil in allen analogen Fällen der Arbeitsgewinn gleich sein soll, erhält man aus diesem Spezialfall ein allgemein gültiges Gesetz, welches sich auf das vollständigste bestätigt hat, und dessen Beweis, gewiss bemerkenswert genug, mit auf der Annahme von der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile beruht. Diese eigentümliche Beweisführung wird übrigens auch sonst noch in vielen Fällen angewendet. So kann, um nur ein Beispiel anzuführen, aus der Unmöglichkeit des perpetuum mobile bewiesen werden, dass irgend eine verdünnte Salzlösung stets schwerer sieden muss als reines Wasser; sogar die Temperaturdifferenz der Siedepunkte lässt sich dadurch mit berechnen, und dies ist wieder von grosser Wichtigkeit für die Bestimmung des Molekulargewichts aufgelöster Stoffe geworden.

Die oben angegebene Gleichung sieht unscheinbar genug aus, findet aber nichts desto weniger die umfassendste Anwendung. So lässt sich mit ihr die früher viel umstrittene und, wie bereits erwähnt, so bedeutsame Frage, ob chemische Energie vollständig, also ohne Wärmeentwicklung in elektrische umgewandelt werden kann, in einigen Fällen entscheiden. Ein galvanisches Element sei aus Silber, Höllensteinlösung, Blei und Bleinitratlösung hergestellt und sei mit einem elektrischen Motor verbunden. In Gang gesetzt, treibt es den Motor, liefert dabei äussere Arbeit und kühlt sich ab, entnimmt also aus der Umgebung Wärme Q_1 , gleichzeitig löst sich Blei auf und Silber wird abgeschieden. Dreht man nun mit der Hand die Maschine in der entgegengesetzten Richtung, so entstehen in ihm elektrische Ströme, die ihrerseits in dem Element das gelöste Blei wieder ausscheiden und das ausgeschiedene Silber wieder auflösen. Man kann nun so lange drehen, bis alles wieder auf den ersten Stand gekommen ist und wird bei denkbar bester Einrichtung (also wenn man von der Reibung und bei sehr geringem Widerstand von der Joule'schen Wärme u. dergl. absehen kann) dieselbe Arbeit, die man erst gewann, durch die Drehung mit der Hand wieder zuzufügen haben und wird die absorbierte Wärme wieder gewinnen, vorausgesetzt, dass die Temperatur die gleiche blieb. Dies ist nicht der Fall, vielmehr die abgegebene Wärme von der zugeführten im allgemeinen verschieden, wenn die Temperatur eine andre ist. Das System entspricht nun vollkommen der oben erwähnten Einrichtung mit der komprimierten Luft. An ihre Stelle treten die sich auflösenden oder abscheidenden Metalle, dem hin- und hergeschobenen Stempel entspricht der Motor. Auch hier kann man bei einer bestimmten Temperatur (T) das Element in Gang setzen, wobei die Wärme Q absorbiert wird und kann beim Rückwärtsdrehen des Motors dieselbe Wärme bei etwas niedrigerer Temperatur wieder abgeben, hat also auch $Q = T \cdot \frac{dA}{dT}$. Soll nun die ganze bei diesem Umsatz frei werdende Energie Arbeit geben, so darf, wie früher gezeigt wurde, keine Wärmeentwicklung entstehen, also $Q = 0$, dann muss aber auch $T \frac{dA}{dT} = 0$, und weil die Temperatur nie den so niedrigen Stand von -273° Cels. bei der $T = 0$, erreicht, so muss $dA = 0$ sein.

Es darf demnach kein Überschuss von Arbeit vorhanden sein, und die bei höherer Temperatur gelieferte Arbeit darf nicht grösser sein als die bei einer niedrigeren zugeführte. Daraus folgt, dass, wenn bei zwei nahe liegenden Temperaturen das in Gang gesetzte Element bei gleichem chemischen Umsatz die gleiche Arbeit liefert, dann die ganze beim Vorgang frei werdende Energie

sich in Arbeit und nichts davon in Wärme verwandelt. Ist bei höherer Temperatur die Arbeit grösser, so wird sogar Wärme absorbiert, ist das umgekehrte der Fall, dann lässt sich nur ein Teil der Energie in Arbeit umwandeln. Letztere lässt sich leicht messen. Weil sie sich annähernd vollständig in elektrische Energie umsetzen lässt, kann man die eine für die andre setzen, und diese berechnet sich aus dem Produkt von Stromstärke und Triebkraft (elektromotorische Kraft). Trifft man nun die Einrichtung so, dass die Stromstärke in allen Fällen dieselbe bleibt, so ist die elektrische Energie proportional der elektromotorischen Kraft. Dann ist nur letztere zu messen, was leicht und mit grosser Genauigkeit von Statten geht. Findet man sie bei den verschiedenen Temperaturen unverändert, oder ändert sie sich mit ihr, so kann man daraus dieselben Schlüsse ziehen, als durch die schwer zu bestimmende direkte Messung der Arbeit. Die Änderung der elektromotorischen Kraft mit der Temperatur, der sogenannte Temperaturcoefficient, spielt daher bei der Theorie der galvanischen Elemente eine gewisse, nicht unwichtige Rolle. Die Anwendung der Gleichung $Q = T \frac{dA}{dT}$ auf galvanische Elemente ist zuerst von v. Helmholtz gegeben worden.

Beim Daniel'schen Element ist Q nahezu 0 und man hat alle hier angeführten theoretischen Schlüsse bestätigt gefunden.

So kann man durch diesen Satz aus scheinbar ganz fernliegenden Dingen, wie der Änderung der elektromotorischen Kraft mit der Temperatur Schlüsse auf die Umwandlung der Energie ziehen und es ist nun wohl leicht begreiflich, dass er sich in ähnlicher Weise auch auf viele andre Vorgänge anwenden lässt. Namentlich in der theoretischen Chemie werden durch ihn eine Menge weit auseinander liegender Thatsachen in höchst interessanter Weise mit einander verknüpft. So lässt sich die Sublimationswärme eines festen Stoffes aus seiner Dampfspannung bei zwei verschiedenen Temperaturen, die Lösungswärme aus der Menge des gelösten Stoffes (ebenfalls bei 2 Temperaturen) berechnen; ob und wieviel Kohlenoxyd die Kohle bei verschiedenen Temperaturen liefert, d. h. in welchem Grade die Vollständigkeit der Verbrennung von der Temperatur abhängt, alles dies kann durch Anwendung dieser einen kurzen Gleichung bestimmt werden (Nernst, Thermochemie III). Die Vorgänge müssen natürlich dem der Berechnung zu Grunde gelegten entsprechen, d. h. isotherm (bei unveränderter Temperatur) verlaufen und reversibel sein, sodass, wenn sie äussere Arbeit abgeben, sie bei derselben Temperatur durch dieselbe zugeführte Arbeit in den alten Stand gesetzt werden.

Die Elektrizität ist uns so wertvoll geworden und hat in neuerer Zeit so vielfache Anwendung gefunden, weil sie ausserordentlich leicht regulierbar ist. Ein Druck genügt, um die grösste Maschine in Bewegung zu bringen oder einen ganzen Saal zu erleuchten, und ebenso leicht wird das Licht ausgelöscht. Auch die Ansammlung der Energie gelingt mit ihrer Hülfe ohne besondere Schwierigkeit. Immerhin tritt sie noch weit zurück gegenüber der eigentümlichen Verwendung der Sonnenstrahlen, in der uns die Natur gewissermassen ein Muster vor Augen stellt, in welcher ausgezeichneten Weise die Ausnutzung und Verwertung von Energie möglich ist. Wenn schon unsre Energiequellen überhaupt mit der einzigen Ausnahme der Bewegung von Ebbe und Flut alle in mehr oder weniger direkter Weise von der Sonnenwärme herrühren, so ist unsrer Technik doch eine unmittelbare Verwertung derselben noch nicht gelungen. Dagegen zeigt sich die Pflanzenwelt als vorzügliche Sammlerin dieser Energie. Man weiss, dass die Pflanzen mit Ausnahme der Pilze und einiger anderen Schmarotzergewächse zu ihrem Gedeihen Licht brauchen und bei Abschluss desselben verkümmern, mag man ihnen auch sonst alles zuführen, was sie zum

Wachstum brauchen. Ihr Holz, ihre Blätter, Blüten und Früchte bestehen aus einer verhältnismässig geringen Anzahl von im Boden oder in der Luft vorkommenden einfachen Stoffen, in ihren Zellen entstehen daraus die kompliziertesten Verbindungen, die uns als Brennmaterial, als Arznei- oder Genussmittel wertvoll werden. Diese bauen sie aus Salzen, Wasser, Kohlensäure gewissermassen auf und entnehmen die zum Aufbau nötige Energie den Lichtstrahlen, die dabei absorbiert, also ausgelöscht werden. Unter einem dichten Blätterdach mag die Helligkeit noch ziemlich gross sein; man wird aber stets dort die Vegetation dürrig finden, weil zwar nicht alle Lichtgattungen, wohl aber gerade die, welche zum Wachstum nötig sind, von den Blättern der Bäume absorbiert wurden. Die Pflanzen können mit Bleiaccumulatoren verglichen werden, nur entsteht bei letzteren eine einzige Verbindung, Bleisuperoxyd, bei deren Zersetzung elektrische Ströme entstehen können, während bei ersteren die Mannigfaltigkeit der gebildeten Formen und Stoffe überraschend ist.

Die Pflanzenteile sind, wie man weiss, leicht zerstörbar und gehen nach kürzerer oder längerer Zeit wieder in die Stoffe über, aus denen sie entstanden sind. Blätter und Blüten fallen ab und welken und auch die festen Bestandteile, wie das Holz, faulen und werden, sich selbst überlassen, zerstört. Dabei erscheint die absorbierte Energie wieder in Form von Wärme, die wir nicht nur dann bemerken, wenn wir etwa Holz verbrennen, sondern auch bisweilen an besonders zarten Teilen der lebenden Pflanze wahrnehmen können; so ist bei einigen Pflanzen das Innere der Blüte merklich wärmer, als die Umgebung. Hand in Hand mit dem Aufbau geht also auch, allerdings in geregelter Form, die Zersetzung. Bezeichnet man die Vorgänge beim Aufbau der Pflanze mit dem Namen Assimilation, so nennt man die mit ihrem Leben verbundene Zersetzung Atmung nach analogen Vorgängen bei den Tieren.

Die Vegetation ist bekanntlich die Voraussetzung der Existenz der tierischen Organismen, die sich nicht aus einfachen Stoffen, wie die Pflanzen bilden und erhalten können, sondern organisierte Stoffe zu ihrem Aufbau nötig haben und sie bei ihrem lebhaften Stoffwechsel verbrauchen. Zur Erhaltung des tierischen Körpers, zur Bewegung, zur Herstellung der, wenigstens bei Warmblütern, zum Leben notwendigen Wärme und zu andern Funktionen gehört Zufuhr von Energie; aber nicht so, wie etwa in unsrer Technik, in einfachen Formen, sondern als Nahrung in complicierten chemischen Verbindungen, die im Grunde von den Pflanzen gebildet werden. Kann man nun diese als vorzügliche Sammler und Hersteller von organischen, chemischen Verbindungen und in ihnen enthaltenen Energieformen bezeichnen, so liefert das tierische Leben ein unerreichbares Beispiel ökonomischer und vielseitiger Verwertung. Das Tier unterscheidet sich von der Pflanze besonders dadurch, dass es im Stande ist, zu empfinden und sich zu bewegen. Dies setzt eine grosse Reaktionsfähigkeit für äussere Reize bei der Wahrnehmung und für innere bei der Bewegung voraus. Denn, wenn wir durch einfachen Druck auf den Knopf einer elektrischen Klingel eine Bewegung hervorrufen und wieder aufhören lassen können, so brauchen wir eine, wenn auch kleine, aber doch bestimmbare Energiemenge zur Auslösung; wenn wir aber zu einer Muskelbewegung nur den Entschluss nötig haben, so ist wohl erstere messbar, aber kaum die zur Auslösung nötige, durch den Willen entstandene, Änderung in dem Nerven, der vom Gehirn nach dem zu bewegenden Muskel führt. Bei Empfindungen lässt sich die Grenze der nötigen Energie wenigstens andeuten. Erst in neuerer Zeit hat die Photographie des Himmels das Auge in einigen Fällen ersetzen und übertreffen können; aber während die Expositionszeit der Platten viele Stunden dauern muss, um Sterne oder Nebelflecke aufzuzeichnen, genügt für

das Auge mit ähnlichen Instrumenten ein Augenblick zur Wahrnehmung. Ein elektrisches Licht, wie es zur Strassenbeleuchtung dient, mag in der Entfernung von einem Kilometer noch ganz gut erkennbar sein. Die von der Glühlampe ausgesandte Energie verteilt sich dann auf eine Kugelfläche von 1 Kilometer Radius, demnach eine Fläche von $4\pi \cdot 1\,000\,000^2$ qmm. Nimmt man den Durchmesser der Pupille des Auges zu 4 mm an, dann ist die Fläche, durch welche das Licht eindringen kann, 4π qmm. Die beiden Flächen verhalten sich dann wie $1:1\,000\,000^2$, also kann von der ganzen über $4\pi \cdot 1\,000\,000^2$ qmm verteilten Energie nur ein Billionstel ins Auge gelangen. Nun verbraucht eine Glühlampe hochgerechnet 50 Voltampère pro Stunde, davon wird aber höchstens der zehnte Teil, also 5 V. A. als Licht ausgestrahlt und zur Wahrnehmung braucht man keine Stunde, sondern nur einen kurzen Moment, einen kleinen Teil einer Sekunde. Rechnet man hoch $\frac{1}{10}$ Sekunde als notwendig zur Wahrnehmung, so werden in dieser Zeit $\frac{5}{36\,000}$ V. A. in Form von Licht ausgesendet und erst der billionste Teil davon gelangt in's Auge. Damit ist keineswegs die Grenze der Wahrnehmung erreicht. Ähnliche fast unbegrenzte Empfindlichkeit gegen Reize zeigen auch die andern Sinne, z. B. der Geruch.

Dies ist nur möglich, wenn Energieformen vorhanden sind, die sich sehr leicht verändern, in diesem Falle chemische Verbindungen, die ausserordentlich labil sind, deren fortdauernde Veränderung möglicherweise durch ganz geringfügige Einwirkungen beschleunigt oder verzögert werden. Sind die Stoffe, die unsern Körper bilden, labil, so sind sie leicht zersetzungsfähig und deshalb geht mit der zur Vollkommenheit des Körpers notwendigen Reaktionsfähigkeit Hand in Hand eine gewisse Hinfälligkeit. Die eine ist ohne die andere nicht denkbar, und man wird finden, dass die niedrigsten Organismen in der Regel die grösste Lebensfähigkeit besitzen. Ein Organismus von Stahl und Eisen würde nichts leisten; soll er seine Zwecke erfüllen, so muss er einer fortgesetzten Veränderung ausgesetzt sein, muss, weil mit jeder Veränderung in gewissem Sinne eine Entwertung verbunden ist, stets Energie in Formen umwandeln, die für ihn unbrauchbar werden, allerdings in geordneter und geregelter Weise. Man hat den Körper eine Oxydationsmaschine genannt und meint damit, dass fortgesetzt die in ihm vorhandenen und ihm zugeführten Stoffe nach und nach ähnlichen Veränderungen unterliegen, wie bei der Verbrennung. Stellen also die Pflanzen die chemischen Verbindungen her, welche die Tierwelt braucht, so nutzt letztere dieselben ab und liefert schliesslich die einfachen Stoffe wieder, aus denen jene entstanden sind.