

Ueber

Wechselwirkung und Zusammenhang
der Naturkräfte.

Von

PROF. DR. J. RUMPF.

Vortrag, gehalten am 10. November 1875.

(Mit Experimenten.)

Hochgeehrte Anwesende!

Indem ich die Ehre habe, in dieser hochansehnlichen Versammlung die Reihe der Vorträge für das gleichsam mit dem heutigen Tage beginnende Vereinsjahr zu eröffnen, bin ich zugleich in der angenehmen Lage, Sie vorerst im Namen der Vereinsleitung freundlichst begrüßen zu können, und heisse Sie hier somit herzlich willkommen, um so mehr, als ich die Ueberzeugung hege, dass nicht ein Verlangen nach einer Art von Zeitvertreib noch blosse Neugier, sondern ein wirkliches geistiges Bedürfnis Sie hier wieder versammelte, und die Neigung zur Naturwissenschaft gleichsam die Zugkraft ist, welche Sie so zahlreich hieher geführt hat.

In der That verdient die Naturwissenschaft mit vollem Rechte diese Wertschätzung, da sie es ist, welche einerseits den wichtigsten Einfluss auf die Gestaltung sämtlicher Lebensverhältnisse der civilisierten Nationen ausübt, indem sie den Menschen die Naturkräfte seinen Zwecken dienstbar machen lehrt und ihm hiedurch Vermehrung an Reichtum, Lebensgenuss, Sicherung der Gesundheit, an Mitteln des industriellen und geselligen Verkehrs, ja selbst an politischer Macht bietet, anderer-

seits auch den geistigen Fortschritt des Menschen fördert, indem sie ihm über die Natur und deren Wirken in und ausser ihm, auf und unter der Erde und selbst in des Himmelsraumes unermesslicher Ferne Aufschluss gibt, Irrtümer und Vorurteile verscheucht, und das geheimnisvolle Dunkel, in welches das Walten der Naturkräfte dem oberflächlichen Beschauer gehüllt erscheint, aufzuhellen bestrebt ist.

In dieser Beziehung ist es der Naturforschung in neuester Zeit gelungen, ein allgemeines Naturgesetz zu entdecken, welches das Wirken sämtlicher Naturkräfte in ihren wechselseitigen Beziehungen beherrscht und ihren Zusammenhang begründet, und welches ebenso wissenswert für unsere theoretische Kenntnis der Naturprocesse als auch für die technische Anwendung derselben von Wichtigkeit ist.

Und diese Wechselwirkung der Naturkräfte und ihren Zusammenhang, wodurch, um mit Faust zu reden,

„Eins in dem andern wirkt und lebt,
Und alles sich zum Ganzen webt“

Ihnen, hochgeehrte Anwesende, in möglichster Kürze darzulegen, habe ich mir für heute zur Aufgabe gestellt.

Es gab eine Zeit, in der man die verschiedenen Thätigkeitszustände der Materie, die wir mit Bewegung, Licht, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Molecularanziehung, chemische Verwandtschaft, Schwere bezeichnen, für die Wirkungen von eben so

vielen getrennt für sich bestehenden Kräften der Natur hielt und einige derselben sogar nur durch Annahme besonderer Kraftstoffe erklären zu können glaubte.

Seither aber und besonders in neuester Zeit hat die wissenschaftliche Forschung in der Erkenntnis der Natur riesige Fortschritte gemacht und unter anderen epochemachenden Entdeckungen auch dies Gesetz in der Natur nachzuweisen vermocht, dass jene Thätigkeitszustände der Materie — mit Rücksicht auf ihre Wirkungen auch Kräfte genannt — gleichsam mit einander verwandt sind, d. h. in gegenseitiger Abhängigkeit von einander stehen und im Grunde nichts anderes als nur wechselnde Erscheinungsformen von Bewegung sind, deren keine für sich betrachtet als die wesentliche Ursache der anderen gelten kann, vielmehr jede dem Gesetze folgt, dass sie als Kraft selbst verschwindend an ihrer Stelle irgend eine andere hervorruft oder in dieselbe sich verwandelt, somit keine Kraft eigentlich verloren geht, aber auch keine neu geschaffen werden oder anders als durch Verbrauch einer früheren Kraft entstehen kann.

Dieses Grundgesetz der heutigen Naturlehre, welches für einzelne Gebiete von Naturerscheinungen wol schon im vorigen Jahrhundert bekannt gewesen, aber in seiner allgemeinen Giltigkeit erst vor mehr als drei Jahrzehnten und zwar zuerst von dem genialen schwäbischen Arzte Dr. Jul. Rob. Mayer ausgesprochen wurde, ist in der Wissenschaft als Gesetz von der „Erhaltung der Kraft oder Energie“ be-

kannt und bildet gleichsam das Band des Zusammenhanges der auf einander wechselwirkenden Naturkräfte.

Nemen wir einmal vorerst die mechanische Bewegung in Betracht; denn sie ist der augenscheinlichste und am leichtesten begreifliche Thätigkeitszustand der Materie. Sie ist sichtbare Massenbewegung, im Gegensatze zu der unsichtbaren Theilchen- oder Molecularbewegung, welche in einem nicht bemerkbaren und deshalb nicht jedermann begreiflichen, raschen und feinen Erzittern der gleichfalls unsichtbaren kleinsten Theilchen oder sogenannten Atome und Molecule eines Körpers besteht.

Denn nicht immer ist die Bewegung der Materie, obgleich stets und überall vorhanden, auch ohne weiters als wirkliche Ortsveränderung erkennbar, sondern, so wie die Materie selbst in einzelnen Fällen sogar dem best bewaffneten Auge nicht warnembar ist, und wir von ihrer Existenz in einem bestimmten Raume erst durch gewisse, ihr Dasein charakterisierende Erscheinungen überzeugt werden, so gibt es auch bei der Bewegung der Materie gewisse unbemerkbare Abstufungen, und tritt dieselbe beim Uebergange auf die kleinsten Theilchen der Körper in solchen Formen auf, dass ihre Fortdauer uns nicht mehr direct sichtbar oder fühlbar ist, und wir zu ihrer Erkennung anderer Sinne und anderer Untersuchungsmittel bedürfen, und dann häufig andere Bezeichnungen für die derart erkannten Wirkungen anwenden, wie dies eben bei Schall, Licht, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, molecularer

und chemischer Anziehung der Fall ist, welche alle nach dem heutigen Stande der Wissenschaft mit mehr oder weniger Sicherheit als Bewegungen kleinster Teilchen erklärt werden, die allerdings sich der directen Warnemung entziehen.

Die Massenbewegung aber als Bewegung in sichtbarer Form erfordert nur die einfachsten Mittel der Warnemung und bildet auch bei den meisten unserer Kraftanwendungen bald den Zweck derselben, bald das von der Natur selbst dargebotene einfachste Mittel zum Zwecke, indem ja der Mensch seit jeher bald die Muskelbewegung seines eigenen Körpers oder eines Tieres, bald die Bewegung des infolge der Schwerkraft fallenden Wassers oder sinkenden Gewichtes, bald die bewegte Luft des Windes, bald die durch Molecularanziehung wirkende Spannkraft eines elastischen Körpers u. s. w. als mechanische Trieb- oder Arbeitskraft benützt.

Die mechanische Bewegung ist es auch, die uns das einfachste Arbeitsmass zur Vergleichung aller arbeitenden Kräfte und überhaupt aller Naturkräfte liefert. Ich muss mir diesfalls erlauben, zum Verständnis des Späteren hier einiges erklärend einzuschalten.

Der Begriff der Arbeit ist offenbar von den Verrichtungen der Menschen und Tiere auf die Leistungen der Naturkräfte und Maschinen übertragen worden. Aber während der Wert der menschlichen Arbeit nicht bloß nach dem damit verbundenen Aufwande von Muskelkraft sondern zum Teile auch nach der dazu

erforderlichen Geschicklichkeit und Intelligenz geschätzt wird (da die geistige Arbeit des Denkens ebenso gut ermüdet wie die Arbeit der Muskeln), ist hingegen die Arbeitsleistung bei Maschinen und Naturkräften nur durch den Kraftaufwand allein bestimmt, und was dabei z. B. an sinnreicher Technik als Wirkung der Intelligenz vorkommt, das kann, weil dem Geiste des Menschen angehörig, nicht dem Werkzeuge desselben als Leistung angerechnet werden.

So wie nun die menschlichen Arbeiten in Grösse und Ausdauer der Muskelanstrengung die verschiedensten Abstufungen erfordern, vom kräftigen Arm des Grobschmiedes an, der den gewichtigen Hammer schwingt, bis zu den zarten Fingern der Stickerin oder Spitzenklöpplerin, die mit kaum sichtbaren Fäden ihr feines Werk vollführt: ebenso erfordern auch die Maschinen wegen der unendlichen Verschiedenheit ihrer zweckdienlichen Bewegungen der verschiedensten Kraft und Geschwindigkeit, von den mächtigen Hammer- und Walzwerken an, welche Eisen wie Butter formen, bis zu den viel- und feingegliederten Spinn- und Webmaschinen, deren Arbeit mit dem Werke der Spinnen wetteifert, eine ebenso grosse Verschiedenheit in der Grösse und Dauer der hiezu erforderlichen Bewegungs- oder Triebkraft.

Nun ist die Grösse der Triebkraft bedingt durch die Grösse des zu überwindenden Widerstandes der Materie und die Dauer derselben durch die Länge des Weges, auf welchem dieser Widerstand zu über-

winden ist. Wenn also z. B. ein durch einen Waldbach getriebenes Wasserrad mit einem aus seiner Achsenwalze hervorstehenden Daumen den Stiel eines schweren Eisenhammers erfasst und den Hammerkopf in die Höhe hebt, oder wenn Menschenhände beim Einrammen von Pfählen in den Erdboden den Rammklotz mittelst der bekannten Vorrichtung in die Höhe ziehen, um ihn dann fallen zu lassen, so besteht die Arbeit des Wasserrades oder der Menschenhände in der Ueberwindung der Schwere des Hammers oder des Klotzes auf der Strecke der Hub- oder Fallhöhe, und es ist leicht einzusehen, dass sowol bei doppeltem Hammer- oder Klotzgewichte für dieselbe Höhe als auch bei gleichem Gewichte für die doppelte Hubhöhe der doppelte Kraftaufwand erforderlich ist.

Um nun die verschiedenen mechanischen Leistungen der Kräfte mit einander vergleichen und sie durch Mass und Zahl ausdrücken zu können, hat man die Ueberwindung der uns am besten bekannten Schwerkraft, also die Hebung einer Last, als einfachste Arbeit der Messung zu Grunde gelegt, und hiebei diejenige Arbeit, welche eine Last von 1 Kilogramm Gewicht in der Secunde auf 1 Meter Höhe zu heben vermag, als Arbeitsmass oder Einheit der Arbeitsleistung festgesetzt und dieses Mass ein „Meterkilogramm“ genannt.

Auf diese Weise wird dann, wenn die bewegte Last oder der Widerstand in Kilogrammen und die Hubhöhe oder Weglänge für die Secunde im Metermass

durch Zahlen gegeben sind, irgend eine Arbeitsleistung durch so viele Meterkilogramme ausgedrückt als das Product aus den Masszahlen der Last und der Weglänge anzeigt.

Dieses Mass lässt sich bei allen Arbeitskräften und Maschinen anwenden. Denn man kann sich z. B. beim Hammerwerk die Wasserkraft durch ein hinreichend schweres Gewicht ersetzt denken, welches am Rade wirkend durch sein Niedersinken von der Höhe dasselbe ebenso bewegen könnte, wie es das fließende Wasser thut; und wenn ich mit der Hand die Triebfeder einer Taschenuhr oder einer Stutzuhr durch drehende Bewegung aufziehe, so könnte dieselbe Arbeit auch von einem an der Drehachse passend angebrachten Gewichte durch sein Niedersinken geleistet werden, und das Product aus dem Gewichte und seiner Fallhöhe gibt mir das Mass der sonst von meiner Hand geleisteten Arbeit. Und so ist die Messung der Arbeitskräfte nach dem vorhin bezeichneten Masse d. i. nach Meterkilogrammen allgemein anwendbar.

Es ist jedoch bezüglich der Fähigkeit, grössere oder geringere Arbeit zu leisten, noch Folgendes zu beachten. Eine Flintenkugel, in der Hand oder auch im Rohre ruhend, ist ein ganz unschuldig Ding; mit der Hand auf dem Tische oder Boden fortgestossen wirkt sie vielleicht schon Kinderspielkegel und Puppen um, und gar aus der Flinte geschossen wirkt sie zerstörend und tödend. Und wenn ich den Kopf eines Hammers auf einen Nagel setze und etwa auch drücke, so reicht

der Druck des Hammers und meines Armes nicht hin, um den Nagel ins Holz zu treiben, sondern dies wird nur der geschwungene und mit grosser Geschwindigkeit auf den Nagel stossende Hammer leisten.

Also hängt die Wirkungsfähigkeit einer bewegten Masse nicht von der Grösse der Masse allein sondern auch von ihrer Geschwindigkeit ab und ist bei doppelter oder dreifacher Geschwindigkeit sogar viermal oder neunmal so gross, und dies führt uns zu dem, was man in der Wissenschaft mit dem Ausdrucke „lebendige Kraft“ oder auch „thätige oder wirkliche Energie“ bezeichnet, d. i. die Wirkungsfähigkeit einer bewegten Masse, zum Unterschiede von der „disponiblen oder Spannkraft“ oder „möglichen Energie“ einer ruhenden Masse, womit man den in einem noch ruhenden Körper z. B. im gehobenen Hammer oder Rammklotz, in der gespannten Bogensehne, in der aufgezogenen Uhrfeder, oder in der geladenen Flintenkugel u. s. w. zuvor angesammelten und daher disponiblen Kraftvorrat bezeichnet, der dann durch Bewegung in „wirkliche Energie“ oder „lebendige Kraft“ übergeht, deren Wirkung für die Zeiteinheit eine grosse oder geringe sein kann, je nachdem der ganze Kraftvorrat rasch und plötzlich wie beim Abschliessen der Kugel, oder nur allmählich wie bei der langsam ablaufenden Uhr, verbraucht wird.

Da also nur bewegte Masse arbeitet und solche Bewegung thatsächlich nicht immer fort dauert, so entsteht die Frage, was denn aus der Bewegung wird,

wenn sie durch irgend eine Gegenwirkung aufhört als solche sichtbar oder fühlbar zu sein, und ihre lebendige Kraft vernichtet erscheint. Man könnte glauben — und in der That begegnet man noch heutzutage solcher Ansicht — dass eben, weil nichts mehr von Bewegung zu bemerken ist, sie auch wirklich aufgehört habe und die Kraft vernichtet sei.

Aber die jetzige Wissenschaft zeigt, dass dies keineswegs der Fall, sondern dass die Bewegung sich nur anders verteilt, d. i. entweder sich nach allen Richtungen hin bis ins Unmerkliche zerstreut oder gar ihre Art und Form geändert und sich in dieser Aenderung der directen Warnemung entzogen habe. Und wenn jemand fragt, was denn in letzterem Falle aus der Bewegung geworden ist, so antwortet ihm teilweise und zunächst der alte Spruch: „Bewegung macht warm“ und dieser Spruch hat eine viel tiefere und allgemeinere Bedeutung als ihm der Volksmund gewöhnlich beilegt.

Ja, Bewegung erzeugt Wärme oder geht in dieselbe über, und dies stets dann, wenn die Massenbewegung eines Körpers beim Zusammentreffen mit anderen Körpern auf irgend eine Art, sei es durch unelastischen Stoss, Schlag, Reibung, Zusammendrücken oder sonst eine Gegenkraft, gehemmt oder verzögert wird. So bleibt das Eisen unter den Hammerschlägen des Schmiedes länger in Glut, als wenn man es ruhig an der Luft liegen lässt, und die Panzerschiffplatten erglühen, wenn sie von den Kugeln aus den ungeheuren

Kanonen der Neuzeit getroffen werden; ebenso erhitzt sich die abgeschossene Kugel beim Aufschlagen am Ziele zuweilen bis zum Lichtblitz. Und indem ich hier in diesen Glascylinder den luftdicht anschliessenden Stempel mit dem daran befindlichen Stückchen Feuerschwamm mit Heftigkeit hineinstosse, wird diese Bewegung von der eingeschlossenen und plötzlich zusammengedrückten Luft nicht sogleich aufgenommen sondern gehemmt und verwandelt sich nun in Wärme, welche der Umgebung mitgeteilt den Schwamm entzündet.* ¹⁾

Bei dieser Gelegenheit möchte ich Sie, hochgeehrte Anwesende, auch erinnern an die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteoriten, deren glänzende Erscheinung darin ihre Erklärung findet, dass Gesteinmassen aus dem Weltenraume bei ihrer planetenartigen Bewegung um die Sonne in den Anziehungsbereich der Erde gelangen und von dieser angezogen bei ihrem Fluge durch die Atmosphäre in Glut geraten und meist verbrennen. Da nemlich diese Meteormassen unserer Erde nach Schiaparelli's Berechnung mit einer wirksamen Geschwindigkeit von circa zwei oder zehn Meilen per Secunde vorseilen oder begegnen, je nachdem sie sich mit der Erde in gleichem oder entgegengesetzten Sinne bewegen, so müssen sie bei ihrem Eindringen in unsere Atmosphäre die Luft vor sich her zu ungeheurer

¹⁾ Ein beigefügtes * deutet an, dass das eben Gesagte zugleich durch das bezügliche Experiment veranschaulicht wurde.

Dichte zusammenpressen und hiedurch in ihrer Bewegung gehemmt werden, und Graf Saint-Robert hat berechnet, dass sie auf diese Weise und durch Reibung an den Luftteilchen schon in den äussersten Schichten der Atmosphäre die grösste Verzögerung erfahren, und sich hiebei an Stelle der verlorenen Bewegung so viel Wärme entwickelt, dass dieselbe ausreicht, um den grössten Teil dieser Körper in Dampf zu verflüchtigen. So werden wir durch die uns umgebende Lufthülle wie durch einen Panzer vor den Verheerungen dieser furchtbaren Himmels-Artillerie geschützt, indem bemerkenswerte Reste nur von jenen Geschossen den Erdboden wirklich erreichen, deren ursprüngliche Masse sehr bedeutend gewesen.

Am bekanntesten aber ist die Wärmeentwicklung durch reibende Bewegung, denn davon überzeugt uns jedes Streichzündhölzchen, jede schlecht geschmierte Radachse bei langer und rascher Drehung so zwar, dass schnell laufende Maschinenräder mit eisernen Achsen sich durch Erhitzung sogar an ihre Lagerpfannen anschweissen können, ebenso jeder rotierende Schleifstein an den glühend wegspringenden Teilchen der zu schärfenden Klinge, dann die Erwärmung unserer trockenen Hände durch kräftiges Reiben derselben bei deutlichem Brandgeruche von der oberflächlichen Versengung der äussersten Hautschichte; und das Verfahren, worüber schon Seneca aus dem griechischen Altertume berichtet, dass die Hirten damals durch drehende Reibung eines spitzen Stabes von hartem Holz in der Höhlung

eines weichen Holzes sich Feuer anmachten, ist bekanntlich in änlicher Weise noch heute bei manchen wilden Völkern gebräuchlich.

Ebenso bekannt ist die merkliche Wärmeentwicklung beim Sägen, beim Feilen und Bohren, namentlich der Metalle, so dass Graf Rumford 1798 durch die drehende Reibung eines stumpfen Stahlbohrers im Kanonenrohre, bei einer Geschwindigkeit von 32 Umdrehungen per Minute, das umgebende Wasser von $18\frac{3}{4}$ Pfund Quantität in $2\frac{1}{2}$ Stunden zum Sieden bringen konnte. Ja der englische Physiker Davy brachte 1802 sogar zwei Eisstücke in einem unter die Nulltemperatur abgekühlten Raume durch Aneinanderreiben zum Schmelzen, und der erwähnte Arzt Mayer constatirte 1842, dass eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, durch schüttelnde oder auch nur fließende Bewegung infolge Reibung der Teilchen an einander und an den Gefäßwänden erwärmt werde.

Ja es lässt sich sogar nachweisen, dass Bewegung selbst dann in Wärme übergeht¹⁾, wenn die bewegte Masse, ohne Berührung oder Reibung mit einem rein mechanischen Hindernisse, nur einen durch eine fernwirkende Kraft, z. B. durch Magnetismus, verursachten Widerstand zu überwinden hat — worauf ich später¹⁾ noch zurückkommen werde.

In allen diesen und unzähligen anderen Fällen wird die Massenbewegung eines Körpers durch irgend

¹⁾ Siehe Seite 30.

eine Einwirkung gehemmt oder verzögert, und dann tritt an Stelle der fürs Auge verschwindenden Massenbewegung im Ganzen stets eine unsichtbare Teilchen- oder Molecularbewegung von gewisser Form ein, die wir Wärme nennen, so dass nun die scheinbar vernichtete oder verlorne „lebendige Kraft“ dennoch als Wärme fort dauert.

Wie nun diese entstandene Wärme mit der verschwundenen Bewegung zusammenhängt, dies zu untersuchen, haben sich seit dem ersten Erkennen dieser Kraftumwandlung viele Forscher mit grösstem Eifer und bestem Erfolge bemüht und übereinstimmend gefunden, dass stets Wärme in demselben Masse auftritt als die sichtbare Bewegung verschwindet, und dass einem bestimmten Quantum mechanischer Arbeit auch ein bestimmtes Quantum hiedurch erzeugter Wärme entspricht oder „aequivalent“ ist.

Insbesondere gebührt dem englischen Physiker Joule das Verdienst, durch seine fast neun Jahre hindurch zu diesem Zwecke mit grösster Sorgfalt angestellten Versuche, indem er durch Reibung sowol fester als flüssiger Körper Wärme erzeugte und mit der hiebei verwendeten Arbeit verglich, zuerst ein ganz bestimmtes Verhältnis zwischen mechanischer Arbeit und Wärme, d. i. das sogenannte „mechanische oder Arbeits-Aequivalent der Wärme“, gefunden zu haben. Er liess z. B. in einem mit Wasser gefüllten Gefässe ein metallenes Schaufelrad durch ein ausserhalb herab-

sinkendes Gewicht in Drehung versetzen; die hiedurch erzeugte Temperaturerhöhung des Wassers ermöglicht ihm die Berechnung der entwickelten Wärmemenge und das Gewicht mit seiner Fallhöhe gab ihm ein Mass für die hiebei verbrauchte Arbeit.

Auf diese Weise fand er stets, dass, um 1 Kilogramm Wasser um 1° C. wärmer zu machen, jedesmal ein Gewicht von 425 Kilogramm um 1 Meter oder 1 Kilogramm Gewicht um 425 Meter herabsinken müsse; also ist die Kraft, welche 1 Kilogramm 425 Meter hoch oder 425 Kilogramm 1 Meter zu heben vermag, d. i. die Kraft von 425 Meterkilogrammen hinreichend zur Erzeugung von so viel Wärme, dass hiedurch die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° C. erhöht wird. Nimmt man nun letztere Wärmemenge als Wärme-Einheit an (auch „Calorie“ genannt), so wie das Meterkilogramm als Arbeitseinheit gilt, so kann man kurz sagen: 425 Arbeitseinheiten können 1 Wärme-Einheit erzeugen oder das mechanische Aequivalent der Wärme beträgt 425 Meterkilogramme.

Aber eben dieser Zusammenhang zwischen Bewegung und Wärme findet auch in umgekehrter Richtung statt, d. h. Wärme erzeugt wieder Bewegung oder mechanische Arbeit, wobei Molecularbewegung in Massenbewegung übergeht, und die Wärme eine Arbeit verrichtet, welche der hiebei verschwindenden Wärmemenge proportional ist.

Dass Wärme Bewegung erzeugt oder als Bewegung auftritt, geht am einfachsten daraus hervor, dass ihre Wirkung auf die Körper stets in der Ausdehnung der Materie, somit im Auseinandertreiben ihrer Teilchen besteht. Beruht ja doch auf dieser Ausdehnung all' unsere Wärmemessung; denn in allen unseren Thermometern der verschiedensten Einrichtung ist es irgend ein fester, tropfbarer oder luftförmiger Körper, der bei Einwirkung von Wärme entweder durch sichtbare eigene Bewegung oder durch die eines Zeigers uns die Grösse der Kraft schätzen lässt, welche ihn in Bewegung gesetzt hat.

In zahlreichen Fällen aber wird diese durch die Wärme erzeugte Ausdehnung der Materie zur Ueberwindung eines äusseren Widerstandes, also zur Verrichtung einer mechanischen Arbeit, nutzbar gemacht, wie z. B. bei der Dampfmaschine, welche durch diese Umwandlung von Wärme in Bewegung auch gleichsam den ganzen Zustand der menschlichen Gesellschaft umgewandelt hat. Und diese praktische Ausnützung der Wärme als Arbeiterin im Dienste des Menschen würde noch in viel höherem Masse möglich sein, wenn nicht ihre lebendige Kraft so häufig zum Teil schon im Innern des Körpers durch den Kampf mit der Molecularanziehung in Anspruch genommen wäre, zum Teil aber auch in der umgebenden Materie Nebengeschäfte z. B. Erwärmung und Ausdehnung der Gefässwände u. dgl. verrichten würde, welche nicht zum beabsichtigten Zwecke gehören und nur die Kraft teilweise zersplittern.

Sobald nun bei solcher Ausdehnung irgend ein Widerstand zu überwinden, also mechanische Arbeit zu leisten ist, wie z. B. der Dampfkolben fortzuschieben, oder sei es auch nur der gewöhnliche Luftdruck allein, so verschwindet für diese Arbeit einige Wärme, indem die Materie in dem Masse erkaltet als sie sich ausdehnend dabei wirklich arbeitet. Machen wir ja doch selbst alltäglich bei Tisch oder anderen Gelegenheiten hievon eine praktische Anwendung, indem wir auf heisse Gegenstände aus zugespitztem oder verengtem Munde blasend, dieselben abzukühlen suchen, weil die zwischen den verengten Lippen durchgepresste Atemluft sodann bei der Arbeit der raschen Selbstaudehnung in der dabei zu überwindenden äusseren Luft einen Teil ihrer Wärme einbüsst und dadurch abgekühlt wieder kühlend wirkt.

Also kann man sagen, dass, wenn Arbeit entsteht, hiefür Wärme vergeht, und es haben die zahlreichen und sorgfältigen Versuche hierüber das schon früher erwähnte Verhältnis zwischen Wärme und Bewegung stets auch in umgekehrter Richtung ergeben, nemlich: dass für jede durch Wärme geleistete Arbeit von 425 Arbeitseinheiten 1 Wärme-Einheit oder Calorie verschwindet, oder jede Wärme-Einheit eine Arbeit verrichten kann, welche 425 M. K. gleichkommt, also wieder das mechanische Aequivalent der Wärme 425 M. K. beträgt.

Somit stehen Bewegung und Wärme in inniger Wechselwirkung, und ist ihr Zusammenhang durch

ihr gegenseitiges Massverhältnis auch in mathematischer Weise festgestellt.

Aber Wärme ist nicht die einzige Verwandlungsform für die mechanische Bewegung. Man hat, da die Wärmeerzeugung durch Reibung so auffallend ist, darüber lange Zeit dies übersehen, dass unter gewissen Umständen die mechanische Bewegung bei der Reibung auch in Elektrizität übergehe, nemlich gewis dann, wenn die einander reibenden Körper an den Reibungsflächen ungleichartig sind. Ja man kann allgemein behaupten, dass immer da, wo bei den aufeinander einwirkenden Körpern eine freilich in der Wirklichkeit kaum herzustellende vollkommene Gleichartigkeit in jeder Beziehung stattfindet, durch Reibung oder Stoss nur Wärme und nicht Elektrizität entsteht, dass aber bei ungleichartigen Körpern durch solche Bewegung jedesmal Elektrizität auftritt, wenn gleich diese auch von mehr oder weniger Wärme begleitet ist.

War ja doch — wie ich dies bereits am Eingange meines Vortrages im verflossenen Vereinsjahre erwähnt habe — die Reibung jene Quelle der Elektrizität, durch welche diese zuerst bekannt wurde, und ist es eben die reibende Bewegung, wodurch wir an der allbekanntesten gewöhnlichen Reibungs-Elektrisiermaschine so grosse Mengen von Elektrizität zu erzeugen vermögen. Dies gilt auch von Flüssigkeiten und Dämpfen, und das Elektrischwerden des aus dem Sicherheitsventile der Dampfmaschine ausströmenden Wasserdampfes durch seine Reibung im Innern der Ausströmröhre gab (1840) dem

Engländer Armstrong Veranlassung zur Construction seiner Hydro- oder Dampf-Elektrisiermaschine.

Auch jede Muskelbewegung im menschlichen und thierischen Körper wirkt elektrisch. Fasst man z. B. diese Metallcylinder hier, mit denen die Drat-Enden dieses sogenannten „Multipliers“ der Stromwirkung versehen sind, in welchem ein dünner Drat in zahlreichen, ja mehreren tausend Windungen ganz nahe an einer kleinen sehr empfindlichen Magnetnadel vorbei und herumgeht, mit befeuchteten beiden Händen und drückt dann mit der einen Hand kräftig den zugehörigen Metallgriff, so weicht die Nadel aus ihrer bisherigen mit der Ebene der Windungen parallelen Lage seitwärts ab, als Zeichen eines elektrischen Stromes. Ein Druck mit der andern Hand bewirkt eine Nadelablenkung auf die andere Seite, und es lässt sich so durch wiederholtes Drücken mit abwechselnden Händen die Nadel in bedeutende Schwingungen versetzen, welche freilich in einer grossen Versammlung, wie hier, nur durch besondere optische Vorrichtungen auch in der Ferne ersichtlich würden.

Und was ist es bei einer solchen sogenannten „Influenz-Elektrisiermaschine“, bei der man mittelst einer ganz geringen zuvor durch Reibung erzeugten Menge von Elektrizität, wie Sie sehen, weiters nur durch fortgesetzte Drehbewegung ohne Reibung immer neue Mengen von kräftiger Spannungselektrizität erlangen kann, * und ferner bei den verschiedenen magnetelektrischen Rotationsmaschinen (eine solche ist auch diese hier, welche ich später gebrauchen

werde) deren kräftige elektrische Ströme man zum Minenzünden und zur Erzeugung intensiver sonnenartiger Beleuchtungseffecte verwendet — was ist es da anders als eine Umwandlung mechanischer Arbeit in Elektrizität.

Umgekehrt tritt Elektrizität oft als bewegende Kraft auf, wenn sie gleich nicht geeignet erscheint, mit Vorteil eine praktische Anwendung als neue Arbeitskraft zu finden. Dies zeigt zunächst die Spannungselektrizität durch ihre Anziehung und Abstossung, dann im Durchbohren eines nichtelektrischen Körpers durch den elektrischen Funken und vor Allem in der mechanischen Wirkung des Blitzes. Auch die strömende Elektrizität erzeugt Bewegung, infolgederen nach den vom französischen Gelehrten Ampere entdeckten Gesetzen bewegliche Leiter desselben Stromes oder verschiedener Ströme, je nach ihrer gegenseitigen Richtung und Stellung, einander anziehen oder abstossen, und sich einem Magnete gegenüber stets mit ihm in rechtwinklig gekreuzte Lage zu stellen suchen.

Fügt man zu diesen Bewegungserscheinungen noch hinzu, dass die Electricität einen innerhalb der Windungen des Leitungsdrates befindlichen Eisenstab auch zum Tönen bringt, also Schallschwingungen erregt, dass ferner die Elektrizität, durch den menschlichen Körper geleitet, heftige Erregung der Nerven und zuckende Bewegung und Verzerrung der Muskeln erzeugen kann, so dass man hiedurch, z. B. an Leichen noch vor dem Eintritte der Todesstarre sogar die Ge-

sichtsverzerrungen heftiger Gemütsaffecte, namentlich des Wahnsinnlachens, der Wut und der verzweifelnden Angst, hervorbrachte: so erhellt aus all' dem Vorigen, dass auch zwischen Bewegung und Elektrizität eine Wechselwirkung besteht, so dass beide gegenseitige Verwandlungsformen sind und daher Elektrizität selbst auch eine, wenn gleich bis jetzt nicht näher bekannte, Bewegung kleinster Teilchen ist, wie denn auch die Gelehrten darüber im Allgemeinen einig sind.

Insbesondere ist es die galvanische Elektrizität, welche nicht nur ihre eigene vielfache Wechselbeziehung zu den andern Kräften am deutlichsten offenbart und ihr Massverhältnis zu ihnen leicht ermitteln lässt, sondern auch, weil gerade sie am häufigsten als Bindeglied und Uebergangsform zwischen diesen Kräften erscheint, eben durch ihre Rolle als Vermittlerin auch die übrigen Kräfte untereinander vergleichend zu messen gestattet.

Die Erscheinungen nun, in denen diese Elektrizität, ganz oder teilweise sich in andere Formen verwandelnd, gleichsam als neue Kraftart auftritt, und die Fortdauer ihrer lebendigen Kraft oder Energie sich bald in Form von Wärme kundgibt, wodurch sie Körper zum Erglühen, Schmelzen, Entzünden bringen kann, selbst unter Wasser, bald in Form des elektrischen Lichtes, dessen Helligkeit mit der Sonne wetteifert und für Strassen- und Landschaftsbeleuchtung, auf Leuchttürmen, bei Mikroskopen und in der Photographie zweckmässige Verwendung findet, bald in der Form

des kräftigsten Elektromagnetismus, der als Lichtregulator, als mechanische Triebkraft, als Schrift- und Zeitlegraph so wichtige Arbeit verrichtet, bald in Form von chemischer Kraft, deren schönste Leistung die Galvanoplastik ist, bald in zweien oder mehreren dieser Formen zugleich — diese Erscheinungen, sage ich, wurden nicht nur zum Teile bereits im verflossenen Vereinsjahre (wenn gleich nicht vom Standpunkte des heutigen Themas, nemlich gelegentlich eines Vortrages über das transatlantische Kabel) in Kürze erklärt und teilweise experimentell veranschaulicht, sondern es wird auch dasselbe geehrte Vereinsmitglied, dem heurigen Programme gemäss, nächstens die Güte haben, dieselben näher zu besprechen.

Ich kann daher sogleich übergehen auf die Rückumwandlung der soeben genannten Kraftformen in Elektrizität und ihre Wechselbeziehung untereinander.

So geht Wärme direct in Elektrizität über in jenen Erscheinungen, die man unter dem Namen „Thermo-Elektrizität“ zusammenfasst. So erlangen der Turmalin und einige andere Krystalle, auch Zucker, durch Erwärmung elektrische Spannung mit zwei entgegengesetzt elektrischen Polen. Und wenn man an dem früher erwähnten Multiplicator-Nadelapparat das eine Dratende zum Rotglühen erhitzt und dann mit dem andern in Berührung bringt, so zeigt die sogleiche Ablenkung der Nadel eine elektrische Strömung an.

Viel stärker ist diese elektrische Wirkung der Wärme, wenn — wie hier — an zwei Stäben von ver-

schiedenen Metallen, z. B. Zink und Kupfer, oder am besten Antimon und Wismut, welche mit ihren umgebogenen Enden in Form eines rechtwinkligen Rahmens zusammengelötet sind, eine der beiden Lötstellen erwärmt wird. * Der hiedurch in einem solchen sogenannten „thermo-elektrischen Element“ erzeugte elektrische Strom, hier wieder erkennbar an der Ablenkung der zuvor in der Ebene des Rahmens befindlichen Magnetnadel, erscheint desto stärker, je grösser der Temperaturunterschied der beiden Lötstellen ist, mithin am stärksten, wenn zugleich die andere Lötstelle künstlich abgekühlt wird.

Durch passende Zusammenstellung vieler solcher Stäbe-Paare von zwei abwechselnd aneinander gereihten Metallen zu einer sogenannten „thermo-elektrischen Säule“ oder Batterie, hat man die elektrische Wirkungsfähigkeit der Wärme zu verstärken gewusst und hiedurch einerseits kräftigere Wirkungen erzielt, z. B. mittelst der dachförmigen Thermosaule von Markus (1864) oder der bis jetzt relativ stärksten von Noë (1870), gleich dieser hier, die eben jetzt mit Gas geheizt, wie Sie sehen, (mit Hilfe des durch ihren elektrischen Strom erzeugten Magnetismus) einen sogenannten Motor mit einem damit verbundenen kleinen Pumpbrunnen treibt, * andererseits durch Verbindung einer anders construirten Wismut-Antimon-Säule mit einem „Multiplier“ nach Melloni und Nobili (1833) eine solche Empfindlichkeit der Apparate erreicht, dass diese die feinsten Wärme-Änderungen und Unterschiede an

Körpern durch einen elektrischen Strom anzeigen und so für die Untersuchungen über Wärme bisher unübertriffene Dienste leisten.

Da also überhaupt ungleiche Erwärmung oder ein Temperaturunterschied das Auftreten von Elektrizität zur Folge hat, so müssen zahllose elektrische Ströme allerorten stattfinden, und besonders auch im Erdkörper durch den teilweisen Uebergang der einwirkenden Sonnenwärme in Elektrizität beständig solche Ströme kreisen.

Und gar der Magnetismus steht mit der Elektrizität in so innigem Wechselverhältnisse, dass sich beide Kräfte getrennt von einander kaum mehr denken lassen. Ja, ein Magnet verhält sich wie ein Körper, dessen kleinste Teilchen von beständigen elektrischen Strömen in gleicher zur Magnetaxe senkrechten Richtung umkreiset werden, oder mit Zusammenfassung dieser Teilchenströme ist der Magnet vergleichbar mit einem gegen seine Axe rechtwinklig gerichteten elektrischen Kreisstrom oder auch mit einem vom elektrischen Strome durchflossenen schraubenförmigen Drate („Solenoid“ genannt), der somit in freibeweglichem Zustande sich in eben solche Gleichgewichtslage stellt wie eine Magnetnadel. Deshalb suchen ein Magnet und ein Stromleiter, wenn einer oder beide beweglich sind, sich stets rechtwinkelig gegen einander zu stellen, weil dadurch der gedachte Kreisstrom des Magneten mit dem anderen Stromleiter parallel zu liegen kommt, und bewegliche

Ströme, wie früher erwähnt, sich immer parallel zu stellen suchen.

Also Magnetismus ist sozusagen auch Elektrizität und muss daher im Bewegungszustande wieder Elektrizität hervorrufen. In der That entsteht bei rascher Annäherung oder Entfernung eines Magnetpoles, oder so oft im weichen Eisen Magnetismus entsteht oder verschwindet, oder seine Stärke sich ändert, in einem nahen geschlossenen Leiter ein momentaner elektrischer Strom, und es müssen somit derlei rasch aufeinanderfolgende Veränderungen eben so viele elektrische Ströme erzeugen, deren rasche Folge beliebig bis zum Unmerklichwerden der Unterbrechungen gesteigert und so gleich einem dauernden Strome wirksam werden kann.

Eine praktische Anwendung dieser sogenannten „Magneto-Elektrizität“ hat man in den nach ihrem Erfinder Pixii 1832 seither vielfach verbesserten Magnet-Elektrisiermaschinen, welche unter anderen Wirkungen namentlich auch zum Entzünden von Sprengminen verwendet werden, dessen Möglichkeit Sie hier an dieser so eben in Gang gesetzten Maschine einfacher Art aus dem Erglühen des Platindrates und Auf-flammen des daran gehaltenen Zündhölzchens * ersehen, und welche in ihrer bisher grössten und besten Construction nach Nollet und van Malderen (in Brüssel) seit Jahren schon in Frankreich zur Lichterzeugung für Leuchttürme und andere Beleuchtungszwecke dienen.

Es besteht somit innige Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus, ausge-

drückt durch die beiden nicht zu verwechselnden Worte „elektromagnetisch“ und „magneto-elektrisch“ deren jedes anzeigt, welche von beiden Kräften als frühere die andere hervorruft, oder (nach einer wissenschaftlichen Bezeichnung) „induciert“.

Und auf dieser wechselseitig „inducierenden“ Wirkung beruht die sinnreiche Einrichtung der in der neuesten Zeit erfundenen Elektromagneto- und Magnetelektro-Inductionsmaschinen von grossartiger Wirkung, worunter ich vorzugsweise hervorhebe jene ersterer Art von Ruhmkorff (einem Deutschen in Paris), welche insbesondere auch äusserst kräftige Spannungselektricität von stets erneuerter Kraft erzeugt, und von der zweiten Art, die auf der Pariser Ausstellung 1867 Aufsehen machte, ausser den beiden von Siemens (in Berlin) und von Ladd (in London) die bisher effectvollste unter allen von Wilde (in Manchester), welche — mit 16 grossen Stahlmagneten und mit Elektromagnet-Platten von 4 Fuss Höhe und 14 Centner Kupferdratwindungen bei einer mittelst einer Dampfmaschine von 15 Pferdekraften ¹⁾ bewerkstelligten Drehgeschwindigkeit der Inductionscylinder von 1500 Umdrehungen per Minute — ein Kohlenlicht erzeugt, das an Glanzwirkung der Mittagsonne gleicht und seine stralende Wärme der ausgestreckten Hand noch in 150 Fuss Entfernung fühlbar macht, und welche einen Platinstab von 2 Fuss Länge und $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke zum Schmelzen bringt.

¹⁾ Eine Pferdekraft = 75 Meterkilogrammen.

Bei diesem innigen Zusammenhange zwischen Magnetismus und Elektrizität einerseits und zwischen letzterer und der Wärme andererseits muss es daher auch eine Wechselbeziehung zwischen Wärme und Magnetismus geben. In der That verliert der Magnet durch Erhitzung mehr und mehr und in der Glühhitze vollends seine Kraft; ebenso erfährt umgekehrt weissglühendes Eisen vom Magnete keine Anziehung. Ferner werden bei länger fortgesetzter Thätigkeit der eben erwähnten Inductionsmaschinen zweiter Art die Eisenkerne der rotierenden Inductoren durch den äusserst raschen Polwechsel ihres Magnetismus immer mehr und sogar bis zur Verkohlung der isolierenden Hülle ihrer Dratwindungen erhitzt, und somit gewissermassen Wärme durch Magnetismus erzeugt.

Eine Art Wärme-Erzeugung durch magnetischen Einfluss findet auch bei dem sogenannten „Rotationsmagnetismus“ statt. Nach des französischen Physikers Arago Entdeckung versetzt nemlich eine rotierende Kupferscheibe einen nahen, leichtbeweglichen Magnet gleichfalls in Drehung, selbst dann, wenn letzterer vor dem Einflusse der von der Kupferscheibe veranlassten Luftbewegung durch eine Glastafel geschützt ist. Hindert man nun diese Drehung des Magnetes, so wirkt der Magnet auch hemmend zurück auf die Bewegung der Kupferscheibe, und diese wird hiedurch warm, weil ein Teil der Bewegung verschwindet.

Dieses findet schon in bedeutendem Grade statt, wenn man nach der Weise des französischen Physikers

Foucault — an einem Apparate gleich diesem hier — die Kupferscheibe zwischen den Polen eines feststehenden kräftigen Elektromagneten mittelst Kurbel- und Räderwerk in möglichst schnelle Rotation zu versetzen sucht; es ist hiebei, als ob eine unsichtbare Kraft die Bewegung hemmte, wogegen ohne Wirksamkeit des Magneten die Drehung mit Leichtigkeit erfolgt. Ich muss nun schon die hochgeehrten Anwesenden, besonders in meiner näheren Umgebung, um Entschuldigung bitten wegen des unangenehmen Lärmes, den die Rotation ein paar Minuten hindurch verursachen wird. * Ich ersuche Sie nun, sich gefälligst sogleich durch Berührung der Scheibe mit der Hand von der auffallend höheren Temperatur derselben überzeugen zu wollen.

Bei einem solchen von Foucault selbst angestellten Versuche war die Temperatur der Kupferscheibe nach drei Minuten von 10° auf 61° C. gestiegen. Der englische Physiker Tyndall aber liess zwischen den Polplatten eines Ruhmkorff'schen Elektromagneten anstatt der Scheibe einen hohlen Metalcyliner, mit leicht schmelzbarem Metallsand oder einem Pulversatz oder Wasser gefüllt und leicht verschlossen, um seine Längennachse möglichst rasch rotieren und brachte so das Metall zum Schmelzen, das Pulver zum Entzünden und das Wasser zum Kochen.

Diese beiden Versuche nach Foucault und Tyndall, nebstdem dass sie als eclatante Fälle von Umwandlung gehemmter Bewegung in Wärme ohne irgend eine Berührung gelten müssen, wie ich dies

schon früher¹⁾ angedeutet hatte, zeugen zugleich auch deutlich von einem Einflusse des Magnetismus auf die Wärme, wenn er auch warscheinlich hiezu einer Vermittlung durch die von ihm in dem rotierenden Metallkörper „inducierten“ elektrischen Ströme bedarf.

Ebenso wirkt der Magnetismus auf das Licht ein und findet überhaupt eine Wechselbeziehung zwischen dem Lichte und der elektrischen und magnetischen Kraft statt, wenn gleich selbê meist nur durch feinere Versuche nachweisbar ist, deren nähere Erwähnung ich wol wegen Kürze der Zeit übergehen muss.

Ueberhaupt ist das Licht diejenige Kraft, deren Wechselbeziehungen zu den übrigen Kräften am spätesten erkannt wurden und häufig auch minder auffällig erscheinen.

Dass Wärme Licht hervorrufft, ist wol allbekannt, und ich könnte sogleich darüber hinweggehen, wenn ich nicht dies erklärend beifügen zu müssen glaubte, dass denn doch die Beziehung zwischen Wärme und Licht nicht derartig ist wie zwischen Wärme und den übrigen Naturkräften, indem Wärme und Licht nicht so deutlich verschiedene Kräfte sondern vielmehr nur verschiedene Arten derselben Kraft sind, wie dies die Uebereinstimmung der Gesetze der stralenden Wärme mit denen des Lichtes beweist. Dennoch ist Wärme und Licht keineswegs dasselbe, wie dies schon aus der verschiedenen Durchgängigkeit durch einen und denselben

¹⁾ Seite 15.

Körper hervorgeht, und Tyn dall hat es verstanden, im elektrischen Lichtbogen die dunklen Wärmestralen von den leuchtenden Stralen zu sondern.

Ein Uebergang von Wärme in Licht findet aber nicht nur bei hinreichender Steigerung der Wärme statt, sondern auch dann, wenn man in erhitztes Gas, das bis dahin gar nicht oder kaum bemerkbar leuchtete, einen festen unverbrennlichen Stoff einführt, der dann sogleich mit blendendem Lichte erglänzt, wie dies beim Drummond'schen Kalklicht der Fall ist.

Umgekehrt geht Licht in Wärme über in jenen Fällen, wo Licht durch einen Körper nicht durchgelassen sondern verschluckt oder „absorbiert“ wird, und zwar tritt Wärme auf in demselben Masse als Licht verschwindet, so dass die „lebendige Kraft“ der regelmässigen feinen Teilchenschwingungen, welche das Licht ausmachen, nicht vernichtet sondern in Wärme übergegangen ist. Dieses nachzuweisen, erfordert allerdings wieder besonders feine und sorgfältige Versuche.

Aber allbekannt und auch auffällig genug ist die chemische Wirkung des Lichtes. Bekannt ist zunächst der wichtige Einfluss des Lichtes auf das Tier- und Pflanzenleben; nur unter seinem Einflusse in Verbindung mit der Wärme ist die Pflanze fähig, die aus der Luft und dem Boden entnommenen Nahrungsmittel zu verarbeiten und dadurch gedeihend auch dem Menschen und Tiere zur Nahrung zu dienen; nur am Lichte ist sie fähig, den Kohlenstoff und die Kohlenwasserstoffe in sich abzulagern, und so für uns Heiz- und

Leuchtmaterialien zu bereiten; und auch für unseren Körper und den tierischen Organismus überhaupt steht die Lebhaftigkeit des Stoffwechsels, wiederholten experimentellen Proben zufolge, mit dem Lichte in engem Zusammenhange, wie ja auch der verschiedene Einfluss eines freundlichlichten Aufenthaltsortes und eines finsternen Kerkerraumes hinreichend bekannt ist.

Während nun diese genannten Veränderungen im Organischen, welche alle chemischer Natur sind, durch die Kraft des Lichtes gleichsam ganz im Stillen und nur allmählich vor sich gehen, tritt in anderen Fällen ihre chemische Wirkung mehr rasch und auffällig, man möchte sagen, mit einem gewissen Eclat vor unsere Sinne. So bleibt Chlorwasser, womit man ein Glas gefüllt und umgekehrt in eine Tasse mit Wasser gestellt hat, im Dunkeln unverändert; im Lichte jedoch, besonders im Sonnenlichte, sammelt sich alsbald im oberen Teile des Glases eine farblose Gasart, die sich dann als Sauerstoff charakterisiert, und die Flüssigkeit im Glase wirkt auf blaues Probepapier nicht mehr bleichend wie zuvor, sondern rötend und schmeckt sauer; man erkennt sie als „Salzsäure“ d. i. eine chemische Verbindung des Chlors mit dem aus dem Wasser genommenen Wasserstoff. Eben diese beiden Gase, Chlor und Wasserstoff, im freien Zustande im Dunkeln mit einander gemengt und bewart, verbinden sich auf diese Weise nicht, dagegen im gewöhnlichen Tageslichte allerdings, doch nur allmählich, aber im plötzlich auffallenden Sonnenlichte augenblicklich mit heftiger Explosion.

Besonders sind es einzelne Stoffe, die sich durch ihre Empfindlichkeit gegen das Licht auszeichnen und unter dem Einflusse desselben rasch, ja sogar im Augenblicke, eine derartige Veränderung erfahren, dass sie sich nun auch gegen andere hinzutretende Stoffe ganz anders verhalten als ohne Lichteinwirkung. Und eben aus der praktischen Benützung solcher unmittelbar durch das Licht bewirkten chemischen Veränderungen der Stoffe gieng als eine der schönsten Erfindungen unserer Zeit die Photographie hervor, welche somit zunächst auf der chemischen Wirkung des Lichtes beruht.

Umgekehrt bringt chemische Thätigkeit auch Licht hervor, wie sich dies z. B. beim Aufblitzen des Schiesspulvers und Verbrennen des Phosphors zeigt.

Ebenso übt die Wärme einen directen Einfluss auf die chemische Anziehung der Stoffe, indem sie bald Zersetzungen bald Verbindungen derselben einleitet. Bekannt ist z. B. einerseits das Kalkbrennen, indem aus dem Kalkstein durch Erhitzung die Kohlensäure in Luftform ausgetrieben wird, andererseits dagegen die Bildung von Kohlensäure und Kohlenoxydgas dadurch, dass Kohle sich bei gewissem Hitzegrade mit dem Sauerstoff der Luft innig verbindet. Eine befriedigende Erklärung davon, wie denn die Wärme solche chemische Wirkungen von entgegengesetzter Art, wie Trennung und Verbindung, hervorbringen kann, vermag die Wissenschaft bis jetzt noch nicht zu geben. Wie dem aber auch sei, die Beziehung der Wärme zur sogenannten chemischen Verwandtschaft ist eine offenbare Thatsache, und dem

Chemiker ist die Wärme eines der wirksamsten Mittel zur Verbindung und Trennung der Stoffe.

Umgekehrt entsteht auch Wärme direct durch chemische Anziehung. Dies zeigt zunächst die Erzeugung unserer eigenen Lebenswärme durch die im Innern unseres Körpers stattfindenden chemischen Vorgänge, namentlich den Atmungs- und Ernährungsprocess, ferner die Erhitzung beim Vereinigen von Säuren, besonders Schwefelsäure, mit Wasser; ja in dem Falle, wenn man eine Mischung von Schwefelsäure und Salpetersäure auf Terpentin giesst oder ein Gemenge von Zucker und chloresurem Kali (Kaliumchlorat) auf Schwefelsäure tropfen streut, bricht die erhitzte Masse sogar in Flammen aus. Ueberhaupt gibt es keine Ausnahme, wo eine eigentliche chemische Vereinigung von Stoffen nicht auch Wärme erzeugt.

Und nun gar die Electricität steht in enger Beziehung zur chemischen Kraft, welche sich in bestimmter Richtung durch eine Reihe von Teilchen geltend macht. Bei einer gewöhnlichen galvanischen Kette entsteht der elektrische Strom zweifellos aus der chemischen Thätigkeit zwischen den Metallen und Flüssigkeiten. Dies zeigt sich selbst bei demselben Metalle in zwei Flüssigkeiten, z. B. Gold wird weder von Salzsäure noch von Salpetersäure chemisch angegriffen, wol aber von einem Gemische aus beiden, dem sogenannten „Königswasser“; bringt man nun beide Säuren in getrennte Gefässe so, dass sie durch eine poröse Scheidewand aneinander grenzen, und taucht in jede

Säure abgedrückt einen Draht oder Streifen von Gold, so zeigt sich weder chemische noch elektrische Thätigkeit; im Momente aber, als man die beiden Golddrähte ausserhalb miteinander verbindet, beginnt die Auflösung des Goldes in der Salzsäure und circuliert ein elektrischer Strom in der so geschlossenen Kette.

Es gibt überhaupt keine chemische Thätigkeit, bei welcher nicht auch eine Erregung von Elektrizität nachweisbar wäre, und hiebei steht die Elektrizitätsmenge stets genau im Verhältnisse zu der Grösse der chemischen Thätigkeit, durch die sie erzeugt wird, und auch die Fähigkeit des Stromes, Widerstände zu überwinden, entspricht der Stärke der chemischen Anziehung, so dass die elektrische Thätigkeit diesfalls geradezu als die Folge einer chemischen erscheint.

Diese Beziehung zwischen Elektrizität und chemischer Kraft findet sich auch in unserem Körper wie überhaupt im tierischen Organismus, da dieser zufolge so vieler chemischer Processe in seinem Innern auch elektrische Thätigkeit in sich birgt. Dies bezeugen die beständigen Muskel- und Nervenströme, deren Existenz und Gesetzmässigkeit in neuerer Zeit durch die trefflichen Untersuchungen von Du Bois-Reymond klar und bestimmt nachgewiesen wurde, denen gemäss jeder Muskel und jeder Nerv eines jeden Menschen und Tieres immer von elektrischen Strömen durchzogen ist und elektrisch erregend wirkt. Diese elektrische Thätigkeit nimmt in gleichem Masse wie die Erregbarkeit

der Muskeln und Nerven ab und hört also erst mit dem Eintritte der Todesstarre vollends auf.

Erwägt man hiezu noch, dass auch die von aussen kommende Elektrizität in unserem Körper nebst den schon früher erwähnten zuckenden und krampfhaften Bewegungen der Muskeln und Nerven und der dadurch erzeugten meist schmerzhaften Gefühlsempfindung auch andere Sinnesempfindungen erregt, wie z. B. einen Lichtblitz im Auge, ein Sausen im Ohre und je nach Verschiedenheit des Poles einen sauren oder laugenhaften Geschmack auf der Zunge, wenn man nemlich einen schwachen elektrischen Strom nahe dem Auge, dem Ohre oder auf der Zunge ein- oder austreten lässt; nimmt man ferner hinzu noch die schon früher erklärte Beziehung zwischen Licht und Wärme und chemischer Thätigkeit im Innern der organischen Körper: so geht schon daraus hervor, dass die Wechselwirkung und Verwandlung der Kräfte auch in die organische Natur hinübergreift und da ebenfalls ihre volle Geltung hat, wenn es mir auch die Kürze der Zeit nicht erlaubt, dies noch näher auszuführen.

Ebenso stehen auch die Molecularkräfte, insbesondere die Molecularanziehung, durch welche die Art des Zusammenhanges der Körperteilchen (Aggregatform), der krystallinische Bau, die Elasticität u. s. w. bedingt sind, in offener Beziehung zu den übrigen Kräften, da die Wirkungen der letzteren entweder deutlich die moleculare Structur der Körper verändern oder doch auf eine solche Aenderung zu schliessen nötigen,

und umgekehrt selbst wieder durch diese vielfach modificiert werden. Und was die Schwerkraft oder allgemeine Massenanziehung betrifft, so ist ihre Beziehung zu den andern Kräften gewissermassen schon in jener der Bewegung mit einbegriffen, da ja die zur Erscheinung kommenden Wirkungen der Schwere sich durch Bewegung und Widerstand gegen Bewegung äussern.

So stehen also im ganzen Bereiche der Natur alle die verschiedenen Kräfte der Materie, deren ich fast jede einzelne in ihrer Beziehung zu jeder andern Ihnen, hochgeehrte Anwesende, soeben gleichsam vorgeführt habe, mit einander durch Wechselwirkung und gegenseitige Verwandlung in innigem Zusammenhange.

Diese Umwandlungen finden in der Natur fortwährend und in endloser Kette statt. Ja wir selbst benutzen häufig bei unseren Maschinen eine lange Reihe von wechselnden Kräften bis hin zu der als eigentlichem Zwecke beabsichtigten Wirkung. Nennen wir z. B. eine mittelst einer Dampfmaschine getriebene magneto-elektrische Inductionsmaschine, wie ich sie zuvor erwähnt habe, so beginnt da die Reihe mit der chemischen Kraft in der Verbrennung der Kohle; hiedurch entsteht Wärme, diese verwandelt das Wasser durch „innere Arbeit“ in Dampf und gibt diesem durch Verstärkung seiner Molecularbewegung eine höhere Spannkraft; diese wirkt auf den Kolben und erzeugt dessen Massenbewegung, verrichtet also mechanische Arbeit; infolge dieser rotiert mittelst geeigneter Verbin-

dung der Inductor zwischen den Polen des Magnet-systems; dessen Einwirkung erzeugt Elektrizität in den Dratwindungen, diese wieder in Eisencylindern oder Platten Magnetismus, dieser in seinem Entstehen und Verschwinden wieder Elektrizität, und so auf diese Weise eine verstärkte elektrische Kraft, welche etwa in den unter Wasser befindlichen Kohlenspitzen als einem Teile des Stromleiters Erhitzung zum Glühen mit intensivem Lichte und auch chemische Zersetzung des Wassers erzeugt.

Hier haben wir eine ganze Reihe von wechselnden Kräften aller Arten an diesem Zusammenwirken von zwei ganz verschiedenen Maschinen, nemlich der Dampfmaschine und der elektrischen Maschine, wobei in ersterer chemische Kraft mittelbar in mechanische, in letzterer wieder die mechanische mittelbar in chemische umgesetzt wird.

Ja wir haben sogar in den meisten Fällen deutlich die gleichzeitige Erregung mehrerer Kräfte, so dass kaum je eine für sich allein erregt werden kann, ohne zugleich von Erscheinungen anderer Kräfte begleitet zu werden, gleichsam wie beim Webstuhl,

„Wo Ein Tritt tausend Fäden regt,
Die Schifflin herüber hinüber schiessen,
Die Fäden ungesehen fiessen,
Ein Schlag tausend Verbindungen schlägt“

und man kann wol behaupten, dass da, wo eine oder die andere jener Kräfte bei irgend einer Erregung der Materie nicht in bemerkbaren Wirkungen hervortritt,

nur unsere Warnemungsmittel nicht fein und empfindlich genug sind, um sie zu entdecken.

Die Erklärung aber aller dieser mannigfaltigen Verwandlungen nach Art und Mass liegt in der Unzerstörbarkeit der einmal vorhandenen Kraft oder mit dem wissenschaftlichen Ausdrucke in dem Gesetze der „Erhaltung der Kraft oder Energie“, welche ebensowenig in Nichts verschwinden kann als die Materie selbst. Demgemäss kann keine Kraft absolut vernichtet sondern nur in andere Form verwandelt, aber auch keine neu geschaffen werden, oder wie Helmholtz sagt, „die Summe der wirkungsfähigen Kraftmengen im Naturganzen bleibt bei allen Veränderungen in der Natur ewig und unverändert dieselbe“.

Daher tritt anstatt jeder für unsere Warnemung verschwindende Menge von Kraft der einen Form eine äquivalente Menge von Kraft einer anderen Form als Ersatz an die Stelle. Ich erinnere hiebei an das früher erwähnte Arbeitsäquivalent der Wärme oder umgekehrt Wärmeäquivalent der Arbeit. Ebenso wird z. B. ein elektrischer Strom von bestimmter Stärke, der durch einen Wasserzersetzungsgapparat geht, eine bestimmte Menge Wasser, gemessen durch die hieraus gebildete Menge Knallgas, in einer gewissen Zeit zersetzen, und wenn man denselben Strom durch zwei solche Wasserzersetzungsgapparate leitet, so wird nun in beiden zusammen nur ebenso viel Knallgas gebildet als früher in dem einen Apparat allein, oder schaltet man neben einem Zersetzungsgapparat einen Elektromagneten

ein, so wird ebenfalls weniger Wasser zersetzt, weil dann die elektrische Kraft sich in chemische und magnetische verteilen muss.

Und wenn es manchmal z. B. bei oberflächlicher Betrachtung des Vorganges bei der Influenzmaschine oder bei der Wilde'schen magneto-elektrischen Inductionsmaschine den Anschein hat, als könne eine ganz geringe anfängliche Kraftmenge ohneweiters zu beliebiger Grösse gesteigert, also neue Kraft geschaffen werden, so ist dies nur Täuschung und dabei nicht zu übersehen, dass diese Zunahme der elektrischen Kraft nur auf Kosten einer anderen, nemlich der mechanischen Kraft erfolgt, welche bei fortgesetzter Bewegung der Maschine in grosser Menge angewendet und verbraucht wird.

So geht es auch im Grossen und Ganzen der Natur, im Weltall; dieses erscheint ein für alle Mal ausgestattet mit einem Vorrathe von Kraft, der durch allen bunten Wechsel der Naturprocesse nicht vermehrt aber auch nicht vermindert werden kann.

Eben dieses Gesetz der Erhaltung der Kraft gibt der wissenschaftlichen Forschung die Möglichkeit der Lösung ihres grossen Problems: die sämtlichen Kräfte, insofern sie alle sich auf Bewegung zurückführen lassen und verschiedene Arten derselben sind, auf eine gemeinsame Einheit zu beziehen, sie durch Mass und Zahl auszudrücken, oder, wie man in der Wissenschaft sagt, ihre gegenseitigen Aequivalente festzustellen, d. h. die Zahlenverhältnisse

zu finden, nach denen die Kräfte einander zu ersetzen vermögen.

Zum grossen Teile ist diese Aufgabe bereits gelungen, und so wie zwischen Bewegung und Wärme das wechselseitige Aequivalent bekannt ist, lassen sich auch andere Kräfte, namentlich durch die vermittelnde Elektrizität, nach mechanischem Masse messen, indem z. B. chemische Kraft auch nach bestimmtem Verhältnisse Wärme erzeugt, und man die Kraft eines stärkeren elektrischen Stromes nach seiner chemischen Wirkung oder nach der Erwärmung eines bestimmten Leitungsdrates schätzt.

Dass aber die Wissenschaft jene Aufgabe bisher noch nicht überall in gleichem Masse vollständig gelöst hat, liegt in den vielen Schwierigkeiten, die sich ihr dadurch darbieten, dass die Kraft sich meistens zertheilt, zersplittert, verzettelt, zerstreut, und wir die zerstreuten oder umgewandelten Teile derselben, die unserem Zwecke gar nicht dienen, oder nachdem sie demselben gedient haben, auch nicht wieder sammeln oder rückumwandeln und auf die ursprüngliche Kraft zurückführen können.

So wirkt z. B. die Wärme des Feuers in der Dampfmaschine nicht blos unserem Zwecke gemäss auf das Wasser, sondern auch auf das Eisen des Kessels, des Cylinders und auf die ganze Umgebung, wodurch eine bedeutende Kraft für die beabsichtigte mechanische Wirkung verloren geht, abgesehen davon, dass sehr viel Wärme durch den Schornstein entweicht, wie dies auch

stets bei unseren Küchenherden und Zimmeröfen der Fall ist.

Ferner kann niemals die ganze erzeugte oder angewendete Kraft auf die beabsichtigte Arbeit selbst verwendet werden, sondern stets muss ein Teil derselben zur Ueberwindung von Bewegungshindernissen oder Widerständen, z. B. Reibung, Luftwiderstand, Schwerkraft, Molecularanziehung u. s. w. verbraucht werden. Hiedurch wird also jede Kraft ohne hinreichenden Ersatz für den beabsichtigten Zweck allmählich vermindert und aufgezehrt, so dass z. B. ein schwingendes Pendel, ein rotierendes Schwungrad, ein horizontal oder noch eher ein bergan bewegter Körper ohne neue Anregung zur Bewegung bald zur Ruhe kommen, ein Feuer ohne neue Zufuhr von Brennstoffen und Luft erlöschen, ein elektrischer Strom ohne erneuerte Erregung aufhören muss.

Hieraus folgt einerseits die Unmöglichkeit eines sogenannten „Perpetuum mobile“, und diese Unmöglichkeit ist eben erst durch das Gesetz von der Erhaltung der Kraft klar nachgewiesen worden; andererseits werden wir durch die Thatsache, dass jede von uns zu irgend einem Zwecke verwendete Kraft theils durch unvermeidliche Nebenwirkungen theils durch voraus nicht zu beseitigende Widerstände vielfach zersplittert und oft nur zum geringen Theile für den beabsichtigten Zweck selbst nutzbar gemacht werden kann, zur Erkenntnis geführt, dass wir immer und überall viel mehr Kraft aufwenden als die bezweckte Leistung direct

erfordert, dass wir also gleichsam Kraft verschwenden und zwar in grosser Menge.

Und hiebei drängt sich nun eine Frage auf, welche eben so interessant an sich als auch für unsere Existenz und unser ganzes Thun und Streben von grösster Wichtigkeit ist. Da wir nemlich z. B. bald den Fall des fliessenden Wassers, bald die bewegte Luft als Wind, bald den Kohlenstoffvorrat des Waldes und der Kohlenlager sammt den dazu nötigen Sauerstoff der Luft, bald die durch Narung bedingte Muskelkraft des eigenen Körpers oder der Tiere für unsere Zwecke gebrauchen und schon das blosse Leben Narung, Wärme, Luft und Licht erfordert, und wir all' dies in verschwenderischer Menge verbrauchen, ohne das Verbrauchte wieder selber für den künftigen Bedarf zurück herstellen oder eigentlich Neues schaffen zu können — so entsteht die Frage: wer hebt das Wasser wieder auf die Höhe des Berges, damit es neuerdings durch Herabfliessen bewegend wirke? wer erzeugt abermals Luftbewegung, um wieder unsere Windmühlen und Segelschiffe zu treiben? wer schafft den verbrauchten Kohlenstoff wieder zurück und den aus der Luft entnommenen Sauerstoff? wer hilft wieder neue Narung bereiten für die Fortdauer der Lebensthätigkeit und Muskelkraft? wer besorgt in allen diesen Fällen das Sammeln und Rückumwandeln all' der zerstreuten und verbrauchten Kräfte, um dem Menschen gleichsam stets einen hinreichenden Vorrat an beliebiger Kraft für sein Leben und Streben zur Verfügung zu stellen?

Die Antwort darauf lautet: Die Sonne ist's mit ihrem ungeheuren Vorrat an Licht und Wärme. Fragen Sie nicht jetzt, hochgeehrte Anwesende, woher denn die Sonne diesen Kraftvorrat habe; denn einerseits erlaubt es wol heute die Zeit nicht mehr, auf diese und andere damit zusammenhängende Fragen einzugehen, welche die Entstehung, Entwicklung und Zukunft des Weltalls oder speciell unseres Planetensystems betreffen, andererseits kommt es aber auch hier auf jenes Woher gar nicht an, sondern es genügt die Thatsache, dass die Sonne einen solchen Vorrat von Wärme und Licht besitzt.

Die Sonnenwärme ist es, deren Wirkung einen Teil des Wassers schon während seines Laufes und dann aus dem Reservoir des Meeres in Dunstform in die Luft emporhebt, von wo es infolge der wiederum von der Sonne abhängigen Witterungsverhältnisse als Regen oder Schnee auf und in den Erdboden gelangt, um hieraus als Quelle, Bach und Strom wieder ins Meer abfließend unterwegs uns neuerdings als bewegende Kraft zu dienen und dabei auch Felsen zernagend, den Erdboden befruchtend und Erdreich hier an- dort wegschwemmend das Seinige zur Landwirtschaft wie auch zur allmählichen geologischen Veränderung der Erde beizutragen.

Die Sonne ist es, welche durch ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche und ihrer Lufthülle sowol unregelmässige Luftbewegungen überhaupt als auch die für Schifffahrt und klimatische Verhältnisse wichtigen Küsten- und Passatwinde veranlasst.

Die Sonne ist es, welche schon vor Jahrtausenden für uns in den Kohlenlagern einen ungeheuren Vorrat von disponibler Arbeitskraft als eine Art Capital aufgespeichert hat, von welchem wir nun, gleichsam nicht zufrieden mit dem von ihr noch fortan jährlich gelieferten Einkommen an Holz, verschwenderisch zehren. Durch ihre Einwirkung mit Licht und Wärme saugt die Pflanze mit ihren Blättern die luftverderbende Kohlensäure und den Wasserdunst aus der Luft ein, lagert den Kohlenstoff und Wasserstoff davon in sich ab, bildet hieraus mit noch anderen Stoffen die Holzfaser, Oel und Harz, und gibt den abgesonderten Sauerstoff wieder frei und rein in die Luft zurück.

Die Sonne ist es auch, welche fortan die Nahrungsmittel bereitet, durch deren Umwandlung im Körper die Fortdauer des Lebens und die Erneuerung der Muskelkraft bei Menschen und Tieren bedingt ist. Denn all' unsere Nahrung stammt doch zuerst aus dem Pflanzenreiche, entweder direct oder durch die Zwischenstufe der pflanzenfressenden Tiere, von deren Fleisch wir uns nähren. Die Pflanzen aber zersetzen nur unter Einwirkung der Sonne die aus Luft und Boden entnommenen Stoffe und bilden daraus jene Substanzen, durch deren Genuss Menschen und Tiere Leben und Muskelkraft erhalten; der tierische Organismus kehrt diesen chemischen Process gleichsam wieder um und liefert der Pflanze wieder die zu ihrem Gedeihen nötigsten Stoffe zurück, um dann wieder Nahrung von ihr zu erhalten.

Somit hängt, sozusagen, all' unser Leben und Treiben von der Sonne ab und ist ein fortwährendes Zerteilen, Umwandeln und Wiederausgeben der von der Sonne stammenden Kraft. Daher hat auch jener orientalische Herrscher kein Vorrecht, sich allein den „Sohn der Sonne“ zu nennen, da auch wir in dem früher bezeichneten Sinne „Kinder der Sonne“ sind.

Ja man kann sagen, dass die ungeheure Mannigfaltigkeit von immer neu wechselnden meteorologischen, klimatischen, geologischen und organischen Vorgängen unserer Erde, vermittelt durch die beständige Wechselwirkung der Naturkräfte, fast allein durch die leuchtende und wärmende Kraft der Sonne in Gang erhalten wird, und so glaube ich auch von Ihnen, hochgeehrte Anwesende, keine Einsprache besorgen zu müssen, wenn ich zum Schlusse sage, dass wir jetzt allabendlich, wenn gleich zur Zeit die Sonne unsern Horizont nicht mehr bescheint, unsere Wohnungen doch mit Sonnenlicht und Sonnenwärme erleuchten und erwärmen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1876

Band/Volume: [16](#)

Autor(en)/Author(s): Rumpf Jakob

Artikel/Article: [Ueber Wechselwirkung und Zusammenhang der Naturkräfte. 1-47](#)