

IX.

Chemische Affinität, Elektrizität, Elektro-Magnetismus, Licht — insgesamt gleichfalls Bewegungsformen.

Der Versuch, bei welchem wir die Wärme als eine Form der Triebkraft kennen lernten, bestand, wie Sie sich erinnern, darin, dass wir einer, in einem festwandigen Gefässe eingeschlossenen Wassermasse fortwährend Wärme zuführten. Die Folge davon war, dass die Temperatur des Wassers stieg und die Moleküle desselben aus einander gedrängt wurden, so dass sein Volumen zunahm. Durch diese Volumenzunahme wurde in dem benützten Apparat mechanische Arbeit geleistet. Die zugeführte Wärme hatte diese beiden Effecte gleichzeitig bewirkt. Als sich nun aber das Wasser auf 100° erhitzt hatte und in Dampf zu verwandeln begann, hörte das Steigen der Temperatur auf, dagegen fuhr der Apparat fort, mechanische Arbeit zu leisten, und wir überzeugten uns, dass die dem Wasser zugeführte Wärmemenge, welche als solche, d. h. für das Gefühl und das Thermometer, verschwand, in einer bestimmten mechanischen Arbeitsleistung zur Erscheinung kam. Wir sahen, so zu sagen, wie die Wärme ganz und gar sich in mechanische Triebkraft, in Form von lebendiger Kraft oder erlangter Geschwindigkeit, umsetzte.

Erinnern wir uns nun, auf welche Weise und wodurch wir die Wärme oder Triebkraft selbst erzeugt haben; es war eine Spiritusflamme, mittelst welcher wir den Glasballon und seinen Inhalt erwärmten. Und wie war die Spiritusflamme entstanden? Durch die Verbrennung des Spiritus, d. h. durch die Vereinigung seiner Bestandtheile, der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome, mit den Sauerstoffatomen der Luft zu Kohlensäure (CO_2) und Wasser (H_2O), eine Vereinigung, welche durch die sogenannte Affinität oder chemische Verwandtschaftskraft bewirkt wird. Das Wesen dieser Affinität aber haben wir ein Recht, uns gleichfalls als eine einfache mechanische Anziehungskraft zu denken, die hier zwischen den chemischen

Atomen genau so wirkt, wie die Cohäsion zwischen den Molecülen, wie die Schwere zwischen den Massen oder Molen, mit der alleinigen Besonderheit, dass sie eben nur auf unmessbar kleine, ja noch viel kleinere Entfernungen als selbst die Cohäsion, dafür aber auch mit enormer Stärke thätig ist. Und genau so wie die Schwere des gehobenen Gewichtes vermag auch die Affinität, die zwischen den getrennten Wasserstoff- und Kohlenstoffatomen einer- und den Sauerstoffatomen andererseits besteht, Arbeit zu leisten: denn für den Verstand bleibt es sich offenbar ganz gleich, ob das Gewicht zu Boden fällt und daselbst festgehalten wird, oder ob die Kohlenstoff- und Sauerstoffatome, die Wasserstoff- und Sauerstoffatome gegen einander stürzen und schliesslich fest an einander haften. Vom mechanischen Gesichtspunkte aus geschieht beim chemischen Process und beim Fall gehobener Massen wesentlich dasselbe.

Indem das fallende Gewicht mit seiner erlangten Geschwindigkeit am Boden ankommt, bringt es eine mehr oder weniger mächtige Erschütterung hervor, die sich theils als Schallwellenbewegung durch die Luft fortpflanzt, theils als Wärmebewegung in den an einander gestossenen Massen verbleibt. Ganz denselben Effect müssen wir bei dem chemischen Vorgang der Verbrennung erwarten, und in der That beobachten wir auch hier Wärmeentwicklung und unter Umständen sogar auch Schallerzeugung. Sind die Wasserstoff- und Kohlenstoffatome des Spiritus und die Sauerstoffatome der Luft auf einander los gestürzt, um sich zu Wasser (H_2O) und Kohlensäure (CO_2) zu vereinigen, so sind die Atome und Molecüle der neugebildeten Verbrennungsproducte natürlich in der heftigsten unregelmässigen Bewegung, d. h. in Wärmebewegung begriffen, und unmittelbar nach der Verbrennung erscheinen die Verbrennungsproducte im gasförmigen Aggregatzustande und glühend heiss. Die Affinität leistet also bei der Verbrennung eine Arbeit im mechanischen Sinne, die in Form von Wärme zum Vorschein kommt, und in der That auch nach dem mechanischen Aequivalent der Wärme in Fusspfunden berechnet und ausgewerthet werden kann. Sie erkennen nun auch, wie man von Spannkraft oder potentieller Energie der chemischen Elemente oder Atome und ihrer Verbindungen, — von einem mechanischen Aequivalent des Brennstoffes sprechen kann.

Wenn dann später die Verbrennungsproducte allmählich sich abkühlen, d. h. die lebendige Kraft oder Geschwindigkeit ihrer Atome und Molecüle auf die Umgebung übertragen und abgegeben haben, so finden wir in ihnen, in der Kohlensäure und im Wasser, noch dieselben Sauerstoff-, Kohlenstoff- und Wasserstoffatome wie früher, und auch die Affinität zwischen ihnen ist unverändert vorhanden, nur dass sich

jetzt ihre Thätigkeit darauf beschränkt, unter den neu gruppirten Atomen die innigste, festeste Verbindung aufrecht zu halten, jeder Trennung derselben zu widerstreben, ohne irgend eine Veränderung, sei es Arbeit oder Wärme, hervorbringen zu können, — gerade so wie die Cohäsion eines entspannten elastischen Körpers nur mehr die Molecüle desselben in ihrer Anordnung und Gleichgewichtslage im Raume festhält, und wie die Schwere das zu Boden gefallene Gewicht mit der Erde in Berührung erhält und seiner Hebung widerstrebt, ohne dass dagegen dort die Cohäsion, hier die Schwere sonst irgend eine Veränderung hervorzubringen vermöchte. Und gleichwie ferner ein Quantum einer fremden Triebkraft aufgewendet werden muss, um das Gewicht zu heben, den elastischen Körper zu spannen, wenn Schwere und Cohäsion wieder als Triebkraft wirksam werden sollen, ebenso kann den Sauerstoff-, Wasserstoff- und Kohlenstoffatomen die verlorene Arbeitskraft nur dadurch wiedergegeben werden, dass wir die als Verbrennungsproducte aus ihnen neuentstandenen Verbindungen, die Kohlensäure und das Wasser, zerlegen, d. h. ihre Elemente, entgegen der unter ihnen herrschenden Affinität, wieder von einander trennen, aus einander reissen, was im mechanischen Sinne genau dasselbe ist, wie die Hebung des Gewichtes oder die Veränderung der unmessbar kleinen Zwischenräume zwischen den in ihrer Gleichgewichtslage befindlichen Molecülen des elastischen Körpers. Wir werden also in unserem Falle eine entsprechende Menge fremder Triebkraft aufwenden müssen, welche den Widerstand der Affinität zu überwinden und die festen chemischen Verbindungen der Kohlensäure und des Wassers zu zerlegen vermag.

Ich sagte Ihnen, dass die Affinität, welche die chemischen Verbindungen der Atome bestimmt, dabei lebendige Kraft in Form von Wärme entwickelt, deren Quantität sich durch Wärmeeinheiten ausdrücken lässt, welche, nach dem mechanischen Aequivalent, als Kilogrammometer berechnet werden können. — So lange die chemische Reaction der Körper noch nicht begonnen hat, ist die Kraftquantität ganz »potentiell«; sie wird »aetuell«, d. h. lebendige Kraft oder Wärme, sowie die chemische Reaction beginnt, und ist ganz in Wärme umgesetzt, wenn endlich die neuen Verbindungen geschlossen und hergestellt sind. Die Erfahrung zeigt nun, dass die durch einen und denselben chemischen Vorgang zu Stande kommende totale Wärmemenge absolut constant bleibt.

So entwickeln sich nach genauen Messungen bei Verbrennung eines Kilogramm Wasserstoff zu Wasser 34,462 Wärmeeinheiten oder Calorien. Diese enorme Wärmemenge ist das Aequivalent der verrichteten

chemischen Arbeit der Wasserbildung. Die Triebkraft, also hier die befriedigte chemische Anziehungskraft oder Affinität, hat sich so zu sagen in die Triebkraft in Form von Wärme verwandelt, wie die Schwere in Geschwindigkeit der fallenden Massen; die Triebkraft ist aufgewendet, verschwunden; aber nicht vernichtet, sondern ist in anderer Form zwar, aber der Quantität nach unverändert erhalten geblieben. So lange sich aber Wasserstoff und Sauerstoff unbewegt und unverbunden gegenüber stehen, bleibt die Affinität unbefriedigt, so zu sagen im Zustand einer Spannung, wie der Zug der Schwerkraft eines am Fallen gehinderten Gewichtes. Die ganze »Energie« der chemischen Agentien ist unter diesen Umständen »potentiell«, und wir können sagen, dass ein Kilogramm Wasserstoff unter Berücksichtigung seiner Affinität zu Sauerstoff, eine »potentielle Energie« oder »Spannkraft« von 34,462 Calorieen oder 14,646,350 Kilogrammmetern besitzt, gerade so wie ein 40 Meter über dem Erdboden aufgehängtes Gewicht von 5 Kilogramm 200 Kilogrammometer oder 0,47 Calorieen repräsentirt.

Vom Kohlenstoff und Sauerstoff existiren zwei Verbindungen, Kohlenoxyd und Kohlensäure (CO und CO_2), welche zwei Oxydationsstufen oder Verbrennungsgrade bezeichnen. Der Versuch lehrt, dass: 1 Kilogramm Kohlenstoff bei seiner Verbrennung zu Kohlenoxyd 2473 Calorieen gibt. Beim Uebergang aus dieser ersten in die zweite Oxydationsstufe entstehen noch 5607 Calorieen. Wird dagegen 1 Kilogramm Kohlenstoff sofort vollständig zu Kohlensäure (CO_2) verbrannt, so entstehen 8080 Calorieen. Wir können also sagen, die chemische Energie des Kohlenstoffs mit Rücksicht auf seine Affinität zu Sauerstoff ist 8080 Calorieen oder 3,434,005 Kilogrammometer! Diese totale Energie des Kohlenstoffs in Gegenwart des Sauerstoffs bleibt so lange ganz potentiell oder chemische Spannkraft, so lange nicht irgend eine chemische Reaction zwischen beiden Stoffen begonnen hat; sie verharrt ihrer ganzen Quantität nach unter der Form der Affinität. Sie erscheint dagegen actuell, nach vollendeter Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure; sie ist dann ganz disponibel in Form von Wärme. — Macht der Kohlenstoff, anstatt auf einmal zu Kohlensäure zu verbrennen, die beiden Oxydationsstufen nach einander durch, verbrennt er zuerst zu Kohlenoxyd, und dieses dann weiter zu Kohlensäure, so wird die totale Energie des Kohlenstoffs in zwei Hälften getheilt. Während der eine Theil bereits actuell geworden ist und den durch die Kohlenoxydbildung erzeugten 2473 Calorieen entspricht, bleibt der zweite Theil der totalen Energie noch potentiell, denn der Kohlenstoff im Kohlenoxyd besitzt noch 5607 Calorieen chemischer Spannkraft, die erst dann aufgewandt wird, wenn die Bildung von Kohlensäure vor sich geht. Wir

sehen also, dass bei jeder reinen Verbrennung, i. e. Vereinigung eines bestimmten Kohlenstoffquantums mit einem bestimmten Sauerstoffquantum, eine bestimmte constante Wärmemenge erzeugt wird, einerlei ob die Verbrennung auf einmal oder absatzweise geschieht. —

Wie Sie leicht errathen, wird zum entgegengesetzten Vorgange, zur gewaltsamen Zerlegung oder Trennung der entstandenen Verbindungen, wieder ein gleich grosser Aufwand von Triebkraft nöthig sein, es werden, damit eine Trennung der Kohlenstoff- und Sauerstoffatome zu Stande kommen könne, 8080 Calorieen aufgewendet werden müssen: nur dadurch vermögen wir die ganze Quantität Triebkraft in Form von chemischer Spannkraft wieder herzustellen.

Bei verwickelten chemischen Processen kommt nun in der That beides zugleich vor. Einerseits werden chemische Verbindungen gelöst, d. h. auf Kosten von Wärme chemische Spannkraft aufgespeichert; andererseits neue Verbindungen fest geschlossen, d. h. auf Kosten chemischer Spannkraft chemische Arbeit geleistet, also Wärme oder lebendige Kraft erzeugt.

Die chemischen Umwandlungen, wie sie uns in der Natur entgegengetreten, erscheinen unendlich mannigfaltig, und es ist schwer, eine klare Uebersicht über sie zu gewinnen; aber gerade in der Richtung, auf die es hier allein ankommt, kann man sie mit Entschiedenheit in zwei grosse Gruppen trennen: in solche nämlich, bei denen Wärme, Licht, mechanische Bewegung, Elasticität, oder mehrere von ihnen gleichzeitig gewonnen, und in solche, bei denen die genannten Bewegungen oder lebendigen Kräfte vernichtet werden. Daher erklärt es sich auch, dass bei der Bildung einer bestimmten Quantität Kohlensäure CO_2 nicht allemal dieselbe Wärmemenge frei wird, sondern je nach Umständen mehr oder weniger. Denn lassen wir z. B. durch Verbrennung von 30 Gramm Zucker mit 32 Gramm Sauerstoff 44 Gramm Kohlensäure entstehen, so gehen zugleich die Sauerstoffatome des Kohlehydrates mit dem Wasserstoff eine innigere chemische Verbindung ein, und es werden dabei mehr Wärmeeinheiten erzeugt, als wenn die 44 Gramm Kohlensäure durch Oxydation von freiem Kohlenstoff hergestellt worden wären. In der That erzeugte FRANKLAND durch Verbrennung von 12 Gramm freien reinen Kohlenstoff nur 96 Calorieen, während die Verbrennung von 12 Gramm Kohlenstoff, die in 30 Gramm Zucker enthalten waren, 98 Calorieen ergaben.

Von hohem Interesse ist ferner Folgendes. Betrachten wir das Wasser und seine Zerlegung. Wasser besteht, wie Sie wissen, aus einer festen Verbindung von 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff. Führen wir dem flüssigen Wasser Wärme zu, so nimmt es bald den

gasigen Aggregatzustand an; die Wassermolecüle, aller Bande der Cohäsion ledig, fahren heftig durch einander, während zugleich innerhalb der Molecüle die dieselben zusammensetzenden Wasserstoff- und Sauerstoffatome gleichfalls in heftiger, unregelmässiger, zitternder Bewegung begriffen sind, ohne jedoch den Bereich der Wassermolecüle verlassen zu können; denn noch hält die Affinität die Wasserstoff- und Sauerstoffatome, trotz ihrer Wärmeoscillation, als Wassermolecüle zusammen. Indem wir aber fortfahren, das Wassergas zu erhitzen und die lebendige Kraft der Atombewegungen zu steigern, tritt erfahrungsgemäss ein Temperaturgrad ein, bei welchem, ähnlich wie bei 100° die Molecularanziehung, endlich auch die Anziehung zwischen den chemischen Atomen, d. h. die chemische Affinität oder Verwandtschaftskraft, überwunden wird und die Wasserstoff- und Sauerstoffatome frei durch einander fliegen. Man sagt dann, die Wärme habe gasförmiges Wasser in ein Gasgemenge von frei durch einander fliegenden Sauerstoff- und Wasserstoffatomen »dissociirt«, und nennt diesen merkwürdigen Vorgang mit ST. CLAIRE DEVILLE »Dissociation«.

Sie lernen somit die sonderbare Thatsache kennen, dass die Wärme, welche bei der Herstellung chemischer Verbindungen durch Umwandlung chemischer Spannkraft in lebendige Kraft entsteht, auch wieder die chemischen Verbindungen sprengen, die chemische Verwandtschaftskraft oder Affinität in Spannkraft verwandeln kann. Um diese Arbeit zu leisten, die Trennung der vereinigten Atome herbeizuführen, verschwindet natürlich genau so viel Wärme als solche, als bei der Wiederherstellung der dissociirten chemischen Verbindungen entstehen würde. Und die auf diese Weise in Form von chemischer Spannkraft wiederhergestellte Triebkraft der Wasserstoff- und Sauerstoffatome würde sogleich wieder in Wärme umgesetzt, sowie wir die Wiederherstellung der dissociirten Wassermolecüle gestatteten, indem wir aufhörten, durch fortgesetzte Wärmezufuhr den hohen Temperaturgrad, bei dem die beschriebene Dissociation eintritt, constant zu erhalten.

Fast scheint es übrigens, als wenn auch dort, wo die Wärme chemische Verbindungen veranlasst, sie zunächst dissociirend wirkt. Wasserstoffgas und Sauerstoffgas können, z. B. im Wasserbildungsverhältniss gemengt, unverändert und ohne zu Wasser zu werden, fortbestehen, wenn sie nicht, wenigstens theilweise, durch einen Funken oder einen glühenden Platindraht erhitzt werden, wobei die Sauerstoffmolecüle sich spalten. Die Molecüle des Sauerstoffs hat man sich nämlich sowohl nach den Lehren der Chemie als nach den aus der mechanischen Wärmetheorie von CLAUSIUS hergeleiteten Folgerungen zwei-atomig

gebaut zu denken, d. h. jedes Sauerstoffmolecül besteht aus der Zusammenordnung zweier Sauerstoffatome zu einem einheitlichen Ganzen — Einem Sauerstoffmolecül. So sieht man denn sofort ein, dass zunächst eine Dissociation der beiden Sauerstoffatome eines Sauerstoffmolecüls stattfinden muss, bevor Wasser, d. h. die Verbindung von 2 Wasserstoffatomen mit 1 Sauerstoffatom, sich bilden kann; dass und wie ferner überhaupt Wärme oder eine andere Molecularbewegung, welche bei der Herstellung fester chemischer Verbindungen entsteht und dieselben auch wieder zerstört, zugleich eine der Bedingungen sein kann, damit chemische Verbindungen zu Stande kommen.

Eine, analog der chemischen Affinität und Wärme, in Form von Molecularbewegung auftretende Triebkraft bieten die elektrischen Ströme dar, deren Wirkung Ihnen Allen aus der DAVY'schen Entdeckung bekannt ist, Wasser in seine Elemente zu zerlegen, indem man es mit den beiden Polen einer elektrischen Batterie in Verbindung bringt. Es gehören nun die elektrischen Ströme zwar zu einer Gruppe von Naturerscheinungen, die durch gewisse Bewegungen und Wirkungen der Aetheratome bedingt sind, also der Theilchen jenes besondern unwägbaren Fluidums, von dessen eigentlichem Wesen man sich noch immer keine recht anschauliche Vorstellung machen kann: glücklicherweise ist es nichtsdestoweniger vollkommen gelungen, auch die Rolle, welche die Elektrizität bei der Wechselwirkung der Naturkräfte spielt, in widerspruchslosem Einklang mit der Allgemeingültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft zu finden. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass die Arbeit, welche die elektrischen Ströme, als eine neue Art oder Form von Triebkraft, zu leisten im Stande sind, thatsächlich genau äquivalent sei der Trieb- oder Arbeitskraft, die aufgewendet werden muss, um die elektrischen Ströme selbst zu erzeugen! Und mehr brauchen wir vorläufig nicht zu wissen, insofern es sich für uns blos darum handelt, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft in seinem eigentlichen Sinne und in seiner Allgemeingültigkeit zu erfassen.

Sehen wir genauer zu, wie die elektrischen Ströme, welche uns in dem Wasserzersetzungapparate arbeitsfähige Affinität, d. h. chemische Triebkraft wiederherstellen, selbst zu Stande kommen. Bekanntlich entstehen sie in einer sogenannten Batterie, welche aus elektrischen Elementen — einer Combination von Zink, Platin und verdünnter Schwefelsäure ($H_2 SO_4$) zusammengesetzt ist. Ich werde vor Ihren Augen ein solches elektrisches Element aufbauen. — Sie sehen hier ein Glas, ich fülle es mit verdünnter Schwefelsäure und versenke eine

Platinplatte und eine Zinkplatte in die Flüssigkeit: so wie die letztere eintaucht, findet ein chemischer Vorgang statt. Das Wasser wird zersetzt, sein Sauerstoff stürzt auf die Zinkatome zu und verbindet sich mit denselben zu Zinkoxyd, das mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zinkoxyd zusammentritt, welches Salz sich in Wasser auflöst, während sein Wasserstoff frei wird. Das Vorhandensein des letzteren erkennen wir sofort, indem wir ihn anzünden! Bei dieser Oxydation und Salzbildung wird Wärme erzeugt und zwar, wenn sich 5 Aequivalent Zink gelöst haben = 94 Calorieen. — Durch den Verbrauch oder Aufwand einer bestimmten Menge chemischer Spannkraft erzeugen wir also 94 Calorieen Wärme.

Ich stelle nun 5 solcher Elemente zusammen, indem ich das Zink des einen mit dem Platin des anderen Elementes durch Draht verbinde. So erhalte ich eine Batterie mit einem Zinkpol und einem Platinpol. Verbinde ich die beiden Pole durch einen Draht, so hat sich nichts an der chemischen Arbeit in den Elementen geändert, — das Zink löst sich in der verdünnten Schwefelsäure unter Freiwerden von Wasserstoff wie früher; aber in Folge der geänderten Umstände, unter denen die Affinität hier als Triebkraft wirksam wird, entwickelt sich in den Elementen und in den Schliessungsdrähten nicht nur Wärme, sondern auch jenes in seinem Wesen uns unbekanntes Etwas — ein elektrischer Strom. Setzen wir diesen Versuch so lange fort, dass in jedem der 5 Elemente 1 Aequivalent Zink aufgelöst ist, dann ist die verbrauchte Menge von Affinität in der ganzen, aus 5 Elementen bestehenden galvanischen Batterie dieselbe, wie vorhin in dem Einen Element, in welchem sich 5 Aequivalent Zink aufgelöst hatten, und dem entsprechend entwickelt sich im galvanischen Kreise ein elektrischer Strom, welcher die Widerstände in den Leitungsdrähten und Flüssigkeiten überwindet, und dabei entstehen genau wieder dieselben 94 Calorieen Wärme, welche der geleisteten chemischen Arbeit äquivalent sind.

Schalten wir jetzt in den Schliessungsbogen der Batterie einen Wasserzersetzungssapparat ein, und setzen wir den Versuch unter diesen Umständen wieder so lange fort, bis sich in jedem Element 1 Aequivalent Zink gelöst hat, so ist es wieder dieselbe Menge von Affinität oder chemischer Triebkraft, welche wir verausgabt haben, und wir erhalten auch wieder denselben elektrischen Strom. Dieser bringt nun aber zweierlei Effecte hervor, er überwindet die Leitungswiderstände und zersetzt ein bestimmtes Quantum Wasser des Wasserzersetzungssapparats. Die ganze Leitungsbahn, Drähte und Flüssigkeiten, erwärmen sich wie früher; aber anstatt dass die totale Wärmemenge 94 Ca-

lorieen beträgt, beträgt sie jetzt nur etwa 30; die 64 Calorieen, welche fehlen und scheinbar verschwunden sind, sind aufgewendet worden, um die chemische Arbeit der Wasserersetzung zu leisten, d. h. chemische Spannkraft herzustellen, deren Quantität gerade ausreicht, um bei der Verbrennung oder Wiedervereinigung der getrennten Sauerstoff- und Wasserstoffmengen genau 64 Calorieen oder Wärmeeinheiten zu erzeugen.

Während arbeitsfähige Affinität in den Elementen der Batterie aufgewendet wird und verschwindet, wird im Wasserzersetzungssapparat arbeitsfähige Affinität wieder hergestellt. Der elektrische Strom ist gleichsam nur der Vermittler oder Träger, der die chemische Arbeitskraft der GALVANI'schen Elemente auf das Wasser im Zersetzungssapparat hinüberleitet und zweierlei Arbeitsleistungen, Wärme und chemische Spannkraft, hervorbringen lässt, deren Summe, in Calorieen ausgedrückt, genau äquivalent ist der Wärmemenge, welche die in den Elementen der Batterie aufgewendete chemische Arbeitskraft zu erzeugen vermag.

So sehen Sie denn auch hier verloren gegangene Arbeitskraft wieder hergestellt; aber, wie in allen früheren Fällen, nur indem ein bestimmtes Quantum einer anderen disponiblen Arbeitskraft aufgewendet und dadurch dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft vollkommen genügt wurde.

Wir haben in diesem Falle Affinität in Form von Spannkraft durch Affinität in Form von lebendiger Kraft unter Verwendung des elektrischen Stromes erzeugt. — Dass bei dieser Umwandlung dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft vollkommen genügt wird, erkannten wir, als wir die nebenbei erzeugte Wärmemenge mit in Rechnung brachten, gerade so, wie wir die strenge Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft bei den Bewegungserscheinungen bewegter Massen, beim schwingenden Pendel und Metallstab, erst dann erkannten, als wir die durch Reibung und Stoss, Pressung und Dehnung dabei frei werdenden Wärmemengen berücksichtigten.

Wir können gleich hier die wichtige Bemerkung einschalten, welche wir später noch ganz allgemein bestätigt und gültig finden werden, dass bei jeder Umwandlung von Spannkraft in lebendige Kraft und umgekehrt stets ein Theil des vorhandenen Kraftvorrathes in Wärme verwandelt wird, und für das Quantum der Arbeitsleistung in der zu erzielenden Form verloren geht, welche daher immer um jene Anzahl Calorieen kleiner ausfallen muss als die aufgewendete Triebkraft.

Vertauschen wir nun den Wasserzersetzungssapparat und dessen

chemische Leistung mit einem Elektromagnet, der Gewichte zu heben, mechanische Arbeit zu leisten im Stande ist, und lassen wir wieder die Batterie so lange in Gang, bis sich 5 Aequivalent Zink in derselben gelöst haben. Mit diesem selben Quantum von verbrauchter chemischer Triebkraft wird unter den neuen Umständen, unter Vermittelung desselben elektrischen Stromes, abermals eine doppelte Arbeit geleistet: ein Quantum Wärme und ein Quantum mechanischer Arbeit. Die Summe beider Quantitäten ist wieder = 94 Calorieen. Die wirklich entwickelte Wärmemenge beträgt abermals weniger als 94 Calorieen; was daran fehlt, entspricht aber genau dem in Wärmeeinheiten ausgedrückten mechanischen Arbeitsquantum durch den Elektromagneten! Dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft wird vollkommen genügt, trotzdem der elektrische Strom selbst und das neue Agens, durch welches er die mechanische Arbeit der Hebung eines Gewichtes geleistet hat — der Magnetismus — ins Spiel kamen.

Abgesehen von dem merkwürdigen Umstande, dass die elektrischen und magnetischen Erscheinungen fast wie etwas Immaterielles zum Vorschein kommen, und sich doch am Zustandekommen der materiellen Vorgänge betheiligen, lernen wir aus den letzten Versuchen die wichtige Thatsache kennen: dass es bei gleichem Aufwande an chemischer Triebkraft in Form von Spannkraft genügt, die Natur und Anordnung der Bestandtheile des Apparates, — welcher bestimmt ist, die potentielle Energie der 5 Aequivalent Zink in actuelle umzusetzen, — zu verändern, um als Ergebniss jenes Aufwandes bald eine Wärmemenge allein, bald einen elektrischen Strom und Wärme, bald, unter Vermittelung des elektrischen Stromes, Wärme und zugleich chemische Zersetzungsarbeit, oder aber, wie beim Gebrauch des Elektromagnets, Wärme und zugleich mechanische Arbeit zu erhalten.

Wir erfahren hier neuerdings in unzweifelhafter Weise, dass die wirkungsfähigen Naturkräfte in einer eigenthümlichen Wechselbeziehung stehen und durch einander hervorgerufen oder in einander verwandelt werden können, je nach der Anordnung und Beschaffenheit der Apparate, die wir hierzu anwenden. Wir erfahren aber zu gleicher Zeit, dass dabei stets ein strenges, gegenseitiges Aequivalenzverhältniss herrsche. Diese Wechselbeziehung nennt man die Transformation der Naturkräfte, und ihr wollen wir in der nächsten Vorlesung eine eingehende Betrachtung widmen.

Heute sei nur noch mit wenigen Worten des Lichtes Erwähnung gethan, in dem wir ebenfalls eine Form der Triebkraft oder arbeitsfähigen Naturkraft anzuerkennen, ja im eigentlichen Sinne die Quelle aller anderen zu suchen haben. — Hat die Auseinandersetzung des

Kreislaufs der Stoffe in den drei Naturreichen uns gelehrt, dass die Pflanze den Sauerstoff aus seinen festen chemischen Verbindungen, namentlich mit dem Kohlenstoff, herausreisst und befreit, um aus einfachem hochoxydirtem, rein unorganischem Stoffmaterial verbrennliche organische Substanzen von hocheomplicirter, minder fester Zusammensetzung zu erzeugen; so drängt sich nothwendig die Frage auf: Woher nimmt die Pflanze die nöthige Kraft, um diese innere Arbeit zu leisten? — Nun, die moderne Naturwissenschaft ertheilt darauf die bestimmte Antwort: die Pflanze schöpft diese Kraft aus dem Sonnenstrahl, dessen Kraftintensität bekanntlich so gross ist, dass seine Schwingungen 30000 Kilometer in der Secunde durchlaufen! Und wenn ein solcher Einfluss des Lichtes auf die Pflanzenthätigkeit vor wenigen Decennien noch völlig unverständlich gewesen wäre; so verliert er heute alles Räthselhafte, sobald Sie erwägen, dass der chemische Vorgang in der Pflanze ganz und gar auf Bewegungen beruht, dass das Licht gleichfalls durch Schwingungen der Aetheratome bedingt ist, dass aber, nach allen Erfahrungen, die wir bisher gemacht, der Uebergang wech immer einer Bewegungsform in eine andere ein Charakterzug ist, der allen Naturkräften gemeinsam zukommt. Wenn Sie somit erfahren, dass die langsameren Lichtschwingungen, zu denen das Roth gehört, die Blätter grün färben und mit Hilfe der Blattgrün-Kügelchen dann die Kohlensäure der Luft in Kohle und Sauerstoff zerlegen; so kann Sie das nicht mehr befremden, als wenn Sie gesehen haben, wie die molecularen Wärmebewegungen zu chemischen Zersetzungen und Verbindungen geführt haben. Selbstverständlich kann auch von einem Verschwinden der lebendigen Kraft des Sonnenstrahls in der Pflanze nicht die Rede sein; sie wird in ihr nur zur Spannkraft, die unter bestimmten Verhältnissen wieder in lebendige Kraft, wenn auch unter anderer Form, übergehen kann. »Die Arbeitskraft, die in der Kohle ruht, ist fixirte Arbeitskraft der Sonnenstrahlen; man hat berechnet, dass jedes Stück Kohle beim Verbrennen so viel Kraft frei macht, um sein eigenes Gewicht, der Schwere entgegen, 400 Meilen hoch empor zu schleudern.« Die vom Sonnenstrahl in die Kohle abgelagerte Spannkraft tritt somit als Wärme, als mechanische Arbeitskraft wieder hervor.

An Erfahrungen, dass, auch umgekehrt, Affinitäts- und Wärmebewegungen in Lichtschwingungen übergehen, fehlt es gleichfalls nicht. Das Leuchten unserer Gas- und Kerzen-Flammen, die Lichterscheinungen bei Insecten und Fischen, bei der langsamen Oxydation des Phosphor, sie sind insgesamt ebenso viele Zeugnisse für diese Umwandlung.