Werk

Titel: William Anderson: Ueber die moleculare Structur der Materie in Beziehung zur Tech...

Ort: Braunschweig

Jahr: 1889

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?385489110_0004|log790

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

klarem Wetter die Schnurrolle durch einen isolirenden Handgriff gehalten wurde, liessen sich bereits bei Höhen von 100 bis 150 m merkbare Funken aus der Schnur ziehen, und wenn von der Schnur eine Ableitung zu der einen Klemmschraube eines Galvanometers gelegt wurde, dessen zweite Klemmschraube mit der Erde verbunden war, so erfuhr dasselbe eine Ablenkung, welche mittelst Fernrohr und Scala gemessen wurde und die Stromstärke mittelst des bekannten Reductionsfactors des Instrumentes nach Ampère oder $\mu\alpha$ anzugeben erlaubte.

Es zeigte sich nun im darauffolgenden Sommer 1887 bald, dass die für diese Versuche erforderliche Ausstrahlungsfähigkeit des Leiters nicht allein an den zu diesem Zwecke oben angebrachten Papierbüscheln, Nadelspitzen, Lunten etc. vorhanden war, sondern dass auch eine Ausstrahlung längs der ganzen Drachenschnur stattfand. Durch diese Complication wird die Rechnung äusserst verwickelt, mittelst welcher aus den beobachteten Stromstärken bei verschiedenen Höhen auf das in denselben herrschende Potential zu schliessen ist. Deshalb musste entweder die Ausstrahlung längs der Schnur oder diejenige an dem oberen Ende beseitigt werden. Das Letztere war ohne Weiteres dadurch ausführbar, dass die letzten 4 bis 5 m der Schnur aus gewöhnlichem nicht leitenden Bindfaden genommen wurden. An Stelle der leitend gemachten Hanfschnur wurde ferner geradezu ein Stahldrahtseil, eine siebendrähtige sogenannte Litze genommen, deren Gewicht pro Meter nur etwa 3 g betrug. Dasselbe wurde von einer Rolle abgewickelt, welche in passender Weise sorgfältig gegen den Erdboden isolirt auf einem Bocke befestigt wurde.

In das Stahldrahtseil waren von 10 zu 10 m farbige Seidenfäden eingebunden, so dass die abgelassene Länge notirt werden konnte.

Aus der gleichzeitig beobachteten Elevation des Seiles an seinem unteren Ende sowie der Elevation des Drachens war die Höhe des letzteren resp. des obersten Schnurendes über dem Erdboden leicht zu berechnen. Aus den so gefundenen Drachenhöhen h und den correspondirenden Stromstärken J lässt sich alsdann nach der Gleichung $\frac{dJ}{dh} = \frac{1}{\sin\varphi}\, a \,.\, V_h$, in welcher φ die Elevation des Drachens bedeutet, das der Höhe h zukommende Potential V_h berechnen, wenn noch durch eine besondere Versuchsreihe die auf der rechten Seite stehende Grösse a bestimmt werden kann. Dieses a bedeutet den reciproken Werth desjenigen Widerstandes, welchen der Strom beim Ein- oder Austritt aus dem Draht in die Luft, und zwar auf je 1 m Länge erfährt. Eine Bestimmung von a kann nun erreicht werden, wenn man das untere Ende der Drachenschnur nicht zur Erde ableitet, sondern dasselbe an die eine isolirte Kugel eines Funkenmikrometers heranführt, dessen zweite Kugel zur Erde abgeleitet ist. Die Funkenlänge ergiebt alsdann auf Grund bekannter Versuche die Potentialdifferenz im Funkenmikrometer und diese ist wiederum gleich dem in der halben Höhe der Drachenschnur herrschenden Potentiale. Das Verhältniss desselben zur Stromstärke ergiebt den Werth für a.

Im Laufe des Sommers 1888 sind nun am Nordrande der Stadt Breslau ausgedehnte Versuchsreihen nach dem beschriebenen Verfahren an 12 wolkenlosen Sommertagen gewonnen, wobei Höhen bis zu 450 m erreicht wurden. An mehreren dieser Tage war der Windstille wegen der Drachen durch einen gefesselten Ballon ersetzt. Stellt man die beobachteten Werthe von J durch eine Curve dar, deren Abscissen die entsprechenden Drachenhöhen sind, so zeigt sich durchweg, dass diese Curven ihre convexe Seite der Abscissen-Axe zukehren. An einigen Tagen gehen die Curven bei kleinen Höhen unter die Abscissenaxe, d. h. der Strom war negativ. Es rührt dies davon her, dass der in der unteren Atmosphäre schwebende Staub meist mit negativer Elektricität geladen ist, welche von der Drachenschnur aufgenommen wird und nun einen Theil desjenigen Stromes compensirt, welcher durch reine Influenz der geladenen Erde entstehen würde. Dieser mit unzweifelhafter Sicherheit erwiesene Umstand beweist zugleich, dass alle luftelektrischen Beobachtungen, welche an der Erdoberfläche mit kurzen Leitern angestellt sind, für weitergehende Schlüsse ungeeignet sind und höchstens dazu verwandt werden können, gewisse relative Werthe und periodische Aenderungen zu ermitteln.

Zur Gewinnung mittlerer Werthe sind die Resultate der genannten 12 Sommertage zusammengezogen und es ergiebt sich, dass die obige Grösse a oder vielmehr deren reciproker Werth im Mittel zwei Billionen Ohm beträgt. V_h erreicht bei 350 m einen Werth von 96400 Volt, sodass eine Zunahme des Potentiales von 275 Volt pro 1 m Höhendifferenz resultirt. Dieser auf völlig anderem Wege gefundene Werth weicht von dem oben angeführten Exner'schen etwas ab, welcher letztere etwa fünf mal grösser ist. Das aus dem Potentialgefälle resultirende Potential der Erde beträgt 1720 Millionen Volt. Diese Ladung würde also künstlich herzustellen sein, wenn man etwa 1700 Millionen Daniell'sche Becher zusammensetzte, deren Kupferpol in den Weltraum ableitete und den Zinkpol mit der Erde in Contact brächte. Wiewohl diese Zahl eine immens grosse ist, so ist dennoch, wie schon Exner zeigte, die dadurch auf der Erdoberfläche hervorgerufene Dichtigkeit und die elektrische Abstossungskraft eine so geringe, dass sie direct nicht messbar gemacht werden können.

Ueber weitere Versuche an bewölkten Tagen und zu Zeiten von Gewittern werden wir demnächst berichten.

William Anderson: Ueber die moleculare Structur der Materie in Beziehung zur Technologie. (Aus der Rede bei der Eröffnung der Section G. der British Association zu Newcastle-on-Tyne, September 1889. Nach der „Nature", Bd. XL, p. 509.)

„. . . In einer vergangenen Mai in der Royal Institution gehaltenen Rede versuchte Professor Men-

delejeff zu zeigen, dass eine Analogie existire zwischen der Constitution des Universums und derjenigen der Materie, wie wir sie an der Erdoberfläche kennen; dass von den Bewegungen der Himmelskörper bis hinab zu den kleinsten Atombewegungen bei den chemischen Reactionen das dritte Newton'sche Gesetz Gültigkeit hat, und dass die Anwendung dieses Gesetzes ein Mittel biete, jene chemischen Substitutionen und Isomerien zu erklären, welche so charakteristisch sind, namentlich für die organische Chemie (Rdsch. IV, 430).

Aus hinreichender Entfernung betrachtet, wird das Planetensystem als etwas Ganzes erscheinen, das, ausgestattet mit unsichtbaren, inneren Bewegungen, nach einem fernen Ziel wandert. Einzeln genommen wird jedes Glied des Systems in Bewegungen verwickelt sein, welche es mit seinen Satelliten verknüpfen; und endlich ist jeder Planet und jeder Satellit von Bewegungen belebt, welche, wie man guten Grund hat zu glauben, sich bis in die kleinsten Atome erstrecken, und, wie Sir W. Thomson vermuthet hat, selbst in den Atomen existiren mögen. Das Gesammtresultat all dieser Bewegungen ist ein vollständiges Gleichgewicht und in vielen Fällen ein scheinbares Fehlen einer jeden Bewegung, was in Wirklichkeit nur die Folge des dynamischen Gleichgewichts und nicht die Ruhe der Unbeweglichkeit oder Trägheit ist.

Die Bewegungen der Glieder des Universums sind zum grossen Theil dem Auge sichtbar und ihre Existenz bedarf keines Beweises; aber dass man die eben erwähnte Verallgemeinerung auch auf Substanzen ausdehnen muss, welche allem Anscheine nach träge auf der Erdoberfläche liegen, ist nicht so einleuchtend. Bei den Gasen freilich ist es fast selbstverständlich, dass sie aus Theilchen bestehen, die so klein sind, dass sie unsichtbar werden, und die in einem Zustande grosser individueller Freiheit sich befinden. Die schnelle Verbreitung von Gerüchen auf grosse Entfernungen, die leichte Absorption von Dämpfen und anderen Gasen und die Erscheinungen der Diffusion, Compression und Expansion scheinen dies zu beweisen. Ein Gas dringt schnell in ein anderes ein und vermischt sich gleichmässig mit ihm, selbst wenn die specifischen Gewichte beider sehr verschieden sind. Die Theilchen der Gase sind, in Vergleich zu ihren Durchmessern, weit von einander entfernt; reichlich ist zwischen ihnen Raum für andere Theilchen vorhanden; daher kann jedes Gas, das in Folge seiner Molecularbewegung sich gleichmässig schnell durch den leeren Raum verbreitet, sich auch durch ein oder mehrere andere Gase verbreiten, und einmal so vertheilt, wird es sich niemals wieder absondern. Ein beachtenswerthes Beispiel hierfür ist die gleichmässige Zusammensetzung der Atmosphäre, die ein blosses Gemisch von Gasen ist. Der Sauerstoff und der Stickstoff, in Proben bestimmt, welche aus der ganzen Welt gesammelt worden, zeigen stets ziemlich dasselbe relative Verhältniss, und selbst die Kohlensäure, obwohl geringer localer Anhäufung fähig, behält im Ganzen ein ständiges Mengenverhältniss, und dennoch unterscheiden sich die Dichten dieser Gase sehr stark.

Die Flüssigkeiten sind, obwohl in viel geringerem Grade als die Gase, gleichfalls aus Theilchen zusammengesetzt, die durch beträchtliche relative Entfernungen von einander getrennt und unbeschränkter Bewegung fähig sind, wenn keine Gegenkraft, wie die Schwere, wirksam ist; denn unter solchen Umständen ist ihre Bewegungsenergie nicht ausreichend die Erdanziehung nach unten zu überwinden; daher sind sie gezwungen, eine Niveaufläche einzuhalten.

Die Occlusion von Gasen ohne merkliche Volumzunahme zeigt, dass die einzelnen Theilchen weit von einander getrennt sind. Wasser z. B. kann beim Gefrierpunkt über $1^3/_4$ seines eigenen Volumens an Kohlenoxyd aufnehmen und etwa das 480fache seines Volumens an Chlorwasserstoffsäure, in letzterem Falle mit einer Volumzunahme von nur $^1/_3$; Schwefelsäure absorbirt von Methyläther sogar 600 mal ihre Masse. Die occludirte Gasmenge wächst direct mit dem Drucke, was anzuzeigen scheint, dass die Theilchen des occludirten Gases in ihren Bewegungen ebenso frei sind zwischen den Flüssigkeitstheilchen, wie sie es in einem sonst leeren Gefässe sein würden.

Flüssigkeiten sind also poröse Körper, deren Theilchen viel Bewegungsfreiheit haben. Es ist daher kein Wunder, dass zwei ungleiche Flüssigkeiten, die mit einander in Berührung kommen, sich vollständig gegenseitig durchdringen, wenn die Zeit dazu vorhanden ist; diese Zeit ist aber, wie man erwarten muss, beträchtlich grösser, als die zum Mischen der Gase erforderliche, wegen der ungeheuer viel grösseren Beweglichkeit der Theilchen der letzteren. Die Diffusion der Flüssigkeiten findet nicht nur statt, wenn sie sich wirklich berühren, sondern auch, wenn sie durch poröse Scheidewände getrennt sind, z. B. Stuck, unglasirte Thonwaaren, Pflanzen- oder Thier-Membranen und colloide Substanzen, die alle im gewöhnlichen Sinne vollkommen wasserdicht sein können, aber unfähig sind, zu verhindern, dass Flüssigkeiten gleichzeitig nach beiden Richtungen hindurch wandern.

Die Geschwindigkeit der Diffusion nimmt mit der Temperatur zu; eine Temperaturzunahme ist aber, wie wir wissen, gleichbedeutend mit gesteigerter Molecularbewegung des Körpers, und bei gesteigerter Thätigkeit dieser Art werden wir naturgemäss schnelleren Austausch der sich bewegenden Atome erwarten. Solche Erscheinungen sind nur begreiflich unter der Annahme, dass in scheinbar stiller, träger Masse active Molecularbewegung vor sich geht.

Wenn wir zu den festen Körpern kommen, zeigen sich dieselben Erscheinungen. Die Volumen der festen Körper unterscheiden sich nicht wesentlich von den Volumen der Flüssigkeiten, aus denen sie erstarrten, die festen Volume sind sogar in der Regel grösser. Das Volumen des Eises z. B. ist $^1/_{10}$ grösser als das des Wassers, aus dem es sich abscheidet. Festes Gusseisen schwimmt eben auf flüssigem Eisen,

und die meisten Metalle verhalten sich in gleicher Weise [Vergl. jedoch Rdsch. II, 135, 315]. Wenn daher die Flüssigkeiten porös sind, müssen auch die aus ihnen entstandenen festen Körper es sein; daher occludiren, wie zu erwarten war, die festen Körper gleichfalls Gase in bemerkenswerther Weise. Platin nimmt das $5^1/_2$fache seines Volumens an Wasserstoff auf, Palladium fast das 700fache, Kupfer 60 Proc., Gold 29 Proc., Silber 21 Proc. Wasserstoff und 75 Proc. Sauerstoff, Eisen 8 bis $12^1/_2$mal sein Volumen eines Gasgemisches, das vorzugsweise aus Kohlenoxyd besteht.

Nicht nur eingeschlossen werden die Gase, sondern unter günstigen Temperatur- und Druck-Verhältnissen dringen sie auch durch, und sogar Flüssigkeiten können hindurchgehen. Rothglühende Eisenröhren lassen mit grosser Leichtigkeit Gase durch ihre Substanz treten; gewöhnliches Kohlengas dringt bei hohem Druck durch den Stahl des Gefässes, in dem es sich befindet; und es ist bekannt, dass Quecksilber sehr schnell durch Zinn und andere Metalle dringt und vollkommen ihre Structur, ihre Eigenschaften und selbst ihre chemische Zusammensetzung ändert.

Der Beweis für die Beweglichkeit der Atome oder Molecüle der festen Körper ist unanfechtbar. Zu Pulver reducirte Substanzen können, selbst bei gewöhnlichen Temperaturen, durch blossen Druck wieder in einen gleichmässigen, festen Zustand versetzt werden. So erzeugte Professor W. Spring vor etwa 10 Jahren aus gepulvertem Kalium- und Natriumnitrat unter einem Druck von 13 Tonnen pro Quadratzoll gleichmässige, durchsichtige Massen von etwas höherem specifischen Gewicht als die ursprünglichen Krystalle, die aber sonst von diesen nicht unterschieden werden konnten. Noch mehr, aus einem Gemisch von Kupferspähnen und Schwefel erzeugte er unter einem Drucke von 34 Tonnen pro Quadratzoll vollkommen gleichmässiges Kupfersulfid Cu_2S, indem die Atome der beiden Elemente durch Druck in so innige Berührung mit einander kamen, dass sie sich in Molecüle von bestimmten Verhältnissen ordnen konnten; und noch merkwürdiger ist, dass sorgfältig getrocknete Pulver von Kalisalpeter und Natriumacetat durch Druck veranlasst wurden, ihre Metallbasen auszutauschen und Natronsalpeter und Kaliumacetat zu bilden.

Dieselben Bewegungen und Auswechselungen fanden statt und gehen noch immer vor sich in dem Laboratorium der Natur. Während der unzähligen Zeitepochen, mit denendie Geologie sich beschäftigt, und unter den ungeheuren Drucken der darüber liegenden Massen wurden die geschichteten, sedimentären Gesteine krystallinisch und nahmen das Aussehen von Gesteinen feurigen Ursprunges an, und nicht nur dies, sondern Gesteine beliebigen Ursprungs wurden zermalmt und in Stücke zerrieben durch unwiderstehliche geologische Störungen, und wandelten sich in neue Formen um in Folge der noch unwiderstehlicheren und beständigeren Wirkung der Molecularkräfte und -Bewegungen . . .

Bei hohen Temperaturen werden dieselben Wirkungen noch leichter hervorgebracht wegen der grösseren Bewegungsenergie der Atome oder Molecüle. In dem Processe der Stahlbereitung durch Cementation, oder beim Schalenguss genügt die blosse Berührung von Eisen mit festen, an Kohle reichen Substanzen, um letzterer zu gestatten, ihren Weg ins Innere des ersteren zu finden, während bei der Bildung von hämmerbarem Gusseisen die Kohle mit gleicher Leichtigkeit aus den Gussstücken heraus tritt; es ist ein Fall von vollkommener Diffusion fester Substanzen durch einander; aber wegen der geringeren und beschränkten Beweglichkeit der Theilchen bei gewöhnlicher Temperatur werden ein höherer Wärmegrad und längere Zeit gebraucht, als bei Flüssigkeiten und Gasen.

Wenn man ferner mit Hilfe der Wärme die Molecularbewegung zu einer Höhe gesteigert kat, bei welcher beginnende Verflüssigung erhalten wird, dann werden die Theilchen zweier mit einander in Berührung gebrachter Stücke sich gegenseitig durchdringen; die beiden Stücke werden sich zu einem homogenen Ganzen vereinen, und wir können so die ganze Bedeutung des Vorganges erfassen, der als „Schweissen" bekannt ist. Durch die gewöhnlichen, rohen Methoden vereinigen sich nur wenig Substanzen in dieser Weise, weil die Natur des Processes die wirkliche Berührung der beiden Substanzen verhütet, oder in bestimmtem Grade hindert; wenn aber die Molecularbewegung in einem besonderen Grade gesteigert wird durch einen elektrischen Strom, so können die zu verbindenden Flächen in wirkliche Berührung gebracht, die Anwesenheit von fremden Substanzen ausgeschlossen werden, und viele Metalle, die bisher nicht schweissbar waren, wie Werkstahl, Kupfer und Aluminium werden leicht geschweisst . . . Ferner findet eine mehr oberflächliche Vereinigung verschiedener Metalle leicht statt unter dem Einflusse hoher Temperatur und mässigen Druckes, wie wir dies bei dem Verzinnen und Löthen sehen. Die Oberflächen der Metalle müssen möglichst rein gemacht werden; das Loth, welches bei einer niedrigeren Temperatur schmilzt, als das zu verlöthende Metall, wird darauf gelegt und bei einer verhältnissmässig niedrigen Temperatur und unter einem sehr geringen Druck durchdringen sich die Theilchen; die beiden Metalle verbinden sich und bilden eine Legirung, durch welche die beiden Flächen verbunden sind. Diese Wirkung wird sehr gut veranschaulicht durch den Vorgang, der an der Berührungsfläche zweier unähnlicher Flüssigkeiten stattfindet. Wenn z. B. eine Lauge in den unteren Theil eines Gefässes gebracht wird und gewöhnliches, irgendwie gefärbtes Wasser sorgfältig darüber gegossen wird, so erscheint eine scharfe Trennungslinie; aber nach kurzer Zeit wird die Trennungslinie verschwommen und wird schliesslich ganz verschwinden, ein örtliches Vermischen der beiden Flüssigkeiten wird stattgefunden haben und stellt so einen Fall von Flüssigkeits-Schweissung dar.

Somit ist es klar, dass scheinbar träge, feste Massen gleichfalls aufgebaut sind aus sich bewegenden Theilchen, die in dynamischem Gleichgewicht sind, denn ohne eine solche Annahme wäre es schwierig, die von mir angezogenen Erscheinungen zu erklären. Aber ausser diesem Beweise können wir noch die Wirkungen anderer Energieformen anführen, die wir unter dem Namen strahlende Wärme, Licht und Elektricität kennen. Dies sind bekanntlich Formen von Bewegungen, welche mitgetheilt und von einer in die andere, von der unsichtbaren in eine sichtbare umgewandelt werden können. Die Bewegung, welche wir strahlende Wärme nennen, welche mittelst des Lichtäthers wirkt, von dem man auf die gewichtigsten Gründe hin glaubt, dass er den ganzen Raum und alle Materie durchdringt, ist im Stande, die Quantität der Bewegung in den Stofftheilchen zu vermehren und gewöhnlich eine Erweiterung der Volumen zu veranlassen. Umgekehrt, wenn die Theilchen durch Berührung oder durch Strahlung ihre Wärme entweder an die umgebenden Objecte oder an den Raum verlieren, so wird die Wärmemenge vermindert, der Körper contrahirt sich; und diese Zusammenziehung geht fort bis zu Temperaturen weit unter denen mit welchen wir in der Praxis zu thun haben, und deshalb muss bei allen gewöhnlichen Temperaturen noch reichlich Raum für moleculare Bewegung vorhanden sein.

Ferner bewirkt Energie in Form von Licht Aenderungen in der Oberfläche der Körper, indem sie die Farben verblassen lässt und der Photographie die merkwürdige Kraft verleiht, die sie besitzt. Licht zerlegt die Kohlensäure der Atmosphäre im Chlorophyll der grünen Blätter und veranlasst chemische Verbindungen z. B. von Chlor und Wasserstoff zu Chlorwasserstoffsäure, oder von Kohlenoxyd mit Chlor zu Chlorkohlensäure. Man kann nicht begreifen, wie diese Wirkungen hervorgebracht werden, wenn nicht die Lichtschwingungen im Stande sind, die bereits in den festen, flüssigen und gasförmigen Körpern existirenden Molecularbewegungen zu modificiren.

Die Elektricität übt einen ähnlichen Einfluss aus. Erzeugt durch Molecularbewegungen, die durch chemische Processe veranlasst werden, entweder direct wie in der primären Batterie, oder indirect wie in der Dynamomaschine, ist sie im Stande die Molecularbewegungen in den Körpern so zu steigern, dass sie die Wirkungen der direct angewendeten Wärme hervorbringt; sie ist im Stande, Bewegungen von solcher Intensität anzuregen, dass sie chemische Aenderungen und Zersetzungen hervorbringen, nicht zu reden von der ganzen Reihe von Erscheinungen des Magnetismus, der Induction oder von der Wirkung durch den Raum und durch nicht leitende Körper, welche, wie bei der strahlenden Wärme und dem Licht, die Existenz eines Aethers zwischen den Atomen zu fordern scheinen. Umgekehrt erzeugen Aenderungen des Molecular-Gleichgewichtes, welche durch äussere Kräfte hervorgebracht werden, entsprechende Aenderungen der elektrischen Ströme; Beweise hierfür sind z. B. die Wirkungen der Wärme auf die Leitungsfähigkeit und die wunderbaren Enthüllungen molecularer Aenderungen, die man mittelst der Inductionswaage von Professor Hughes erhält. Das Verhalten der Explosivstoffe beleuchtet gleichfalls und in überraschender Weise die Wirkungen einer Störung des molecularen Gleichgewichts. Ein Explosivstoff ist ein Körper, der in einer festen oder flüssigen Form, alle Elemente in sich enthält, die nothwendig sind, um eine chemische Aenderung hervorzubringen, durch welche er in den gasförmigen Zustand umgewandelt wird. Die Anwendung von Wärme, von Druck oder von Stoss veranlasst, wie in Professor Spring's Versuchen, chemische Vereinigung, zuerst an der Stelle, wo das Gleichgewicht durch die Anwendung äusserer Kraft gestört ist, und dann mit grosser Geschwindigkeit durch die Masse, indem die Störung fortgepflanzt wird entweder durch die Luft, welche die Theilchen umgiebt oder durch den Lichtäther mit der ganzen Geschwindigkeit des Lichtes; die chemische Reaction wird beschleunigt durch den Druck, der z. B. entstehen kann, wenn der Explosivkörper eingesperrt ist in die Kammer eines Gewehrs, oder in das Bohrloch eines Schusses. Starke Explosivstoffe sind verhältnissmässig träge gegen gewöhnliche Entzündung; aber wenn das Molecular-gleichgewicht plötzlich in der ganzen Masse gestört wird durch die Detonation eines Percussionszünders, dann tritt augenblicklich überall Verbindung ein, und eine heftige Explosion folgt. In ähnlicher Weise können manche Gase, wie Acetylen, Cyan u. a. durch Detonation zersetzt und zu ihren festen Bestandtheilen reducirt werden. Professor Thorpe hat einen schönen Vorlesungsversuch angegeben, in welchem Schwefelkohlenstoff in Kohle und Schwefel zerfällt wird durch die Detonation von Knallquecksilber, das durch den elektrischen Funken entzündet wird (Rdsch. IV, 295). In diesen Fällen findet eine umgekehrte Wirkung statt, aber sie beleuchtet gleich gut die Umwandlung einer Form von Energie in eine andere, und die daraus folgende Störung des Moleculargleichgewichts in den betroffenen Substanzen. Es scheint mir klar, dass die Zeit gekommen ist, wo die Vorstellung des dynamischen Gleichgewichtes der letzten Theilchen der Materie in all ihren Formen die Stelle des Structursystems träger Partikelchen einnehmen muss. Ich kann nicht begreifen, wie die von mir aufgezählten Erscheinungen erklärt werden können unter der Annahme, dass die Materie aus unbewegten Theilchen aufgebaut ist — wie z. B. eine Schicht von rothen und gelben Ziegeln jemals die Reihenfolge ihrer Anordnung ändern kann, ohne vollständig auseinander genommen und wieder aufgebaut zu werden, in welchem Falle ein Zwischenstadium des Chaos existiren muss; aber ich kann leicht verstehen, wie ein dichter Haufen von Menschen als compacte Masse erscheinen kann, die z. B. in einer bestimmten Richtung strömt, und wie dennoch jedes Glied dieser Masse begabt ist mit bestimmter Bewegung, mittels deren es seinen Weg vorwärts verfolgen kann, ohne das allgemeine

Aussehen zu stören; wie die Vereinigung von zwei Haufen ein Ganzes bilden kann, wenn auch vielleicht von verändertem Charakter; und wie selbst Professor Spring's Versuche erklärt werden können durch die Annahme, dass Zuschauer am Rande eines Haufens durch äusseren Druck gezwungen werden einen Theil desselben zu bilden und an seiner allgemeinen Bewegung sich zu betheiligen.

Es ist eine folgenreiche Thatsache, dass das Product aus dem Atomgewicht gewisser Körpergruppen und ihren specifischen Wärmen eine constante Grösse ist, welche bei der Mehrzahl der Elemente nicht viel von 6,5 abweicht. Dies setzt voraus, dass die Wärmemenge, die nothwendig ist, um die Temperatur irgend einer dieser Gruppen um einen bestimmten Werth zu erhöhen, dieselbe ist. Daher werden diese Atome bei einer gegebenen Temperatur mit derselben Energiegrösse begabt sein, und daher werden sie im Stande sein sich zu ersetzen, ohne das allgemeine dynamische Gleichgewicht zu stören.

Wenn zugegeben wird, dass Molecularbewegung die Materie in allen Formen durchdringt, und die feste, oft unmerklich in die flüssige, oder selbst direct in die gasförmige übergeht, so folgt fast mit Nothwendigkeit, dass ein Grenzgebiet existiren muss, dessen Grenzen von der Temperatur und dem Druck bestimmt werden, in welchem die Substanzen sich beständig von dem einen Zustand in den anderen umwandeln. Dies kann man beobachten beim Schmelzen, aber noch deutlicher beim Verdampfen, wo die Theilchen unaufhörlich als Gas in den Raum geschleudert werden und ebenso beständig zum flüssigen Zustand zurückkehren. Henri St. Claire Deville hat ähnliche Erscheinungen bei den chemischen Reactionen untersucht; er hat gefunden, dass bei bestimmten Temperaturen und Drucken die Substanzen zerfallen und sich verbinden, ganz in der Weise, wie die Verdampfung stattfindet, und er hat dieser Eigenschaft der Materie den Namen „Dissociation" gegeben. Professor Mendelejeff und Andere haben die Beobachtungen des berühmten französischen Chemikers erweitert und das allgemeine Gesetz formulirt, dass Substanzen der Dissociation fähig sind bei allen Temperaturen nicht nur in den chemischen Verbindungen, sondern auch in den Lösungen.

Wenn Stahl als eine Lösung von Kohle und Eisen aufgefasst wird, dann kann das Härten des Stahls erklärt werden durch die Theorie, dass eine Dissociation stattgefunden bei der Temperatur, bei welcher er plötzlich abgekühlt worden, wobei die plötzliche Abkühlung die Molecularbewegung in einer solchen Amplitude oder Phase fixirt hat, dass sie ihm eine charakteristische Structur giebt, deren eine Eigenschaft die sehr grosse Härte ist. Beim Tempern erzeugt die allmälige Mittheilung der Wärme eine Dissociation, das Moleculargleichgewicht wird durch die den Theilchen mitgetheilte erhöhte Energie modificirt, und wenn man plötzlich bei irgend einem Punkte abkühlt, so bleibt wieder eine bestimmte Substanz, die aus Eisen und Kohle besteht, zum Theil in verschiedenen Graden der Lösung zum Theil frei, und die im Besitz besonderer mechanischer Eigenschaften ist. Dass Stahl und wahrscheinlich auch andere Legirungen in der Art ihrer Zusammensetzung differiren, je nach dem Wege, wie sie hergestellt worden, sowohl in Bezug auf die Wärme, wie auf den mechanischen Druck, ist hinreichend erwiesen durch viele hervorragende Metallurgen und besonders durch Sir Frederick Abel in den ausgedehnten Untersuchungen, die er jüngst über das Härten des Stahls für die Institution of Mechanical Engineers ausgeführt hat. Es müsste als eine natürliche Folge hiervon erscheinen, dass die Eigenschaften des Stahls bedeutend beeinflusst werden durch die Art, in welcher seine Temperatur verändert worden, und so finden wir dies in der That, wenn diese Aenderungen hervorgebracht werden durch Bäder von geschmolzenem Metall, durch Oel oder durch Wasser von verschiedener Temperatur. Die Wirkung, welche stattfindet, kann erläutert werden durch das, was eintritt, wenn ein complicirter Tanz plötzlich in den verschiedenen Phasen unterbrochen wird. Die einzelnen Theilnehmer desselben werden stets dieselben sein, aber die relative Vertheilung der Partner wird beständig sich ändern, und die Analyse wird zeigen, dass zu einer Zeit jeder Herr mit einer besonderen Dame vereint ist, in einer anderen, dass zwei Damen einen Herrn haben, während eine Anzahl Herren ohne Partner sind, und dann wieder, dass die Bewegungen, welche geradlinig gewesen, kreisförmige geworden sind. In jedem Falle werden die Gruppen ein gänzlich verschiedenes Aussehen annehmen.

Zur Stütze dieser Anschauungen mag angeführt werden, dass, soviel ich weiss, kein reines Element gehärtet oder getempert werden kann; der Grund hierfür ist, dass keine chemische Aenderung eintreten kann, wenn nur eine Substanz vorhanden ist; die Wirkung von Wärme und Druck, wie plötzlich sie auch angewendet werden, erzeugt nur eine Aenderung der Form, welche keine entsprechende Aenderung der mechanischen Eigenschaften mit sich führen kann.

Es könnte jedoch behauptet werden, dass es unwahrscheinlich sei, dass Legirungen und Lösungen in so ausgesprochener Weise von kleinen Aenderungen bei verhältnissmässig niederer Temperatur beeinflusst werden könnten; aber ich möchte bemerken, dass „gross und klein" nur relative Bezeichnungen sind, und dass wir reichliche Belege für die ungeheuren Wirkungen haben, die durch kleine Ursachen hervorgerufen werden . . . Es ist noch nicht lange her, dass Jeder für einen Träumer gehalten worden wäre, der die Theorie aufgestellt hätte, dass die Anwesenheit von einem Bruchtheil eines Procent von Kohle, Phosphor oder Schwefel den Charakter des Eisens ganz verändern würde. Es ist aber bekannt, dass der Zusatz von $^1/_{2000}$ Aluminium zu geschmolzenem Eisen die teigige Masse so flüssig macht wie Wasser; dass die Anwesenheit der geringsten Verunreinigung im Kupfer einen sehr verderblichen

Einfluss auf seine Leitungsfähigkeit für Elektricität hat, und dass der Zusatz von $^1/_{1000}$ Antimon das „beste ausgesuchte" Kupfer in das denkbar schlechteste verwandelt. Ich brauche kaum anzudeuten die grosse Rolle, welche in der Natur die mikroskopischen Organismen spielen, und wie sehr die Schönheit unserer Meere und Flüsse von so kleinen Substanzen herrührt, dass nur der elektrische Strahl von Professor Tyndall im Stande ist, ihre Anwesenheit zu verrathen.

Auf einen ferneren mit meinem Thema verknüpften Umstand muss ich Ihre Aufmerksamkeit lenken, weil er, obwohl seine Anwendung auf die mechanischen Eigenschaften der Materie neueren Datums ist, von grosser Bedeutung zu werden verspricht. Ich meine das periodische Gesetz von Dr. Mendelejeff. Nach diesem Gesetze zeigen die Elemente, nach ihren Atomgewichten geordnet, eine entschiedene Periodicität der Eigenschaften, und nach Professor Carnelley sind die Eigenschaften der Verbindungen der Elemente eine periodische Function der Atomgewichte ihrer Bestandtheile. Von diesem Gesichtspunkte aus hat Professor Roberts-Austen jüngst viel Zeit und Arbeit der Prüfung der Anwendbarkeit dieses Gesetzes auf die mechanischen Eigenschaften der Metalle gewidmet. Die Untersuchung ist mit ausserordentlichen Schwierigkeiten behaftet, weil eines der wesentlichsten Erfordernisse der Untersuchung das ist, dass die behandelten Metalle absolut rein sein müssen. Für chemische Untersuchungen sind einige Gramm einer Substanz ausreichend, und die erforderliche Reinheit kann mit einem mässigen Aufwand von Zeit und Arbeit erreicht werden; wenn aber mechanische Eigenschaften untersucht werden sollen, sind beträchtliche Massen nothwendig, und die Mittel, die hierzu erforderlich, sind einem Privatmanne unerschwinglich. Ich kann nicht umhin zu betonen, dass reiche Institute, deren viele zu unserem Beruf in Beziehung stehen, ihre Hilfsmittel nicht besser verwenden können, als wenn sie die Mittel hergeben für Untersuchungen, wie sie Professor Roberts-Austen begonnen.

In Rücksicht auf die Schwierigkeit, Metalle von hinreichender Reinheit zu erhalten, wählte er Gold als Grundlage, weil dieses Metall viel leichter rein dargestellt werden kann, als ein anderes, und der Oxydation nicht unterworfen ist. In einer Mittheilung an die Royal Society zeigte er, dass die mit dem Golde legirten Metalle, welche seine Zähigkeit und Dehnbarkeit vermindern, hohe Atomvolume haben, während die, welche diese Eigenschaften vermehren, entweder dieselben Atomvolume haben wie Gold, oder geringere (Rdsch. III, 392). Die Untersuchung ist eben erst begonnen, aber sie scheint mir Resultate zu versprechen, welche für den Techniker sich so wichtig und so fruchtbar erweisen werden, wie die grosse Verallgemeinerung Mendelejeff's für die Chemiker gewesen. Ein Gesetz, welches nicht bloss die Existenz unbekannter Elemente andeutet, sondern auch ihre Eigenschaften bestimmen kann, bevor sie entdeckt sind, muss, wenn es auf die Metallurgie angewendet werden kann, sicherlich höchst wichtige Resultate ergeben, und wird das Zusammensetzen von Legirungen zu einem wissenschaftlichen Process machen anstatt eines gesetzlosen, zufälligen Operirens, wie es jetzt ist.

Die praktische Wichtigkeit der Anschauungen, welche ich entwickelt habe, ist, glaube ich, hinreichend klar. Jeder wird zugeben, dass eine äussere Kraft auf ein bewegtes System nicht einwirken kann, ohne diese Bewegung zu beeinflussen; daher kann Materie in beliebigem Zustande, nicht angerührt werden, ohne dass Aenderungen eintreten, welche mehr oder weniger bleibend sind. Die Anwendung der Wärme wird eine Volumänderung und zuletzt eine Zustandsänderung veranlassen; die Anwendung äusserer Kräfte wird gleichfalls eine Volumänderung herbeiführen, und es ist naturgemäss zu schliessen, dass zwischen den beiden ein Zusammenhang existirt; dem entsprechend hat Professor Carnelley die Aufmerksamkeit auf die Thatsache gelenkt, dass die zähesten Metalle hohe Schmelzpunkte haben (Rdsch. III, 457), obwohl auch hier die Genauigkeit noch eine sehr mangelhafte ist, theils wegen der Schwierigkeit hohe Temperaturen zu messen und theils wegen der Seltenheit reinen Materials.

Ferner muss man erwarten, dass lang fortgesetzte, oder oft angewandte Inanspruchnahmen dauernde Gestaltänderungen herbeiführen werden, und so kommen wir zu der sogenannten „Ermüdung" der Materialien. Ueber ihre Elasticitätsgrenzen gestreckt, welche Grenzen ich nur annehme, wenn die Inanspruchnahmen schnell erfolgen, werden die Stoffe dauernd deformirt, und dieselben Wirkungen folgen der langen Anwendung der Wärme. Eine beständige Wiederkehr der Inanspruchnahmen, selbst innerhalb der Elasticitätsgrenze, erzeugt Aenderungen in der Anordnung der Körpermolecüle, welche langsam die Eigenschaften der Substanz verändern, und so sind Maschinentheile, welche theoretisch reichlich stark waren für die Arbeit, welche sie leisten sollten, nach mehr oder weniger langer Benutzung zu schwach geworden. Die Wirkung wird verstärkt, wenn die Inanspruchnahmen plötzlich erfolgen, wenn sie bis nahe zur Elasticitätsgrenze reichen, und wenn sie gleichzeitig in zwei oder mehr Richtungen einwirken, denn dann wird die moleculare Störung sehr intensiv, das innere Gleichgewicht wird vernichtet und eine Neigung zum Brechen folgt. Solche Fälle kommen vor in den Artilleriestücken, in Panzerplatten, in den Maschinentheilen, welche Stössen ausgesetzt sind; und wie erwartet werden muss, erscheinen die zerstörenden Wirkungen nicht immer sofort, sondern oft nach langen Zeitperioden.

Wenn beträchtliche Metallmassen durch Schmieden oder durch Druck in erhitztem Zustande bearbeitet werden müssen, so veranlasst das spätere Abkühlen der Masse Beschränkungen der freien Bewegung einiger, wenn nicht aller Theilchen; innere Spannungen entwickeln sich, welche sich langsam verstärken und oft unerwartete Unfälle veranlassen.