

Die Zahl 70930 giebt also ein Maafs für die in dem bezeichneten Zeitpunkte jenes Nachmittags durch die atmosphärische Elektricität ausgeübte Vertheilungswirkung, das von jeder speciell elektrischen Einheit unabhängig nur auf die gewöhnlichen in der Mechanik bisher schon gebräuchlichen Einheiten der Länge, der Masse und der Zeit gegründet ist.

IV. *Ueber die Art von Bewegung, welche wir
Wärme und Electricität nennen;
von Buijs-Ballot.*

I. **D**a dieser Gegenstand erst neuerlich von Hrn. Krönig und besonders von Hrn. Clausius ausführlich bearbeitet worden ist, so würde ich es nicht gewagt haben, denselben abermals zu berühren, wenn nicht der Letztere selbst auf den Brief, worin ich ihm meine Ansichten entwickelte, mir freundlichst geantwortet hätte, dafs er es bei der Schwierigkeit der Sache und bei dem Mangel an genügenden Argumenten, um in dieser oder jener Richtung fest zu entscheiden, für das Beste halte, dafs Jeder seine Ansicht dem wissenschaftlichen Publikum vorlege und sich dessen Urtheil unterwerfe.

Wenn ich nun demgemäfs hier meine Ansicht aus einander setze und mir hin und wieder etwas Abweichendes zu behaupten erlaube, so geschieht es keineswegs, weil ich etwa gegen die Autorität des Hrn. Prof. Clausius nicht die schuldige Achtung hegte, sondern weil ich diese meine Meinung schon vor acht Jahren in holländischer Sprache drucken liefs, und darin so viel Uebereinstimmendes mit dem finde, was nunmehr von den meisten Physikern angenommen wird, dafs ich auch glaube auf die Abweichungen einiges Zutrauen setzen zu können.

2. Von der erwähnten Schrift habe ich selbst im fünften Bande der »*Fortschritte der Physik*« (Berlin 1853) einen Auszug gegeben, der aber, besonders in Beziehung auf den gegenwärtigen Punkt, nothwendig zu kurz ist. Näher aus einander gesetzt habe ich das Princip in den Denkschriften der Königl. Niederländ. Akad. d. Wiss., Bd. V, allein, bei der geringen Verbreitung der holländischen Sprache, ist die Abhandlung wohl nicht im Auslande bekannt geworden. Ich finde mich also veranlaßt, hier erstens meine Ansicht etwas näher zu entwickeln, dann anzuführen, in wie weit ich dieselbe noch abändern könnte und drittens die Gründe anzugeben, warum ich nicht weiter gehen und nicht ganz den Meinungen der HH. Clausius und Krönig beistimmen kann.

3. Durch Wechselwirkung der Anziehung der wägbarren Atome auf einander und auf die Aetheratome mit der Abstosung zwischen diesen letzteren (ganz so genommen wie gewöhnlich im atomistischen Sinne) wird die Kraft zwischen zwei Theilchen eine Function des Abstandes, ungefähr also:

$$F(x) = \frac{A}{r^2} + \frac{B}{r^3} + \frac{C}{r^4} + \frac{D}{r^5} + \dots$$

Die Glieder der Reihe sind meistens von abwechselndem Zeichen, so dafs die Function wenigstens drei stabile und drei labile Gleichgewichtsabstände giebt. Die Form der Function ist so gedacht, um die Continuität in der Natur fest zu halten. Ich bin ganz selbstständig auf sie gerathen, fand sie aber hernach ungefähr so bei Boscovich; auch hat sie einige Aehnlichkeit mit der Form, welche Mädler noch für grofse Abstände für nothwendig hält. (Siehe dessen gekrönte Preisschrift über die Sternsysteme S. 21 und 22.) Seine Function hat indefs nur gerade Potenzen.

Die Formel wird auch, wenn man mehre Theilchen berücksichtigt, wie bei Körpern nothwendig ist, ihre Constanten ändern, aber ihre Form unverändert behalten; auch wird ein Complex von mehreren Molecülen gegen einen anderen Complex von solchen im Gleichgewicht verharren, wenn

dieses stabil ist; dagegen wird es einen anderen Abstand aufsuchen, wenn das Gleichgewicht nicht vorhanden oder gar labil ist, und die geringste Störung eintritt. Im letzteren Falle wird es einen der beiden festen benachbarten stabilen Gleichgewichtszustände aufsuchen und um denselben zu oscilliren anfangen, jedoch nicht für immer, denn die umgebenden Theilchen und Molecüle treten hemmend entgegen, und, wenn sie auch dadurch heftiger bewegt werden, wird das erstgenannte Molecül gerade deshalb beruhigt, und es schwingt nicht mehr über den labilen Gleichgewichtsabstand hinaus.

4. Was ich von den complexen Molecülen behaupte, wird auch für die einzelnen Theilchen der Molecüle gültig seyn. Sind die einzelnen Theilchen eines Molecüls unter einander homogen, so wird nur ein physisches Aggregat gebildet, und da es für die Wirkung nach außen nicht ganz einerlei ist, ob die einzelnen Theilchen sämmtlich mit einander in Gleichgewicht stehen, oder ob erst einige sich zu einem Complexe verbunden haben, andere nicht, so kann, wie ich glaube, vielleicht hierin die allotropische Verschiedenheit mancher Stoffe begründet seyn. Sind aber die einzelnen Theilchen unter einander heterogen, so haben wir den Fall einer chemischen Verbindung. Jedenfalls bezieht sich die Vereinigung der einzelnen Atome zu einander auf den Abstand, in welchem die Theilchen einander am nächsten sind. Die ferneren Gleichgewichtsabstände am meisten von complexen Molecülen geben die verschiedenen Aggregatzustände; einer giebt den starren, einer den flüssigen und einer den gasförmigen Zustand. In diesem letzteren sind, obwohl nur selten, wie vielleicht im ozonisirten Sauerstoffe, die Theilchen noch erst zu complexen Atomen vereinigt.

5. Jeder Stoff hat seine eigenen Constanten in der Function $F(x)$, nur haben isomorphe Stoffe gleiche Constanten; letzteres ist ein Schluss aus dem gleichen Aequivalentvolumen, demgemäß die Atome bei den Gleichgewichtslagen gleiche Abstände haben. Die Function $F(x)$ wird also bei isomorphen Stoffen für den nämlichen Werth

von α gleich Null. Darum habe ich denn auch den Atomen im Allgemeinen eine andere unveränderliche Form zugeschrieben und nur von dieser die Verschiedenheit der Constanten in der Function hergeleitet. Je mehr sich der gegenseitige Abstand der Theilchen vergrößert, desto kleiner wird der Einfluss dieser Form. Die Größe A ist allen Stoffen gemein, weshalb denn auch in den Wirkungen der Schwere keine Verschiedenheit von Stoff zu Stoff beachtet zu werden braucht. Aber schon in Gasen zeigt sich der etwas verschiedene Werth der übrigen Constanten nur sehr wenig, und wohl desto weniger, je mehr sie verdünnt sind, je mehr sie also einem vollkommenen Gaszustand sich nähern. Wenn dann diese Theilchen oder Molecüle im Gleichgewicht sind, so folgt daraus noch nicht, dass sie keine relative Bewegung besitzen. Im Gegentheil äußert sich diese Bewegung als Wärme, als Elektrizität, als Magnetismus. Ruhe ist als solche in der Natur undenkbar; einen absoluten Nullpunkt der Temperatur halte ich für etwas Ungereimtes. Kommen transversale Aetherschwingungen als Wärmewellen, oder longitudinale als Elektrizitätswellen von außen an, so kann es nicht ausbleiben (und seitdem ist es auch von Fizeau experimentell nachgewiesen), dass mit den Aetheratomen auch die wägbaren Theilchen in Bewegung gerathen; die Bewegung derselben zunimmt, und somit Theilchen gegen Theilchen, und Molecüle gegen Molecüle stärker zu schwingen anfangen, etwa in der Weise, wie es schon von Ampère aufgefasst wurde. Die gegenseitige Bewegung der Theilchen bringt eine Bewegung des complexen Molecüls hervor, und diese äußert einen Einfluss auf jene, gerade so, wie man den Jupiter nicht von der Sonne entfernen oder schwingen lassen könnte, ohne dass sich nicht seine Bewegung in der seiner Satelliten abspiegelte. Die beiden Bewegungen hängen hier noch viel inniger zusammen, weil die gegenseitigen Abstände der Theilchen in einem Molecüle zwar klein sind im Vergleich zu denen der Molecüle selbst, aber doch nicht unendlich klein oder sehr klein, wie bei den Himmelskörpern. Die Theilchen werden also durch

die Schwingungen der Moleculle sehr in Schwingung gerathen, und damit hängt zusammen, dafs, wenn die Theilchen ganz oder beinahe heterogen sind, durch Wärme und Elektrizität chemische Verbindungen gebildet und auch zerfällt werden können. Gehen wir etwas näher ein auf die Aenderungen, welche durch Wärme und Elektrizität in dem, einem Aggregatzustand entsprechenden Gleichgewichtszuständen hervorgerufen werden.

6. Bis auf den starren Zustand hat Hr. Clausius, wie mir scheint, die nämliche Vorstellung, und, wenn er auch etwas von mir abweichen sollte, so kann auch er doch nicht der Abstofsungskräfte entbehren, die ich, mit ihm, zwar vermeiden und selbst ganz läugnen möchte, die man aber doch nun einmal nicht zu beseitigen vermag. Diese Kräfte wurden in dem Obigen nicht ausdrücklich erwähnt; es hängt aber von ihnen mit die complicirte Form der Function ab, und wenn diese einen positiven Werth erhält, so ist die Abstofsung überwiegend. Auch wird Hr. Clausius, glaube ich, keinen Anstand nehmen, der durch die Wärme vermehrten Oscillationsgeschwindigkeit den Uebergang aus dem starren in den flüssigen Zustand zuzuschreiben. Die Amplitude wird gröfser, endlich gehen die Theilchen über den labilen Zustand hinweg und suchen einen neuen Zustand auf, der nicht so bestimmt angewiesen ist, oder der nach mir in einem Abstand liegt, wo die Function sich nicht so viel und so schnell ändert. Sey r der erste Abstand eines stabilen Gleichgewichts, s der Abstand des labilen Gleichgewichts, und t der des zweiten Gleichgewichts, so ist in s die Bewegung gleich Null, und also auch $m v^2$ und die Wärme des Theilchens erlischt. Um es bis s zu ent-

fernen, müfste man anbringen: $m \int_t^s F(x) \partial x$, das Maafs der Wärme, die verloren ging; und man hat gewonnen $m \int_t^s F(x) \partial x$; also ist $m \int_t^s F(x) \partial x - m \int_t^s F(x) \partial x = m \int_t^s F(x) \partial x$, dem Maafse der latenten Wärme aequivalent, wenn m die

Masse des Molecüls bezeichnet. Zerfällt aber das Molecül in kleinere, was man aus den Erscheinungen beurtheilen muß, so ist dies freilich etwas anderes. Es würde dann

$m \int F(x) \partial x$ gerade die Wärme des Schmelzpunktes seyn,

woraus denn auch begreiflich wird, wie die Flüssigkeit bei Ruhe bis unter den Schmelzpunkt abgekühlt werden kann, ohne zu gestarren, — wie sie aber, wenn sie durch eine oder andere Ursache einmal zu erstarren anfängt, durch die frei gelassene Wärme genau bis auf den Schmelzpunkt erwärmt wird, und dann, bei fortwährender Entziehung von Wärme, regelmäßig erstarrt.

Das Kleinerwerden des Differentialquotienten für den größeren Gleichgewichts-Abstand fällt zusammen mit dem Verlust an lebendiger Kraft, und hängt vom Zeichen der Größe $(r + t - 2s)$ ab, wenigstens wenn wir nur diese drei Glieder berücksichtigen.

7. Bei den Flüssigkeiten fängt Hr. Clausius an, eine andere Bewegung einzuschieben. Möglich ist es allerdings, daß die Theilchen allerlei krummlinige Bewegungen vollbringen und in einem gewissen Gleichgewichts-Abstande, wie die Planeten, zu beharren scheinen; aber zu solcher Annahme sind wir bis jetzt noch nicht genöthigt, denn die Beweglichkeit erklärt sich schon daraus, daß für diesen Gleichgewichtszustand der Differentialquotient der Kraft genügt und die Kraft selbst keinen großen Werth annimmt, auch ihr Zeichen bei Vergrößerung des Abstandes, bald ändert. Bis jetzt bleibe ich also lieber bei meiner Vorstellung. Es ändert auch wenig an den Folgerungen, wie denn z. B. Hrn. Clausius' Vorstellung von der Verdunstung beinahe ganz die meinige ist: man wird dies aus den Nachstehenden ersehen.

8. Wenn die Wärme der Flüssigkeit zunimmt, wird der labile Gleichgewichts-Zustand bald von dem Theilchen erreicht und überschritten; nun schießt es mit großer Geschwindigkeit fort und hat Gasform angenommen. Wäre

nichts da, was sich seiner Bewegung entgegenstellte, so würde es mit dieser Geschwindigkeit forteilen, aber dem ist nicht so: Die Wärme oder die anderen Theilchen wirken hemmend ein, es kommt in die Anziehungs- oder vielmehr Abstofsungssphäre der übrigen, prallt zurück und wieder zurück, gerade so, wie man einen beweglichen negativ elektrischen Körper zwischen anderen festen negativen schwingen lassen kann, wenn man nur die Schwerkraft beseitigt, die sonst zu mächtig wäre. Von der anfänglichen Geschwindigkeit hängt nun die Amplitude der Oscillationen, d. h. die Temperatur ab, und von dieser wiederum vielleicht die Wellenlänge. Es versteht sich, dafs auch die Bewegung der bereits vorhandenen Gastheilchen modificirend einwirkt.

Ist, für eine gewisse Flüssigkeit in einem Gefäfse, t der Abstand eines Theilchens von den übrigen in der Gleichgewichtslage, u der erste labile Abstand, und $f(x)$ die Function des Abstandes, so wird ein Theilchen in u nach t hin-

fallen, und eine Geschwindigkeit $v = \int_0^t f(x) \partial x$ annehmen,

also eine lebendige Kraft gleich mv^2 besitzen, indem es um t oscillirt. Dieses mv^2 ist, wie gesagt, das Maafs für die latente Wärme, welche beim Uebergang aus dem gasförmigen in den flüssigen Zustand frei wird. Hat nun die Flüssigkeit eine geringere Temperatur als die der Siedhitze, so besitzen ihre Theilchen eine geringere Geschwindigkeit; sie werden aber beschleunigt und so lange bis sie zusammen genommen so viel gewonnen haben als das hinüber gekommene Theilchen verloren hat. Hatte es in u schon eine grofse Anfangsgeschwindigkeit, so würde das Theilchen über den Abstand t zurückgegangen seyn und die Flüssigkeit wäre einfach wie eine elastische Wand gewesen. Es hat jedoch etwas eingebüfst, und nach wiederholtem Ueberschreiten der Gränze u , wird es doch endlich um t zu oscilliren anfangen d. h. es wird flüssig geworden seyn. Die Flüssigkeit hat sich etwas erwärmt. Was das eine Theilchen thut, das

thun auch mehre, die Flüssigkeit erhitzt sich immer stärker und erreicht endlich die Siedhitze, d. h. alle Theilchen erlangen die Geschwindigkeit, dafs sie, um t oscillirend, auf der einen Seite bis an u reichen. Hier haben sie die Geschwindigkeit 0, so wie die Gastheilchen von u nach t hin nur verschwindend wenig mehr Geschwindigkeit haben. Nun müssen sie zurückfallen oder, wenn sie hineindringen, müssen dafür eben so viele andere die Flüssigkeit verlassen. Das Verhältnifs zwischen Verdampfung und Condensation ist festgestellt und gleich eins. Jetzt gebe man den Gastheilchen eine etwas gröfsere Geschwindigkeit, d. h. man vergrößere den Druck nicht nur gegen die festen Wände, sondern auch gegen die Flüssigkeit. Wenn man hierauf nicht achtete, müfste man sagen: desto mehr werden die Gastheilchen zurückprallen und es wird nichts mehr flüssig werden; aber so einfach ist nun der Vorgang nicht, es ist constanter Druck hinzugefügt. Die Punkte t und u , beide weichen zurück, so dafs nun wirklich die Flüssigkeitstheilchen einer gröfseren Oscillationsgeschwindigkeit bedürfen, als sie eben hatten, um bis an u zu kommen. Der Siedpunkt hat sich erhöht und nun dauert das Condensiren des Gases so lange fort, bis die hinübergekommenen Theilchen und die Atome der Flüssigkeit die mit dem neuen Punkte u übereinstimmenden Excursionen machen.

9. Was geht nun vor, wenn man das Gas plötzlich entweichen läfst? Erstens werden so viele Theile wieder gasförmig bis die Flüssigkeit durch deren Entweichen so viel von ihrer Temperatur eingebüfst hat, dafs die Theilchen nicht mehr das normale u , das u für den Druck der Atmosphäre, überschreiten. Aber auch dann, wenn diese Geschwindigkeit nicht mehr dazu ausreicht, falls sie gleichmäfsig über alle Theilchen vertheilt wäre, werden einige derselben das u noch überspringen, gerade so wie von Wassertropfen, die von einer Höhe herabfallen, obwohl alle nicht bis zur selben Höhe emporsteigen können, einige es dennoch thun, wenn durch Interferenz der Bewegungen mehrer Theilchen einige von ihnen eine gröfsere Geschwin-

digkeit erlangen. Wenn nun ein Theilchen, solchergestalt begünstigt, einmal über die Gränze u gegangen ist, wird es Gas und kehrt nicht mehr zurück. Also verdampft jede Flüssigkeit, aber um so schwieriger, je weiter sie von ihrem Siedpunkt entfernt ist und je ruhiger sie steht. Wenn man sie aber schüttelt oder fallen läßt, wenn der Wind über sie hinwegstreicht, Wellen auf ihr hervorbringt und die Theilchen des darüber liegenden Gases wegführen, denen die Gränztheilchen der Flüssigkeit zu folgen suchen, so geht die Verdampfung rascher vor sich, anfangs sogar augenblicklich, weil, wenn von $F(x)$ die ganze Atmosphäre weggenommen wird, nicht viel übrig bleibt, folglich die Atome bei der geringsten Geschwindigkeit ganz aus dem flüssigen Ruhepunkt fortgeschleudert werden. Ob es das gleiche oder ein anderes Gas ist, kann, so weit ich sehe, keinen großen Unterschied machen, denn das vorhandene Gas trägt durch seinen Druck auf die Flüssigkeit einfach dazu bei, den Abstand bis t und bis u zu vergrößern. Es ist genau das Princip, nach welchem ich (S. 252) für Eis eine Erhöhung und für andere Körper eine Erniedrigung des Schmelzpunktes vorher sagen mußte, im Fall mehre Atmosphären auf den festen Körper drücken. Wenn also einmal eine Flüssigkeit Gas geworden ist, so kann in so fern eine Verschiedenheit eintreten, als entweder schon dasselbe oder ein anderes Gas da war; im ersten Falle werden alle Theile sich gegen einander in Gleichgewicht setzen, im andern dagegen die Theilchen eines jeden Gases für sich ins Gleichgewicht begeben. Bei abstofsenden Kräften kann es füglich nicht anders seyn, wenn das Gesetz nicht das nämliche ist. Und für jeden Stoff, wenigstens für die nicht homogenen, glaube ich, wird das Gesetz durch die verschiedene Form der Atome etwas modificirt.

Wenn die Flüssigkeit verdampft, so haben wir gesehen, daß die Theilchen mit mehr oder weniger Geschwindigkeit über u fortgehen; es wird ihnen dabei nur sehr wenig Oscillations-Geschwindigkeit übrig bleiben. Allerdings wird aber, wenn das Gas Freiheit hat, sich, ohne Arbeit zu thun, sehr

ausdehnen, z. B. bis zum Gleichgewichtspunkt v , diese Geschwindigkeit wieder etwas vermehrt und folglich die Temperatur nicht völlig herabsinken. Beim Wasser sind, wenn der Dampf die Spannung einer Atmosphäre annimmt, 550 Wärme-Einheiten verloren gegangen. Es scheint hieraus zu folgen, daß eine luftförmige Substanz, wenn sie sich ausdehnt ohne Arbeit zu thun, denn sonst würde sie von ihrer Geschwindigkeit einbüßen, sich erwärmen oder einen anderen Bewegungszustand hervorrufen muß. Dieß ist nun gerade das Umgekehrte, was man bisher geglaubt, und wenn man auch gegenwärtig gesehen, daß keine Abkühlung vorkommt, so wird man doch wohl nicht die Erwärmung zugeben. Die Versuche hierüber sind äußerst schwierig. Bei dem von Joule sieht man in dem Gefäße, von welchem die Luft ausströmt, die Temperatur sinken, in dem anderen aber steigen; — ganz natürlich, denn die Luft im ersten Gefäße treibt die des andern vor sich hin, thut Arbeit, und büßt dadurch von ihrer Geschwindigkeit ein; die davon gehende Luft würde, wenn keine Kraft auf sie einwirkte, ihre Geschwindigkeit behalten, und wenn auch ihre Oscillations-Geschwindigkeit auf eine Zeitlang in geradlinige Geschwindigkeit umgewandelt wird, so geht diese doch wieder genau in dieselbe Quantität von Oscillations-Geschwindigkeit über, sobald die Luft, auf Hindernisse stößend, in der früher erwähnten Weise, wieder zum Vibriren kommt. Aber eigentlich hat sie an Geschwindigkeit gewonnen, je mehr

sie verdünnt worden ist, denn die Größe $\int f(x) dx$ wird

größer, je näher s an v kommt. Der Vorgang in solchen Gefäßen ist aber noch complicirter; in ersterem wird auf der Glas-Oberfläche condensirte Luft frei gelassen, im zweiten aber verdünnte condensirt, und wir sind noch nicht im Stande zu sagen, welche Quantität größer sey? Ich glaube, daß gerade dieser Versuch aufs Sorgfältigste wiederholt werden müsse, nicht nur mit Thermometern, sondern auch mit thermo-elektrischen Nadeln in beiden Gefäßen.

10. Man sieht, dafs ich bei der Verdampfung für den ersten Augenblick auch eine geradlinige Bewegung angenommen habe, aber nur für einen Augenblick; ich gestehe zwar, dafs es schwierig sey, die Gastheilchen ordentliche Vibrationen ausführen zu lassen, kann mich aber doch nicht dazu bequemen, die geradlinigen Bewegungen für immer beizubehalten. Wenn ich mich Hrn. Prof. Clausius nähern wollte, so wäre es darin, dafs ich die Bewegungsart, die er für Flüssigkeiten annimmt, der gemäfs sich viele Theilchen zwischen anderen mit stets ändernden Richtungen bewegen sollen, auf die Gase übertragen möchte. Eine geradlinige Bewegung allein, scheint mir jedoch nicht zulässig, vielmehr mit anderen directen verwandten Beobachtungen in Widerspruch zu stehen; ja die Ausarbeitung selbst, die Prof. Clausius der Hypothese gegeben hat, scheint mir durchaus zu zeigen, dafs die geradlinige Bewegung nicht genügend sey.

11. Ueberdiefs möchte ich fragen, wenn sich die Gastheilchen hauptsächlich geradlinig bewegen; wie kommt es denn, dafs Tabacksrauch sich in Zimmern so lange in unbewegten Lagen ausbreitet, und nicht allein in Zimmern und Glaskästchen (aus deren Erscheinungen Hr. Dr. Vettin die Gesetze der Winde meint herleiten zu können) sondern auch in freier Luft, worin ich selbst, bei dem malerischen Gerresheim und bei Düsseldorf, den Rauch von Hohöfen und Fabriken in ruhenden Lagen gesehen habe. Die Rauchtheilchen sind zwar schwerer als die Gasatome, müßten aber doch, sollte ich meinen, nach der erwähnten Hypothese bei der überaus grofsen Geschwindigkeit weit stärker als diese bewegt werden. Auch zeigen wirkliche Gastheilchen das nämliche Beharrungsvermögen. Wenn in einer Ecke eines Zimmers Schwefelwasserstoff- oder Chlorgas entwickelt wird, so verstreichen ganze Minuten, ehe man es in der andern Ecke riecht, während doch die Gastheilchen das Zimmer in einer einzigen Sekunde hunderte Male hätten durchlaufen müssen. Ich möchte demnach die Conclusion des Hrn. Clausius mit der Prämisse geradezu umkehren. Wie

könnte denn auch Kohlensäuregas in einem offenen Gefäß so lange verweilen.

Und unsere Atmosphäre: wie könnte sie nach dieser Hypothese eine Gränze haben? Wollte man darauf entgegen, daß die Kälte in den oberen Regionen die Geschwindigkeit stark vermindern werde, so hätte man zugleich zu bedenken, daß die bisherigen Bestimmungen eine gar tiefe Temperatur für die Gränze der Atmosphäre und selbst für den Himmelsraum nicht ergeben haben; und wollte man die Luft von einem Planeten zum andern wandern lassen, wird man doch einräumen müssen, daß das Verhältniß der Atmosphären verschiedener Planeten einem solchen Wechsel nicht entspreche.

Ferner sehe ich nicht ein, wie ein Gasgemenge, wenn darin nur oder hauptsächlich nur geradlinige Bewegungen stattfinden, Wärmewellen von bestimmter Wellenlänge liefern könne; denn wenn auch in dem Hin- und Hergange der Theilchen von der einen Wand zur andern etwas Periodisches ist, so hängt doch diese Periode weniger von der Temperatur, als von dem gegenseitigen Abstand der Wände ab; und sobald die Theilchen zufällig von andern Theilchen zurückgeworfen werden, fällt alle Periode fort. Nur dann, wenn, wie nach meiner Hypothese, bei steigender Temperatur nicht nur die Amplitude vergrößert wird, sondern auch neue kürzere Wellen hinzukommen und dadurch gerade die Art der Wärmestrahlen und die Temperatur bedingt wird, — nur dann erklärt es sich, wie ein mit Gas gefüllter Raum Wellen von bestimmter Länge nach außen senden kann, und die durchgehenden Wärmewellen in anderen Temperaturen anders afficirt werden. Wenn man alles von der Glashülle abhängig macht, wie kommt es denn, kann man endlich fragen, daß deren Vibrationen nicht durch die Stöße der Gastheilchen abgeändert werden.

12. Es scheint im ersten Augenblick, als würde die Hypothese durch das Gay-Lussac'sche und das Mariotte'sche Gesetz bestätigt, und wirklich könnte der Zu-

sammenhang, in welchen die HH. Clausius und Krönig ihre Hypothese mit diesen Gesetzen bringen, günstig für dieselbe stimmen. Diese Gesetze scheinen allerdings aus der geradlinigen Bewegung leichter als aus der Annahme von Vibrationen erklärt zu werden; und wenn sie wirklich auf diese Weise aufgefunden wären, würde die Hypothese bedeutend an Wahrscheinlichkeit gewinnen, allein da das nicht der Fall ist, so wäre wenigstens zu beweisen, dafs die Hypothese zur Erklärung der genannten Gesetze nothwendig sey.

Es scheint jedoch, und Andere werden mir darin beistimmen, dafs man zu diesen Gesetzen auch auf anderem Wege gelangen könne. Auch die Oscillationsgeschwindigkeit bedingt Stöße von verschiedener Stärke sowohl der Theilchen gegeneinander als auch gegen die Wände, und die gröfseren Abstände zwischen den Theilchen bei Vergrößerung des Raums bewirken ebenfalls, dafs die Theilchen keine so starke Abstofsung aufeinander ausüben und an ihrer äußersten Excursion, wenn sie von den Wänden zurückgeworfen werden, keine so grofse Oscillationsgeschwindigkeit haben wie früher, wodurch denn der Druck geringer werden mufs. Nur sieht man freilich nicht sobald die Proportionalität ein.

13. Ich gehe aber weiter und glaube die Ueberzeugung aussprechen zu können, dafs die Hypothese der geradlinigen Bewegung durch Prof. Clausius eigene Rechnungen schon als ungenügend dargethan ist.

Es wird nämlich aufser der lebendigen Kraft K , die sich als äußere Arbeit offenbart, noch eine andere lebendige Kraft, $H - K$, angenommen, welche die ganze im Gase vorhandene Wärme heifst¹⁾, und es wird gefunden $K:H = 0,63$. Ich glaube nun, dafs man sie auch anders hätte finden können, wenn man die Formel (9) so geschrieben hätte:

$$H = \frac{qc}{A} T + C$$

1) Pogg. Annal. Bd. C, S. 377 §. 19.

also C nicht gleich Null gesetzt hätte, wie es allerdings die genannte Hypothese erlaubt, wie es aber nicht mehr gestattet ist, sobald man den absoluten Nullpunkt der Temperatur läugnet.

Ich will nicht dabei verweilen, daß ein Gas längst kein Gas mehr seyn könnte, wenn die Geschwindigkeit der Moleküle so klein geworden ist, und daß man schwerlich begreift, wie ein Körper bei einer solchen absoluten Ruhe beschaffen seyn möge, — sondern will nur fragen, welche Gewißheit man denn habe, die geradlinige Bewegung als proportional mit einer Temperatur anzunehmen, die weit über alle Gränzen der Erfahrung hinausgeht. Wenn aber C andere Werthe als Null hat, so ergeben sich auch andere Verhältnisse als $K:H = 0,63$, vielleicht kleinere, und der Antheil der geradlinigen Bewegung wird auch kleiner.

Aber das ist nicht der Hauptpunkt. Ich folgere nur: Zur Erklärung der äußeren Arbeit, des statischen Gleichgewichts, ist die geradlinige Bewegung nicht genügend, und zur Erklärung der innern (um diese auch mitzunehmen) muß man doch wiederum zu anderen Bewegungen, zu rotatorischen oder oscillatorischen, also zu den eben verworfenen Bewegungen zurückkehren. Da drängt sich denn die Frage auf, ob denn nicht die letzteren für sich allein genügend seyen.

14. Auch in Bezug auf die Art von Bewegung, welche wir Elektrizität nennen, möchte es nach dem Aufsatz des Prof. Clausius nicht unpassend seyn, die Ansicht wieder in Erinnerung zu bringen, welche ich in meiner »*Physiologie* ¹⁾« niedergelegt habe. Damals erregte es vielen Anstoß, daß ich Wärme, Elektrizität und Magnetismus Zustände nannte und zwar *Bewegungszustände*; mich wunderte vielmehr, wie viele von mir hochgeschätzte Männer noch von Stoffen redeten ²⁾. Jetzt, nach etwa zehn Jahren (denn ich hatte

1) *Schets eener Physiologie van het onbewerktuigde ryk der Natuur, Utrecht. 1849.*

2) Ich erlaube mir die Bemerkung, daß die Idee, die Wärme als ein Bewegungsphänomen zu betrachten, keineswegs erst in den letzten zehn

den Inhalt der Physiologie sogleich nachdem ich Henrici's Werk: *Ueber die Elektricität der galvanischen Kette*, und Mayer's Aufsatz gelesen hatte, in d. J. 1843 und 1844 concipirt und, ehe ich die Skizze herausgab, auch schon öffentlich vorgetragen) wird sicherlich allgemein die Wärme als Bewegungszustand anerkannt, und hie und da wird auch schon die, mit den Jahren gewiß ebenfalls allgemein werdende Ansicht ausgesprochen, daß Elektricität und Magnetismus keine Stoffe, keine Kräfte seyen, sondern Bewegungszustände, durch welche die von den Molecülen oder Theilchen geäußerten Kräfte nach außen erkennbar werden.

Merkwürdig sind in dieser Hinsicht die Zusätze, welche Grove der dritten Auflage seines Werkes beigegeben hat ¹⁾. Alle diese Zusätze sprechen die Ueberzeugung aus, daß man die genannten Erscheinungen als Bewegungszustände aufzufassen habe, während in der ersten Auflage keine Hindeutung darauf zu finden ist. Schon damals bekämpfte ich den Ausdruck *Leitungswiderstand* und behauptete: daß ein Theil der Bewegungsquantität der Elektricität, ein Theil der lebendigen Kraft, welche sich in Form von Elektricität äußert sich in lebendige Kraft von anderer Form, und, da keine andere lebendige Kraft vorkommt, in Wärme, verwandelt haben müsse, gerade so wie das Licht, wenn es durch die Körper geht, sich zum Theil in Wärme umändert ²⁾. So könnte man denn beim Lichte

oder zwanzig Jahren aufgekommen ist, sondern sich von Lord Baco's Zeiten an durch das ganze 17. und 18. Jahrhundert hindurchzieht. Man sehe unter andern Gehler's Wörterbuch, Neue Aufl. Bd. X, S. 55. (P.)

1) *Corrélation des forces, avec des notes de M. Séguin, Paris 1857.*

2) Physiologie S. 155, wo ich auch die Stokes'schen Erscheinungen nach Analogie mit den Knoblauch'schen Untersuchungen ganz bestimmt als möglich und wahrscheinlich im Voraus angedeutet habe, indem ich buchstäblich sage: Man kann es aber auch nicht läugnen, daß beim Durchlassen von Licht durch einen Körper noch eine andere Aenderung stattfinden kann, d. h. eine Farbenänderung des durchgehenden Lichtes, und zwar nicht nur durch Absorption gewisser Farben oder größere Fortnahme einiger Farben bezüglich gegen andere, sondern auch durch *Aenderung der Farben gewisser Strahlen.*

fast von einem Leitungswiderstand, und bei der Elektrizität von einer Absorption sprechen ¹⁾.

Es erhellt demnach, daß ich mit dem dritten, vierten und fünften Paragraphen ganz einverstanden bin, nur daß ich die Ausdrücke lieber in einer anderen Sprache gewählt sähe, nicht in der Sprache der Stoff- oder Kraftthesen, sondern in der der Bewegungshypothesen.

15. Es freut mich, daß Prof. Clausius neben seiner eignen Ansicht die von Williamson so sehr gebilligt hat. Ich meinerseits möchte die von Williamson vorziehen, denn sie ist gerade die, welche ich in meiner Physiologie aufgestellt habe. Nicht ein Wort im zehnten Paragraphen könnte ich streichen oder vertauschen, ohne von meiner damals geäußerten Ansicht abzuweichen, es wäre denn, daß ich mir die Beweglichkeit wohl groß dachte, aber etwas weniger groß als Williamson es annimmt. Ich habe angenommen, daß zwei chemisch verbundene Atome, einfache oder selbst wiederum complexe, wohl in schwingender Bewegung gegeneinander seyen, aber doch im Allgemeinen nicht über den labilen Gleichgewichtszustand hinausgehen, wenn nicht die lebendige Kraft von außen verstärkt wird, entweder durch angebrachte Elektrizität, welche besonders unmittelbar auf die Atome in den Moleculen wirkt, oder durch angebrachte Wärme, welche nur mittelbar die Atome durch die Moleculen in Schwingungen versetzt, oder durch Schall (möglicherweise, denn mir ist kein Beispiel bekannt) oder durch Stofs oder durch Anbringen eines heterogenen Körpers, wie schon Prechtl richtig behauptete und deutete, und Koosen recht gut in mathematischer Sprache auseinander gesetzt hat.

Die allzugroße Freiheiten der Bewegungen muß, dünkt mich, beschränkt werden, denn sonst wäre wunderbar, daß nicht aus einer im gewöhnlichen Zustand fortwährend verdampfenden Flüssigkeit, wie Chlorwasserstoffsäure, einige

1) Ich sage *fast*, denn man darf nicht übersehen, daß das Licht beim Durchgang allmählich immer schwächer wird, die Elektrizität aber ihren Verlust gleichmäßig auf alle Theile der Kette vertheilt.

der frei herumschweifenden Chlor- und Wasserstofftheilchen zugleich mit den Chlorwasserstoffdämpfen aufsteigen.

16. Uebrigens ist doch eine gewisse Kraft erforderlich, um die Theilchen von einander zu trennen, und zwar für verschiedene Stoffe eine verschiedene Kraft, denn ein Strom, welcher Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, kann noch nicht schwefelsaures Kali zerlegen, und das Kalium im Kali vom Sauerstoff trennen, wobei freilich zu beachten ist, daß viele der von einander getrennten Atome sich wieder verbinden, wenn keine Vorsorge dagegen getroffen ist. Wenn der Strom, bei Gegenwart eines Elektrolyten, nur geleitet werden würde, so hörte er auf: es giebt, bei der einfachen galvanischen Kette, keinen Strom ohne Elektrolyse. Für die thermo-elektrische und die zusammengesetzte galvanische Kette wage ich es nicht, dies so bestimmt zu behaupten; ich bekenne sogar, es für wahrscheinlich gehalten zu haben, daß Flüssigkeiten, für sehr schwache Ströme, auch als Leiter erster Klasse dienen können. Wenn wir jedoch nur zwei Metalle und eine Flüssigkeit, etwa Kupfer, Zink und gesäuertes Wasser, haben, ist es unmöglich einen Strom ohne Elektrolyse zu erhalten, wäre diese auch nur an der leisesten Polarisation zu spüren.

17. An den drei Contactstellen der heterogenen Stoffe wird das Gleichgewicht aufgehoben ¹⁾. Denn an jeder werden zwei Stoffe, zwei Systeme von Moleculen, die nicht im Gleichgewicht sind, die also von außen eine Wirkung erleiden und eben deshalb nach außen Wirkung ausüben, in die Sphäre wechselseitiger Wirkungen gebracht. So entstehen Schwingungen, hier der Elektrizität, also (nach meiner Vorstellung ²⁾) longitudinale Schwingungen, welche nur theilweise in transversale Wärmeschwingungen umgewandelt werden, was denn für die Elektrizität als Verlust, als sogenannter Widerstand berechnet wird.

1) *Schets eener Physiologie etc.* p. 168. Fortschritte d. Physik, Bd. V, Koosen, Pogg. Ann. Bd. Cl, S. 401.

2) *Schets eener Physiologie.* — Es ist mir höchst angenehm, daß Prof. Kirchhoff durch mathematische Untersuchung auf den nämlichen Gedanken geführt worden ist, s. Pogg. Ann. Bd. C, S. 209.

Wäre nun keine Elektrolyse vorhanden, so würden die Schwingungen bald so vertheilt, daß ein bleibender Spannungs-Unterschied ganz nach dem Ohm'schen Gesetze eintrete. Der bleibende Contact der heterogenen Stoffe nämlich, welcher sich selbst in nichts ändert, kann keine fort-dauernde lebendige Kraft hervorrufen; er macht nur, daß in jedem Augenblick das Zink positiv gegen das Kupfer, und das Wasser negativer gegen das Zink als gegen das Kupfer ist. Gerade wie ein Haarröhrchen wohl Wasser bis zu einer bestimmten Höhe heben, es aber niemals oben zum Ausfließen bringen kann; eben so kann und muß durch die Wirkung des Contacts wohl eine Spannung entstehen, aber nie kann dadurch ein Strom zu Stande kommen. Nimmt man jedoch den Wassertropfen oben an der Röhre mit einem Pinsel fort, so wird ein neuer Tropfen dahingeführt, denn das Röhrchen (eigentlich das Wasser im Röhrchen) kann die Verkürzung der gehobenen Säule nicht leiden; — ebenso, wenn Jemand die Schwingungen dämpfte oder auslöschte (wie sie, obwohl sehr langsam, schon durch Mittheilung an die äußere Luft erlöschen), werden die im Contact stehenden Stoffe dies nicht leiden können, sondern ihren ursprünglichen Unterschied wieder herstellen¹⁾.

Dieses thun nun die Theilchen der Flüssigkeit, wenn sie elektrolytisch werden.

Also: entweder sind die Schwingungen nicht stark genug, um die Atome der Flüssigkeitsmoleküle über den labilen Gleichgewichts-Abstand hinauszutreiben und folglich zu entbinden, — aber dann ist auch kein Strom, sondern nur eine Spannung da, — oder sie haben eine hinreichende Amplitude und zersetzen alle zwischen den Elektroden befindliche Moleküle, in der Weise daß der Wasserstoff des einen sich mit dem Sauerstoff des nächst folgenden verbindet, eins der Wasserstoffatome aber an der Kupferplatte aufsteigt und eins der Sauerstoffatome sich mit dem Zink

1) Mit einem ganz langen Draht würde man auch wohl einen Strom erhalten, da er wegen seiner großen Länge in jedem Augenblick eine beträchtliche Quantität von Bewegung abgibt.

verbindet. Es ist lebendige Kraft darauf verwendet, um dieses eine Molecül abzuschneiden, denn die übrigen gewinnen eben so viel bei der Vereinigung als sie bei der Trennung eingebüßt haben.

Bei dieser chemischen *Verbindung* entsteht aber keine Elektrizität, vielmehr wird der elektrische Zustand des Zinks und, auf der anderen Seite, der des Kupfers aufgehoben. Es ist lebendige Kraft in der Form von Wärme erzeugt, und eben so viel lebendige Kraft in der Form von Elektrizität vernichtet, neutralisirt worden. Allerdings müßte man auch den als Gas fortgegangenen Wasserstoff beachten, denn wir betrachten den Moment, da die Polarisation schon ihr Maximum erreicht hat.

Die longitudinalen Schwingungen oder, wenn man diese für zu hypothetisch hält, die Elektrizitätsschwingungen sind geschwächt, sind schwächer geworden als es mit den einander berührenden heterogenen Körpern verträglich ist, also leiden die einander tangirenden Stoffe nicht, sondern erneuern ihre Schwingungen. Eine Quantität Wasser ist aus dem Haarröhrchen fortgenommen, also wird dieselbe wieder hergestellt, und dieser Proceß wiederholt sich. Man sieht hieraus zugleich wie die Quantität der entbundenen Elemente, die Quantität der entwickelten Wärme und die Kraft des Stroms zu einander in festen äquivalenten Maßen bestimmt werden können. Denn ein jedes Atom gebildetes Wasser giebt eine gleiche Quantität Wärme mittelst einer äquivalenten Quantität Elektrizität d. h. eine bestimmte Stromstärke.

18. Indem ich wünsche durch diese Auseinandersetzung meiner in der »Physiologie« aufgestellten Ansicht Andere zu veranlassen, ihre Gedanken klarer aufzufassen, zu berichtigen und weiter zu verfolgen, darf ich auch wohl hoffen, daß der um die Theorie der Wärme- und Elektrizitätsbewegung so hoch verdiente Prof. Clausius es mir nicht verargen werde, in einigen Punkten eine etwas andere Darstellung für die wahre ausgegeben zu haben, zumal ich doch nur wiederholte, was ich längst aussprach, was

bisher aber im Auslande unbekannt blieb. Wohl weifs ich, dafs ich nur quantitative Andeutungen gegeben habe, aber ich glaube auch, dafs diese den quantitativen Bestimmungen vorangehen müssen, ja schon manchmal auf Wege geführt haben, letztere leichter und besser zu bewerkstelligen.

Besonders auf dem Gebiet der Chemie möchte diese Vorstellung von dem Gleichgewicht und dem Schwingen der einzelnen Atome in den Molecülen sehr viel beitragen zur genaueren Auffassung der Begriffe von Affinität, Zerlegung und Verbindung der Stoffe ¹⁾; es möchte auch dadurch erklärt werden, wie bei erhöhter Elektrizität und Wärme anfangs Verbindung, dann aber endlich immer Zerlegung hervorgerufen und nothwendig bedingt wird, was ich in meiner Abhandlung an manchen Beispielen nachgewiesen habe. Wie ich sehe ist auch Grove durch solche Betrachtungen dahin geführt worden, die Wärme- und Elektrizitäts-Erscheinungen als Bewegungszustände anzusehen ²⁾.

V. *Ueber Jod- und Bromaluminium;*
von Rudolph Weber.

Die Entstehung und die chemischen Eigenschaften des Jodaluminium wurden in einem Aufsätze, diese Annalen Bd. 101, S. 465, beschrieben. Die folgende Mittheilung enthält eine Ergänzung und Vervollständigung des dort berührten Gegenstandes und reiht sich unmittelbar an das Frühere an.

Hr. Prof. Magnus, welcher mir die damals mitgetheilten Versuche in seinem Laboratorium auszuführen gütigst gestattete, hat mir erlaubt die Untersuchung daselbst weiter

1) Man sehe meine Abhandlungen in den Verhandl. d. K. Akad. d. Wissenschaften zu Amsterdam, Bd. V, S. 199.

2) Grove, *Corrélation des forces* p. 79.