

Fluida des magnetisirten Elements proportional sei, befindet sich im Widerspruche mit der Erfahrung.

II. Der remanente Magnetismus ist bekanntlich nur derjenige Theil des temporären Magnetismus, welcher nach Entfernung der äusseren magnetisirenden Kraft im magnetisirten Körper zurückbleibt, es ist deshalb der I. Satz auch für den temporären Magnetismus gültig.

Berlin, im Juli 1877.

---

### III. *Ueber die Electricitätsentwicklung als Aequivalent chemischer Prozesse; von F. Braun.*

(Aus dem Sitzungsber. der naturw. Ges. zu Marburg vom 10. Mai 1878, mitgetheilt vom Herrn Verfasser).

---

In dem folgenden Aufsätze erlaube ich mir auf einige Punkte hinzuweisen, welche die Theorie der Electricitätsentwicklung durch galvanische Elemente (einschliesslich der Polarisation) betreffen und für welche die seither übliche Erklärungsweise noch eine wesentliche Differenz zwischen Theorie und Erfahrung liess. Wenn die folgenden Betrachtungen auch nicht dahin führen, diese Lücke in der Weise auszufüllen, dass es auf Grund der uns seither bekannten empirischen Daten möglich ist, die Vorgänge a priori zu berechnen, so weisen sie doch, wie mir scheint, auf den Grund der seitherigen Nichtübereinstimmung von Theorie und Erfahrung hin und gestatten — wenn anders die Betrachtungen richtig sind — umgekehrt aus den Abweichungen zwischen beiden einen Schluss zu ziehen auf gewisse intramoleculare Vorgänge, welche vielleicht für die physikalische Chemie von Interesse sein können. Der Inhalt des folgenden Aufsatzes ist im wesentlichen die Ausführung der Betrachtungen, welche

ich gelegentlich einer früheren Experimentaluntersuchung<sup>1)</sup> schon angedeutet und zu Schlussfolgerungen benutzt habe. Wenn ich mit der Veröffentlichung derselben so lange zurückgehalten habe, so geschah es, weil ich hoffte, sei es durch weitere theoretische, sei es durch experimentelle Studien der Arbeit eine grössere Vollendung geben zu können; ohne die Möglichkeit für numerische Vergleichen einen besseren Anhalt zu geben, fürchtete ich nicht mehr bringen zu können, als vielleicht schon von anderer Seite gegeben sei. Indessen ist mir in der Zwischenzeit von ähnlichen Deductionen nichts bekannt geworden; mit den mittlerweile von Edlund<sup>2)</sup> publicirten Auffassungen berühren sich zwar die meinigen oberflächlich, aber auch dies zunächst nur scheinbar. Im Interesse möglichst übersichtlicher Darstellung werde ich auf die Literatur nur in wenigen Fällen zurückgreifen; sind dieselben oder ähnliche Ansichten bereits mit derselben Bestimmtheit von anderer Seite ausgesprochen, so versteht es sich von selbst, dass mir nichts ferner liegt als etwa eine Priorität für mich in Anspruch zu nehmen. Dieselbe Rücksicht auf die Uebersichtlichkeit der Darstellung veranlasst mich in den folgenden Entwicklungen im allgemeinen keinen Versuch zu machen, dieselben an der Erfahrung zu prüfen. Da die Betrachtungen zeigen, wie viel uns noch in den zur Zeit bekannten empirischen Daten fehlt, um eine wirklich ausreichende Prüfung vorzunehmen, so wird eine solche — und auch nur eine annähernde — zunächst nur in der Weise möglich sein, dass vielleicht eine Reihe von Thatsachen, welche den verschiedensten Gebieten der Physik angehören, durch das Mittelglied dieser Betrachtungen miteinander in innere causale Beziehung gebracht werden. Ich gebe daher die folgenden Betrachtungen, welche von einem theoretischen

---

1) Ueber die galvanische Leitungsfähigkeit geschmolzener Salze, Pogg. Ann. CLIV. 1875. §. 3. p. 170, 171.

2) Pogg. Ann. CLIX. p. 420.

Principe ausgehen und, soweit ich sehe, in sich selbst widerspruchslos durchgeführt sind, nicht mit der Prätension, für alle Erfahrungen eine genügende Erklärung aufstellen zu wollen, sondern vielmehr in der Absicht einer kritischen und vorbereitenden Untersuchung, welche stets die Frage im Auge behält: wieweit stimmen unsere Anschauungen bis jetzt mit den Thatsachen überein, wo und in welchem Sinne sind vielleicht Abänderungen an denselben nöthig?

§. 1. Bisherige Behandlungsweise, Gründe gegen dieselbe, Stellung der Aufgabe.

Die gebräuchlichen Schlussfolgerungen, aus denen man die electromotorische Kraft von Elementen ableitet, sind:

a) Es handele sich um eine constante Kette, z. B. ein Daniell'sches Element. Ein Strom von der Intensität 1, welcher das Element durchfließt, bringt in demselben eine chemische Aenderung hervor, deren Wärmetönung gegeben ist als  $W(\text{Zn, SO}_4) - W(\text{Cu, SO}_4)$ . Diese Wärmetönung stellt vor das Maass für die electromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes. — Ob dieser Schluss zulässig ist, lasse ich einstweilen dahin gestellt; ich komme auf denselben bald zurück.

b) Man denke sich eine Kette, welche geschlossen die Intensität 1 erzeugen würde, compensirt durch einen Inductionsstrom, welcher auf mechanischem Wege entstanden und dessen Arbeitsäquivalent gegeben ist. Die im Kreise des Inductionsstromes bewegte Electricitätsmenge würde eine bekannte Wärmemenge erzeugen; folglich würde der Strom der Kette dieselbe Wärmemenge erzeugen, wenn er in dem Kreise zu Stande kommen könnte. — Diesem Schlusse liegen aber implicite die folgenden Voraussetzungen zu Grunde: Aus der factisch bestehenden entgegengesetzten Gleichheit der electromotorischen Kräfte schliesst man, dass dieselben auch, wenn jede einzeln vorhanden wäre, entgegengesetzt gleiche Ströme hervorrufen würden. Dies — was nicht von vorn-

herein nöthig ist (cfr. p. 212 ff.) — zugegeben, schliesst man weiter, dass die im gesammten Stromkreis des Hydroelementes auftretende Wärmemenge genau dieselbe Function (mit denselben Constanten) von der Stromintensität wäre, wie im Inductionsstrome, so dass die beiden — graphisch dargestellt gedachten — Functionen in ihrem ganzen Verlaufe zusammenfallen, wenn ihre gleichen Abscissen zusammenfallen und ihre Ordinaten für die Abscisse Null beide gleich Null sind. Diese Voraussetzung ist durch Nichts bewiesen.

c) Man schliesst — es handele sich z. B. um die Berechnung der Combination  $\text{Zn} \mid \text{SH}_2\text{O}_4 \mid \text{Cu}$  — folgendermaassen: Der Strom, welcher entsteht, gewinnt die Wärmemenge  $W(\text{Zn}, \text{SO}_4) + W(\text{H}_2, \text{Cu})$  und verliert  $W(\text{H}_2, \text{SO}_4)$ ; folglich bleibt die Wärmetönung:

$$W(\text{Zn}, \text{SO}_4) - W(\text{H}_2, \text{SO}_4) + W(\text{H}_2, \text{Cu})$$

als Maass der electromotorischen Kraft der Combination. — Dieselbe würde also unabhängig von der Natur des Metalles des positiven Poles. Die Erfahrung ergibt dagegen je nach der Natur des letzteren Werthe von 105 ( $\text{Zn} \mid \text{Ag}$ ) bis 54 ( $\text{Zn} \mid \text{Fe}$ ). Diese Differenzen durch Aenderungen in der Constitution des auftretenden Wasserstoffes oder dessen Lösungswärme im Metalle der Kathode zu erklären, erscheint — wenigstens das letztere — um so weniger thunlich, als auch Amalgame, welche keine nachweisbare Menge Wasserstoff auflösen, solche Unterschiede zeigen. Es bleibt ferner unerklärt, weshalb der Schluss, dass  $\text{Zn} \mid \text{SH}_2\text{O}_4 \mid \text{Zn}$  auch einen Strom gibt, nicht gestattet ist.

d) Wird ein Strom durch eine polarisirbare Combination, z. B.  $\text{Pt} \mid \text{SH}_2\text{O}_4 \mid \text{Pt}$  geleitet, so ist die durch den Strom 1 zur Zersetzung der Flüssigkeit verbrauchte Wärmemenge ein Maass für die electromotorische Kraft der Polarisation. — Die Bedingung dafür, dass die electromotorische Kraft einer Combination als constant, d. h. von der Stromintensität unabhängig erscheint, besteht aber

darin, dass die im Elemente electrolysirten Flüssigkeitsmengen der Stromintensität proportional sind. Dies ist — für grosse electromotorische Kräfte des polarisirenden Stromes — bei kleiner Intensität nun sicher auch in der polarisirten Zelle  $\text{Pt} | \text{SH}_2\text{O}_4 | \text{Pt}$  der Fall. Weshalb steigt die Polarisation aber anfangs mit der Intensität und nähert sich erst mit steigender Intensität einem constanten Werthe? Wie erklärt es sich, dass bei gleicher Intensität, also demselben Wärmeverbrauch für Electrolyse, aber verschiedener Grösse der polarisirten Electroden die Polarisation verschieden ausfällt?

Will man derartigen Widersprüchen entgehen, so ist zu beachten, dass zunächst gar kein zureichender Grund da ist, aus den chemischen Wärmetönungen, welche eine Combination in ihrem Schliessungskreise hervorbringt, auf die electromotorische Kraft der Combination zu schliessen. Der einzige Schluss, welchen das Princip der Erhaltung der Arbeit gestattet und fordert, ist: Bringt ein galvanischer Strom (willkürlichen Ursprungs) eine chemische Zersetzung hervor, so muss die Wärmemenge, welche der Zersetzung entspricht, dem übrigen Stromkreise entzogen werden. Diese Entziehung der Wärme wird sich, wenn es sich um einen auf mechanischem Wege erzeugten Inductionsstrom handelt, dessen electromotorische Kraft constant bleibt, darin zu erkennen geben, dass aus dem übrigen Stromkreise metallischer Widerstand auszuschalten ist, um die frühere Intensität wieder herzustellen; ist der Strom von einer Hydrokette erzeugt, so würde sogar — sofern es sich nur um die allgemeinen Principien der Erhaltung der Arbeit handelt — denkbar sein, dass die in der polarisirenden Kette bei gleicher Intensität für die Stromerzeugung verbrauchte Wärmemenge eine andere wird, je nach der Natur der polarisirten Zelle.

Man darf daher z. B. nicht schliessen, wenn die electromotorische Kraft von  $\text{Zn} | \text{SH}_2\text{O}_4 | \text{Cu}$  berechnet werden soll, dieselbe sei:

$$W(\text{Zn}, \text{SO}_4) - W(\text{H}_2, \text{SO}_4) + W(\text{H}_2, \text{Cu}).$$

Vielmehr darf man nur sagen: Wenn durch die Combination  $\text{Zn} \mid \text{SH}_2\text{O}_4 \mid \text{Cu}$  ein Strom von der Intensität 1 in der Richtung  $\text{Zn} \rightarrow \text{Cu}$  geleitet wird, so wird dem Kreise dieses Stromes 1 willkürlichen Ursprungs die Wärmemenge:

$$(I) \quad Q = W(\text{Zn}, \text{SO}_4) - W(\text{H}_2, \text{SO}_4) + W(\text{H}_2, \text{Cu})$$

entzogen, während diese Quantität Energie (Wärmemenge) als Wärme im Stromkreise auftreten würde, wenn derselbe bei derselben Intensität 1 die Combination nicht enthielte. Denn nur diese Aenderung tritt durch den Strom selbst ein<sup>1)</sup>; das Andere, die vorhergehenden Contacte waren schon vorhanden und bildeten gewissermaassen schon eine polarisirte Zelle. Der Schluss ist also dahin zu beschränken, dass die dem Stromkreise mit der Intensität 1 durch eine polarisirte Combination  $\text{Zn} \mid \text{SH}_2\text{O}_4 \mid \text{Me}$  entzogene Wärmemenge dieselbe bleibt, welches auch das Metall Me der Kathode sein mag, sofern die Wärmemengen  $W(\text{H}_2, \text{Me})$  dieselben sind; ob die durch die Gleichung (I) ausgedrückte Wärmemenge Q als eine ihr proportionale electromotorische Gegenkraft im Kreise auftritt, ist eine ganz andere Frage, zu deren Beantwortung ich bis jetzt noch keine Hilfsmittel herangezogen habe, ebensowenig wie zur Lösung der Frage, ob es möglich ist, a priori die electromotorische Kraft von  $\text{Zn} \mid \text{SH}_2\text{O}_4 \mid \text{Cu}$  zu berechnen. Um der Beantwortung dieser Frage näher zu treten, muss zuvor erörtert werden

§. 2. Das Verhältniss, in welchem electricische potenzielle Energie, mechanische Arbeit und Wärme in Bezug auf ihren Verwandlungswerth zueinander stehen.

Während mechanische Arbeit ihrem ganzen Betrage nach in Wärme umgewandelt werden kann, ist bekannt-

---

1) Dieser Einwand gegen die obige Ableitungsweise ist, wie ich aus dem mündlichen Verkehre (z. B. von Hrn. v. Zahn) weiss, auch schon von ihm und vielleicht auch schon von anderen Physikern gemacht worden.

lich das Umgekehrte im allgemeinen nicht, und unter den durch uns realisirbaren Bedingungen nie der Fall. — Als Vorfrage zu den späteren Untersuchungen wirft sich die folgende auf:

Lässt sich mechanische Arbeit vollständig in potenzielle electricische Energie umsetzen und umgekehrt oder bleibt ein Theil stets unverwandelt, oder endlich geht dabei stets ein gewisser Bruchtheil in eine andere Bewegungsform, in Wärme, über?

Ich setze der Einfachheit halber folgenden speciellen Fall voraus. Ein kugelförmiger Leiter, welcher die Electricitätsmenge  $+Q$  enthalte, sei umgeben von einer concentrischen Kugelfläche, welche für einen Augenblick zur Erde abgeleitet war. Nennt man  $r$  den Radius der inneren Kugel,  $r+c$  denjenigen der äusseren;  $V$  und  $Q$  resp.  $V'$  und  $Q'$  Potentialfunction und Electricitätsmenge auf der resp. inneren und äusseren Kugelfläche, so ist:

$$V = Q \left\{ \frac{1}{r} - \frac{1}{r+c} \right\} = Q \frac{c}{r(r+c)},$$

$$V' = 0; \quad Q' = -Q.$$

Das Gesamtpotential  $W$  des ganzen Systems<sup>1)</sup> ist:

$$(1) \quad W = -\frac{1}{2} \frac{c}{r(r+c)} \cdot Q^2.$$

Für  $c=0$  wird  $W=0$  und  $V=0$ , d. h. lässt man die beiden Belegungen, nachdem sie mit einer, nun constant bleibenden, entgegengesetzt gleichen Electricitätsmenge geladen sind, näher und näher rücken, so vermindert sich fortwährend die Potentialfunction sowohl der inneren Belegung als auch der Werth des Gesamtpotentiales und strebt der Null zu.

Dieser Aenderung des Gesamtpotentiales muss äquivalent sein die im System entwickelte Energie; ich will,

1) Vgl. Clausius, Abhandlungen II. p. 109.

obschon es für den Augenblick überflüssig erscheinen mag — da es direct aus dem mechanischen Principe der lebendigen Kraft gefolgert werden kann — durch eine elementare Rechnung, welche sich nur auf das Coulomb'sche Gesetz stützt, nachweisen, dass in der That die ganze Energie als mechanische Arbeit auftreten kann.

Die äussere, als contractil vorausgesetzte Belegung denken wir uns in einer Anzahl kleiner Elemente zerlegt. Die ganze Fläche und damit ihre Electricität sei in  $n$  solcher Elemente getheilt; jedes derselben hat dann die Electricitätsmenge  $-\frac{Q}{n}$ . Nähern sich alle gleichzeitig der Kugel mit gleicher Geschwindigkeit, so ändert sich die Vertheilung der Electricität auf derselben nicht; jedes einzelne wird daher angezogen mit der Kraft:

$$- Q \cdot \frac{Q}{n} \cdot \frac{1}{(r+c)^2}.$$

Die elementare Arbeit, welche bei Annäherung eines jeden einzelnen um das Wegelement  $dc$  geleistet wird, ist daher:

$$-\frac{Q^2}{n} \cdot \frac{dc}{(r+c)^2}$$

und für alle  $n$  und den ganzen Weg daher:

$$(2) \quad -Q^2 \int_{c_0}^0 \frac{dc}{(r+c)^2} = -Q^2 \frac{c_0}{r(r+c_0)}.$$

Hiervon geht ab die Arbeit, welche geleistet wird durch die Bewegung der Elemente der äusseren Belegung gegeneinander. Nennt man  $\epsilon$  die Dichtigkeit auf einem Elemente  $d\sigma$  der Kugelfläche,  $\rho$  den Abstand zweier Elemente  $d\sigma$ , so ist die in die Richtung der inneren Kugelnormale  $N$  fallende Componente der Kraft:

$$(3) \quad \epsilon d\sigma \int \frac{\epsilon d\sigma}{\rho^2} \cos(\rho, N) = \epsilon d\sigma \int \frac{\epsilon d\sigma}{\rho^2} \frac{\rho}{2(r+c)} = \frac{\epsilon d\sigma}{2(r+c)} \int \frac{\epsilon d\sigma}{\rho}.$$

Das Integral ist die Potentialfunction der Belegung



der äusseren Kugelfläche auf sich selbst und daher, da die Belegung gleichförmig ist, gleich der Potentialfunction der Belegung in Bezug auf den Kugelmittelpunkt, d. h.:

$$= \frac{Q}{r + c}.$$

Daher wird (3):

$$\frac{1}{2} \frac{Q}{n} \cdot \frac{Q}{(r + c)^2}.$$

Die daraus bei der Bewegung um  $dc$  entspringende Arbeit ist daher für ein Element:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{n} \cdot \frac{dc}{(r + c)^2}$$

und somit für alle  $n$  Elemente und den ganzen Weg:

$$(4) \quad + \frac{1}{2} Q^2 \frac{c_0}{r(r + c_0)}.$$

Die ganze gewonnene Arbeit ist daher [Addition von (2) und (4)]:

$$- \frac{1}{2} Q^2 \frac{c_0}{r(r + c_0)}$$

und somit, wie die Vergleichung mit (1) zeigt, ist:

die gesammte electriche potenzielle Energie umgesetzt in mechanische Arbeit, in lebendige Kraft ponderabler Massen.

Der Rechnung liegen aber die Voraussetzungen zu Grunde: 1. dass kein Theil der Arbeit in Wärme übergeht, was auch wahrscheinlich ist, da gar keine Bewegung der electricen gegen die benachbarten materiellen Theilchen eintritt, und 2. dass die mit Electricität belegten Flächen sich unendlich nähern können, ohne dass dabei ein electricer Funke und damit eine entsprechende Wärmemenge, deren Aequivalent dann von der gewonnenen Arbeit abginge, entsteht. Dies wird in der That nahezu der Fall sein, da die Potentialfunction auf beiden Belegungen mit abnehmendem  $c$  sich dem gleichen Werthe

Null nähert. Will man aber auch dies berücksichtigen und annehmen dem Gesetze der Schlagweite entsprechend, dass bei einer Entfernung  $c_1 = f \cdot Q$ , wo  $f$  eine Constante wäre, die beiden Electricitäten sich durch einen Funken vollständig ausgleichen, so wäre nur zu integriren von  $c = c_0$  bis  $c = f \cdot Q$ . Die auf diesem Wege entstandene mechanische Arbeit wäre:

$$-\frac{1}{2} Q^2 \frac{c_0}{r(r+c_0)} \frac{\left\{1 - \frac{c_1}{c_0}\right\}}{\left\{1 + \frac{c_1}{r}\right\}},$$

oder angenähert:

$$-\frac{1}{2} Q^2 \cdot \frac{c_0}{r(r+c_0)} \left\{1 - \frac{f}{c_0} Q\right\}.$$

d. h. der procentische Betrag der in mechanische Arbeit umsetzbaren potenziellen Energie ist um so geringer, je grösser unter sonst gleichen Umständen die Electricitätsmenge, d. h. die Spannung ist.

Unter den eben discutirten Bedingungen wird man wohl kaum annehmen, dass bei der Bewegung der beiden Kugelflächen gegeneinander Wärme entsteht. Auch wenn man sich vorstellt, vor einem isolirten Leiter pendele ein electricisirter, so wird man, wie mir scheint, nicht der Ansicht sein, dass auf einem oder beiden Leitern Wärme entstehe (welche sich durch eine Vergrößerung des logarithmischen Decrements des pendelnden Körpers kundgeben müsste), obschon das Gesamtpotential des Systems sowohl als auch die electricische Vertheilung sich periodisch ändert, und zwar wird man eine Erwärmung deshalb nicht erwarten, weil auf jedem der Körper fortwährend die Potentialfunction constant ist. In einem offenen Stromkreise, in welchem ein Strom inducirt wird, nimmt man vielfach gleichfalls keine Erwärmung an, obschon die Potentialfunction an verschiedenen Stellen dann verschieden ist; doch dürfte hier die Erwärmung nur vernachlässigt, nicht principiell in Abrede gestellt sein. —

Dem gegenüber denke man sich folgenden Versuch: Bei einer Caskadenbatterie entsteht auch im äusseren Stromkreise, obschon derselbe stets zur Erde abgeleitet ist, eine Wärmemenge, die für denselben Widerstand des Drahtes fast ebenso gross ist wie im inneren Schliessungsbogen. Nun werde die Entladung durch sehr grosse Widerstände im inneren Bogen sehr verlangsamt, so wird im äusseren Bogen keine Wärme entstehen, obschon in beiden Fällen dieselbe Electricitätsmenge ihn durchströmt. Wenn man auch darauf hinweisen kann, dass im Falle einer schnellen Entladung die Potentialfunction im äusseren Bogen nicht stets und an allen Stellen gleich Null bleiben wird und die Arbeit, welche die bewegte Electricität leistet, auch wesentlich von der Potentialfunction abhängt, so entsteht doch — wenn man von den rein regulativen Principien und Schlüssen der mechanischen Wärmetheorie absieht — durch diese und erdenkbare ähnliche Versuche die Frage, welche sich in Betrachtungen wie den vorliegenden oft aufdrängt: Von welchen Bedingungen hängt es ab, ob bei der Scheidung der neutralen Electricität Wärme entsteht oder nicht? — und ich möchte mir erlauben, ein Beispiel anzuführen, welches die Art und Weise der Lösung wenigstens andeutet.

Es sei, ähnlich wie oben, ein electricischer Punkt, welcher die Electricitätsmenge  $Q$  enthalte, im Mittelpunkte einer contractilen Kugelfläche vom ursprünglichen Radius  $r$  gelegen, welche die Electricitätsmenge  $-Q$  enthält. Man lässt dieselbe sich rasch mit der grossen, aber constanten Geschwindigkeit  $g$  zusammenziehen; gefragt ist nach der mechanischen Arbeit, welche dabei geleistet wird. Wir nehmen an, dass die Wirkung zweier bewegten electricischen Theilchen gegeben sei nach Weber's Gesetz durch:

$$\frac{ee'}{r^2} \{1 - a^2 g^2\}.$$

Zunächst findet sich die Arbeit, welche durch Annäherung der Kugelfläche an den Punkt entsteht, wenn

die Contraction wieder von einem Radius  $r + c_0$  bis zu  $r$  stattgefunden hat, als:

$$(5) \quad -Q^2 \frac{c_0}{r(r+c_0)} \left\{ 1 - a^2 g^2 \right\}.$$

Die Arbeit, welche durch die Bewegung der Electricitätstheilchen der Kugelfläche gegeneinander geleistet wird, zerfällt in zwei Theile; der erste ist ebenso gross, wie wenn das von der Geschwindigkeit abhängige Glied fehlte und daher gleich:

$$(6) \quad + \frac{1}{2} Q^2 \frac{c_0}{r(r+c_0)}.$$

Endlich ist das von der Geschwindigkeit abhängige Glied zu berechnen. Nennt man wieder  $\rho$  die Entfernung zweier Elemente der Kugelfläche,  $\vartheta$  den zu  $\rho$  als Sehne gehörigen Centriwinkel, so ist:

$$\frac{d\rho}{dt} = 2g \sin \frac{\vartheta}{2}.$$

Die zum Coulomb'schen Gesetz hinzukommende Ergänzungskraft ist daher:

$$-4 \frac{\varepsilon d\sigma \cdot \varepsilon' d\sigma'}{\rho^2} \cdot a^2 g^2 \sin^2 \frac{\vartheta}{2}.$$

Wir bilden zunächst wieder von dieser Ergänzungskraft die Normalcomponente, welche die ganze Kugelfläche auf ein Element  $\varepsilon d\sigma$  ausübt; es ist:

$$\varepsilon' = -\frac{Q}{4R^2\pi} = \varepsilon; \quad \rho = 2R \sin \frac{\vartheta}{2}$$

und daher die gesuchte Normalcomponente:

$$-\frac{a^2 g^2}{2R^3} \varepsilon d\sigma \int \rho \cdot \varepsilon' d\sigma'.$$

Führt man ein Kugelkoordinatensystem  $R, \vartheta, \varphi$  ein so ist:

$$d\sigma' = R^2 \sin \vartheta d\vartheta d\varphi.$$

Das Integral geht dadurch über in:

$$\frac{QR}{2\pi} \int_0^\pi \sin \vartheta \sin \frac{\vartheta}{2} d\vartheta \int_0^{2\pi} d\varphi = \frac{4}{3} QR.$$

Die Elementararbeit für ein einziges Element ist daher:

$$- \frac{a^2 g^2}{2R^3} \cdot \varepsilon d\sigma \cdot \frac{4}{3} QR \cdot dR$$

und daher für sämtliche Elemente der Kugel:

$$- \frac{2}{3} a^2 g^2 \cdot Q^2 \cdot \frac{dR}{R^2}$$

und daher die Arbeit für den ganzen Weg:

$$(7) \quad - \frac{2}{3} Q^2 \frac{c_0}{r(r+c_0)} \cdot a^2 g^2.$$

Die Addition von (5), (6) und (7) ergibt die ganze Arbeit zu:

$$(8) \quad - \frac{1}{2} Q^2 \frac{c_0}{r(r+c_0)} \left[ 1 - \frac{2}{3} a^2 g^2 \right].$$

Die durch die Annäherung der Kugelschale gewonnene Arbeit ist also im zweiten Falle, wenn die Bewegung rasch erfolgt, kleiner als im ersten Falle. Trotzdem repräsentiren die electricischen Ladungen beider Systeme am Ende der Bewegung die gleiche potenzielle Energie (denn eine Aenderung der Electricitätsmenge infolge der Bewegung anzunehmen, erscheint durchaus unzulässig); es bleibt demnach nur übrig anzunehmen, dass bei der raschen Bewegung des Systems gleichzeitig Wärme in der äusseren Kugelfläche entstanden ist, d. h.

Eine rasche Dichtigkeitsänderung von freier Electricität muss mit Wärmeentwicklung verbunden sein, auch wenn keine Aenderung der relativen Vertheilung erfolgt. Erfolgt die Verdichtung mit constanter Geschwindigkeit, so ist die entwickelte Wärmemenge proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit.

Es ist bei den letzten Betrachtungen, in welchen die Geschwindigkeit der Theilchen willkürlich festgesetzt wird, zu beachten, dass ich die bei der Bewegung geleistete Arbeit, nicht die Zunahme der lebendigen Kraft der ponderablen Masse, berechne. Die letztere ist gleich Null; die Arbeit dagegen müsste sich unabhängig von der Art des Ueberganges ergeben, sobald die Kräfte nur Functionen der Entfernung sind.

Seither hatten wir Aenderungen der potenziellen Energie von bereits geschiedenen Electricitätsmengen vorausgesetzt. Bis zu welchem Betrage lässt sich mechanische Arbeit in potenzielle electricische Energie umsetzen, wenn die Electricitäten erst zu scheiden sind?

Wir setzen die folgende Versuchsanordnung voraus: Einer Drahtspirale werde ein constanter Magnet genähert; von den Enden der offenen Drahtspirale mögen zwei dicht nebeneinander gelegene Drähte nach einem entfernten Condensator führen, welcher ebenso, wie vorher angenommen, aus zwei concentrischen Kugelflächen besteht; der ganze Stromkreis kann dann als ein nahezu im Sinne der Geometrie geschlossener angesehen werden. Bei Bewegung des Magneten wird eine electricische Strömung in der Spirale entstehen und an den Enden derselben sich Electricität von einer gewissen Spannung  $V_1$  resp.  $V_2$  ansammeln;  $V_1$  und  $V_2$  stellen dann dar die Potentialfunction der freien Electricität auf den beiden Belegungen des Condensators; die Electricitätsmengen auf den beiden Belegungen sind, da die eine die andere ganz umschliesst, entgegengesetzt gleich; sie seien gleich  $\pm Q$ . Dann ist das Gesamtpotential der Ladung:

$$W = \frac{1}{2} Q (V_1 - V_2)$$

und:

$$(9) \quad Q = \frac{r(r + c_0)}{c_0} (V_1 - V_2).$$

Daher ist:

$$(10) \quad W = \frac{1}{2} \frac{r(r+c_0)}{c_0} (V_1 - V_2)^2.$$

$V_1 - V_2$  misst die electromotorische Kraft des Integralstromes bei offenem secundären Kreise, wenn man so verfahren ist, dass die electromotorischen Kräfte der Differentialströme sich addirt haben. Zu dem Ende hat man nur nöthig, die Bewegung des Magneten so zu regeln, dass die electromotorische Kraft des in irgend einem Moment inducirten Differentialstromes gleich, beziehungsweise um eine unendlich kleine Grösse grösser ist als die electromotorische Kraft des ganzen bis dahin inducirten Integralstromes. Wäre nur ein einziger Magnetpol vorhanden und bezeichnete man mit  $K$  die Kegelöffnung, unter welchem einem im Magnetpol befindlichen Auge der Stromkreis erscheint zur Zeit  $t$ ,  $K_0$  die Kegelöffnung zu Anfang der Bewegung  $t_0$ , so wäre diese Bedingung erfüllt, wenn die Bewegung so regulirt wäre, dass stets:

$$\frac{dK}{dt} = \varepsilon \alpha (K - K_0) + \delta,$$

wo  $\alpha$  die magnetische Flüssigkeit des Poles,  $\varepsilon$  die Inductionsconstante,  $\delta$  eine Grösse bedeutet, welche sich dem unendlich Kleinen beliebig nähern kann.

Ist diese Bedingung nicht während der ganzen Bewegung erfüllt, so wird bei offenem Stromkreise alternirende Electricitätsbewegung eintreten schon während eines einzigen Inductionsactes; sobald nämlich die electromotorische Kraft des Integralstromes, welcher während der Zeit von  $t_0$  bis  $t$  erregt wurde, grösser geworden ist als die electromotorische Kraft des Differentialstromes zur Zeit  $t$ , tritt eine Rückströmung ein, bis die noch vorhandene Differenz  $V_1 - V_2$  entgegengesetzt gleich ist der electromotorischen Kraft des augenblicklichen Differentialstromes. — Es ist von Interesse, zu bemerken, dass die obige Bedingung für das Maximum der Erregung von freier Electricität von selbst erfüllt ist für den Inductionsstrom, welcher durch Oeffnen und Schliessen

einer Spirale entsteht. Man würde nur  $\epsilon \kappa K = -\frac{W}{P}$  zu setzen haben, wo  $W$  den Widerstand,  $P$  das Potential der Spirale bedeutet.<sup>1)</sup>

Die Formel (9) zeigt, dass der Ladungsstrom so beschaffen ist, als ob die electromotorische Kraft  $V_1 - V_2$  des Integralstromes wirkte in einem geschlossenen Stromkreise von dem Widerstand:

$$\frac{c_0}{r(r+c_0)}.$$

Dass für  $c = 0$  der Werth von  $Q$  unendlich wird, ist nur ein scheinbarer Widerspruch; denn sobald  $c = 0$ , der Stromkreis also geschlossen ist, muss dessen galvanischer Leitungswiderstand berücksichtigt werden.

Wir fragen noch nach der Wärme, welche der Ladungsstrom im Kreise hervorbringt. Bezeichnet  $w$  den Widerstand eines Kreises,  $E$  die electromotorische Kraft zur Zeit  $t$ , so ist die gesammte im Kreise entwickelte Wärme, während  $E$  von 0 bis  $E_0$  ansteigt:

$$\int_0^{E_0} \frac{E^2}{w} dt.$$

Steigt der Strom an, wie hier verlangt, nach dem Gesetz:

$$\frac{dE}{dt} = E \text{ d. h. } dt = \frac{dE}{E},$$

so wird die gesammte Wärme:

$$(11) \quad = \frac{1}{w} \cdot \frac{E_0^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{r(r+c_0)}{c_0} (V_1 - V_2)^2.$$

Die Vergleichung von (10) und (11) zeigt:

Wenn die Induction unter solchen Bedingungen vor sich geht, dass das Maximum von freier Electricität entsteht, so geht gleichzeitig die Hälfte der geleisteten Arbeit in Wärme über.

1) Helmholtz, Pogg. Ann. LXXXIII. p. 510. 1851.



Denkt man sich, dass in demselben Augenblicke, in welchem die Bewegung des Magneten aufhört, der Condensator von der Inductionsspirale getrennt werde, so würde durch seine Ladung eine gewisse potenzielle electriche Energie gegeben sein, welche nach dem Vorhergehenden wieder fast vollständig in mechanische Arbeit umgesetzt werden könnte.

Lässt man also mechanische Arbeit sich mittelst Stromerzeugung umsetzen in potenzielle Energie von freier Electricität und diese wieder in Arbeit, so wird höchstens die Hälfte der ursprünglichen Arbeit wieder gewonnen; die andere ist in Wärme übergegangen.

Ein ganz analoges Resultat erhält man, wie bekannt, für den Fall, dass eine electromagnetische Maschine mechanische Arbeit leistet. Ist der Gang derselben so beschaffen, dass sie in einer gegebenen Zeit das Maximum der mechanischen Arbeit leistet, so wird die Hälfte der chemischen Umsetzungswärme, welche in der nicht arbeitenden Maschine zur Stromerzeugung verwendet würde, aufgewendet für mechanische Arbeit, die andere Hälfte bleibt als Wärme im Schliessungsdrahte.

Ueberblickt man die Gesammtheit der Resultate dieses Paragraphen, so schliesse ich, und dies ist die Grundlage für die folgenden Deductionen, dass Wärme niemals ihrer ganzen Menge nach in electriche Strömung umgesetzt werden kann, sondern höchstens bis zu demselben Betrage, bis zu welchem sie auch in mechanische Arbeit überführbar ist.

Stellt man die drei Grössen, um welche es sich handelte, nach ihrem Verwandlungswerth geordnet, zusammen, so würden sie die Reihenfolge haben:

- 1) Electriche potenzielle Energie,
- 2) Mechanische Arbeit,
- 3) Wärme,

so dass 1) fast vollständig in 2) und vollständig in 3); 2) vollständig in 3) aber nur theilweise in 1); 3) im allge-

meinen niemals vollständig weder in 2) noch in 1) übergeführt werden kann.

§. 3. Anwendung der vorhergehenden Betrachtungen auf die Theorie der constanten Ketten.

Nach den Vorhergehenden kann man sagen:

Die electromotorische Kraft, welche man als höchsten Werth einer Kette beilegen darf, ist definiert durch den doppelten Werth der mechanischen Maximalarbeit, welche sie, unter näher zu bestimmenden für alle Ketten gleichen Bedingungen, zu leisten im Stande ist.

Damit ist auf die Vorgänge innerhalb der Kette der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie anwendbar.

Man denke sich zunächst, dass die Wärme, welche aus irgend einem chemischen Process entsteht, etwa aus der Auflösung von Zink in Schwefelsäure, verwendet werde zum Betrieb einer Maschine. Ist die absolute Temperatur der Wärmequelle  $T$ , die Temperatur des Körpers, auf welchen sich ein Theil der Wärme überträgt,  $t$ ; die überhaupt ausgegebene Wärmemenge  $Q$ , die abgegebene  $q$ , so ist, falls ein umkehrbarer Process vorliegt, zur Arbeit verwendet der Bruchtheil:

$$Q - q = Q \left\{ 1 - \frac{t}{T} \right\}.$$

Wollte man den Versuch in der Weise machen, dass man die Mischung als Wärmequelle benutzte, so würde die höchste Temperatur  $T$ , welche man erzielen kann, sehr gering ausfallen; sie könnte höchstens der Siedepunkt der verdünnten Schwefelsäure sein. Bei der chemischen Vereinigung aber muss, wenn auch nur eine sehr kurze Zeit lang, das Molecül, welches sich eben gebildet hat, eine sehr hohe Temperatur besitzen. Wenn es gelänge, diese, die Verbindungstemperatur selbst, als höchste Temperatur einer arbeitenden Maschine zu verwenden, so würde man

ungleich günstigere mechanische Effecte erzielen. Dies scheint aber einzutreten, wenn man die chemische Umsetzung im Kreise eines geschlossenen Stromes vor sich gehen lässt. In diesem Falle wird das Molecül selbst zur arbeitenden Maschine; die Wärme von hoher Temperatur wird nicht erst übertragen auf Körper von niederer Temperatur, sondern sofort in diejenige Bewegungsform umgesetzt, welche man strömende Electricität nennt und welche ihrerseits dann Arbeit vollbringen kann.

Stellt man sich also vor, ein Atom Zn, welches sich in einem geschlossenen Stromkreis mit  $\text{SO}_4$  vereinigt, erhitze sich durch die entstandene Wärmemenge  $Q$  so, dass die gebildete Gruppe  $\text{ZnSO}_4$  die Temperatur  $T$  bekomme, und es gehe dann von  $Q$  ein Theil in Arbeit über, indem das Molecül sich abkühle auf die ursprüngliche Temperatur  $t$ , so ist der günstigsten Falles in Arbeit übergegangene Wärmebetrag  $Q - q$  gegeben durch:

$$Q - q = Q \left\{ 1 - \frac{t}{T} \right\}.$$

Nur die Wärmemenge  $Q - q$  tritt als electricische Bewegung, als electromotorische Kraft auf; dieselbe ist also nicht, wie man gewöhnlich annimmt, ohne weiteres identisch mit der Wärmetönung.

Wenn man mittelst einer Kette mechanische Arbeit erzeugen will, so ist danach der Vorgang folgender: Zunächst setzt man von einer durch die chemischen Umsetzungen gegebenen Wärmemenge von im allgemeinen freilich sehr hoher Temperatur einen Bruchtheil in eine Energieart um, von welcher dieselbe Quantität entsteht, wie wenn die Wärme in mechanische Arbeit verwandelt würde. Von dieser Energie wird wieder höchstens die Hälfte als mechanische Arbeit gewonnen, die andere bleibt als Wärme in der Leitung zurück. So bleibt durch die doppelte Umsetzung Wärme unverwandelt; den einen Bruchtheil derselben nannte man seither „Wärme durch secun-

däre Prozesse“. Es wird daher eine Polarisationsbatterie in einer gegebenen Zeit höchstens halb so viel mechanische Arbeit liefern, wie, theoretisch genommen, eine mit derselben Menge Knallgas getriebene Gaskraftmaschine.

Will man sich von dem molecularen Vorgange eine, freilich ganz hypothetische, Vorstellung machen, welche aber keineswegs nöthig ist, um die allgemeinen Principien der Wärmetheorie auf die in Rede stehenden Erscheinungen anwenden zu können, so denke man sich beispielsweise, es bilde sich ein Molecül  $\text{CuSO}_4$  aus  $\text{Cu}$  und  $\text{SO}_4$ . Bei gewöhnlicher Temperatur  $t$  würde das bereits gebildete Molecül  $\text{CuSO}_4$  ein gewisses Volumen  $v$  besitzen, seine Aethertheilchen einen gewissen Druck  $p$  ausüben; der so durch  $v$ ,  $p$ ,  $t$  charakterisirte Zustand würde seinen normalen Zustand darstellen. Es werde derselbe, indem man wie bei anderen derartigen Darstellungen, den Zustand in einer Coordinatenebene  $p$ ,  $v$  darstellt, durch den Endpunkt  $A$  der Coordinate  $p$  repräsentirt.

1) Denkt man sich, indem man von diesem Zustand  $A$  ausgeht, dass dem Molecül eine Wärmemenge plötzlich mitgetheilt werde, so steigt seine Temperatur auf  $T$ , sein Volumen kann sich so rasch nicht ändern, der Druck der Aethertheilchen steigt aber rasch.

2) Es wird bald ein Zustand  $B$  eintreten, in welchem alle Aethertheilchen dieselbe Geschwindigkeit angenommen haben, infolge davon das Molecül anfängt sich auszudehnen und gleichzeitig Bewegung, d. h. Arbeit nach aussen abgibt. Auf diesem Zustand wird es durch die nachgelieferte Wärmemenge, bei der Bildung des Molecüls infolge der weiter fortschreitenden Verbindung, erhalten, d. h. es dehnt sich bei der Temperatur  $T$  aus (bis zum Zustand  $C$ ).

3) Die Vereinigung sei erfolgt, dem Molecül wird keine Wärme mehr nachgeliefert; es gibt seine Temperatur  $T$  ab, indem es allmählich auf die niedrigere Temperatur  $t$  zurückgeht mit dem zugehörigen Volumen und Druck. Dieser Rückgang  $CA$  kann stets in eine Reihe adiabatischer und adiathermaner Curven zerlegt werden.

Dieser Kreisprocess ist umkehrbar für alle diejenigen Combinationen, welche unpolarisierbar sind, wie sofort einleuchtet. Die nicht vollkommene Umkehrbarkeit liegt, glaube ich, an den Linien  $AC$  und  $AB$ , da  $BC$  ein für allemal durch die Natur des Electrodenmetalls und des Electrolyten bestimmt sein wird.

Das Faraday'sche Gesetz sagt dann aus, dass bei derselben Stärke der Aethererschütterungen (Stromintensität) für jedes beliebige Molecül eines Electrolyten und für jede beliebige Temperatur die Zeit, welche nöthig ist, für den ganzen Umgang des Kreisprocesses, dieselbe ist.

Da bei Umkehrung des Processes (Electrolyse) in der That Zersetzung der Flüssigkeit eintritt, so müssen wir ferner für unpolarisierbare Combinationen schliessen, dass die Temperatur  $T$  in der That zur unteren Grenze die Zersetzungs-(Dissociations-)temperatur des Electrolyten hat.

Diese Temperatur  $T$  ist aber keineswegs identisch mit derjenigen Temperatur, welche man sonst wohl „Verbindungstemperatur“ nennen würde und welche sich aus der Wärmetönung und der als bekannt vorausgesetzten specifischen Wärme des Körpers berechnen würde; vielmehr wird sie im allgemeinen unterhalb derselben zu denken sein und somit zwischen der „Verbindungstemperatur“ und der Zersetzungstemperatur liegen. Sie wird ferner, soweit die bisher angeführten hypothetischen Anschauungen hierzu eine Andeutung geben, auch abhängen von der Beschaffenheit der umgebenden Körper. Sie ist vielleicht unter sonst gleichen Umständen um so niedriger, je grösser die die galvanische Leitungsfähigkeit derselben ist, je leichter dieselben also die Erschütterungen, welche den electrischen Strom selbst ausmachen oder erst bilden helfen, aufnehmen. Es ist daher denkbar und im allgemeinen gefordert, dass bei denselben chemischen Processen die electromotorische Kraft trotzdem je nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit und des festen Körpers verschieden ist.

Es schliesst sich hieran die schon früher aufgeworfene Frage, die electromotorische Kraft der Polarisation betreffend: Wenn ein galvanischer Strom eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, electrolysirt, so ist die Polarisation keineswegs, wie die seitherige Theorie verlangte, eine von der Stromintensität unabhängige electromotorische Kraft, sondern für kleine Intensitäten derselben nahezu proportional, für grössere sich einem Maximum nähernd und ausserdem, sobald das Maximum noch nicht erreicht ist, bei derselben Intensität nicht dieselbe, sondern um so grösser, je grösser die Stromdichtigkeit d. h. die Dicke der abgeschiedenen Gasschicht ist.

Ich schliesse hieraus in Verbindung mit den vorhergehenden Betrachtungen:

Die höchste Temperatur  $T$ , welche die Atome bei der Electrolyse bekommen, in Gegenwart einer Flüssigkeit, ist abhängig von der Entfernung der nächstgelegenen Flüssigkeitstheilchen und nähert sich bei Zunahme dieser Entfernung rasch einem Maximalwerth.

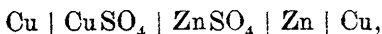
Dabei braucht  $T$ , wie schon erwähnt, nicht die eigentliche Zersetzungstemperatur zu sein; aber selbst wenn sie mit derselben zusammenfiel, so würde der Schluss durchaus nicht ohne Analogie sein; ich darf nur daran erinnern, dass chloresaures Kali in Gegenwart von Braunstein bei einer Temperatur zersetzt wird, welche um mehrere hundert Grad niedriger ist als die Zersetzungstemperatur desselben im reinen Zustande.

Es gehört hierher noch ein Beispiel, welches der seitherigen Auffassung widersprach und welches zwar durch die mitgetheilten Anschauungen nicht erklärt wird, aber doch nicht mehr als absoluter Widerspruch gegen die Theorie auftritt:

Ersetzt man in der Bunsen'schen Kette die Kohle durch Platin, so bleibt die electromotorische Kraft dieselbe; ersetzt man dagegen die Salpetersäure durch Chromsäure, so wird in der Bunsen'schen Kette die electromotorische

Kraft etwas erhöht (wie 100:102 bis 100:109), fällt dagegen in der Grove'schen Kette auf etwa  $\frac{2}{3}$  ihres vorigen Werthes. Hier scheint es, nach den obigen Vorstellungen, als ob die bessere Leitungsfähigkeit des Platins die Temperatur  $T$  im letzten Falle weniger hoch steigen lasse (warum aber nicht auch bei Salpetersäure derselbe Einfluss?)

Bisher haben wir nur die Vorgänge an einer einzigen Electrode betrachtet. Handelt es sich um die electromotorische Kraft, welche durch mehrere Contactstellen hervorgebracht wird, wie es in der Wirklichkeit stets der Fall ist, z. B. um die Kraft des Daniell'schen Elementes in der Form:



so ist zu beachten, dass  $\text{Zn} \mid \text{ZnSO}_4 \mid \text{Zn}$  und  $\text{Cu} \mid \text{CuSO}_4 \mid \text{Cu}$  nahezu unpolarisierbare Combinationen sind; d. h. bei der Zersetzung von 1 Aeq.  $\text{ZnSO}_4$  an einer Zinkelectrode wird dieselbe Electricitätsmenge verloren wie bei der Bildung gewonnen oder der obige Process ist umkehrbar. Man darf daher, um derartige Combinationen zu berechnen, sich gewissermaassen vorstellen, dass zwei Maschinen sich entgegenarbeiten und es würde daher die electromotorische Kraft des Daniells gegeben sein:

$$\text{Daniell} = W(\text{Zn}, \text{SO}_4) \cdot f(t) - W(\text{Cu}, \text{SO}_4) \cdot \varphi(t),$$

wo  $f(t)$  und  $\varphi(t)$  unterhalb der Werthe liegen:

$$f(t) \text{ unterhalb } 1 - \frac{t_0}{T_1}, \quad \varphi(t) \text{ unterhalb } 1 - \frac{t_0}{T_2},$$

wenn  $T_1$  und  $T_2$  die höchsten bei dem chemischen Vorgang vorkommenden Temperaturen sind. (Eigentlich ist zu setzen  $Q[1 - \sum \psi(t, q)]$ , wo  $Q$  die ganze entwickelte Wärmemenge,  $q$  die bei einem elementaren Carnot'schen Process als Wärme von niederer Temperatur abgegebene Wärmemenge bezeichnet und  $\psi(t, q)$  für jeden dieser elementaren Carnot'schen Prozesse zu bilden ist).

Wenn die nach der seitherigen Theorie berechnete electromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes mit dem empirisch gefundenen sehr nahe übereinstimmt, der

direct gefundene sogar den berechneten übertrifft<sup>1)</sup>, so deutet dies darauf hin, dass von obigen Functionen  $\varphi(t) < f(t)$  ist, was auch a priori nicht unwahrscheinlich. Denn im allgemeinen darf man erwarten, dass diese Functionen um so grösser sind, je grösser die Wärmetönung selber ist.

Es erklärt sich aus der Beschaffenheit der Temperaturfunctionen der von Edlund<sup>2)</sup> aufgestellte Satz, wonach ein Strom, welcher eine electromotorische Combination in einer dem Strom der letzteren gleichen Richtung durchfliesst, geradezu Temperaturabnahme bewirkt; statt allgemeiner Behandlung wähle ich ein beliebig gedachtes numerisches Beispiel. Angenommen, die beiden sich für Stromerzeugung entgegenarbeitenden Wärmetönungen seien die eine gleich +2000 und ihre Temperaturfunction  $= \frac{3}{4}$ ; die andere gleich 1000, ihre Temperaturfunction  $= \frac{1}{4}$ . Dann würde für Stromerzeugung verwendet die Wärmemenge:

$$2000 \cdot \frac{3}{4} - 1000 \cdot \frac{1}{4} = 1000 \cdot \frac{5}{4},$$

während die in der Kette wirklich vor sich gehenden chemischen Prozesse nur eine Wärmemenge  $= 1000$  erzeugen könnten.

Fliesst der Strom umgekehrt, so bringt er, da der Process umkehrbar ist, die Wärmemenge  $1000 \cdot \frac{5}{4}$  in der Kette hervor.

Auch dass im Daniell'schen Element diese Wärmemenge sehr gering ist (aber noch Erzeugung von Wärme für den Strom des Elementes selbst l. c. p. 431) stimmt mit dem eben über das Daniell'sche Element gesagten (nur muss die electricisch gemessene electromotorische Kraft deselben dann geringer sein als die nach der seitherigen Theorie aus den Wärmetönungen berechnete); desgleichen würde in dem Grove'schen Element ein Wärmeschwund

1) Wiedemann, Galvanismus II. 2. p. 489.

2) Pogg. Ann. CLIX. p. 420 ff.



durch seinen eigenen Strom wahrscheinlich (vgl. l. c. p. 431) wegen seiner grossen electromotorischen Kraft; überhaupt wird diese Wärmeabsorption um so stärker auftreten, je verschiedener die beiden Temperaturfunctionen sind. Wir bekommen durch derartige Messungen umgekehrt einen Anhalt zur Beurtheilung dieser Function für verschiedene chemische Processe.

Zum Schlusse dieses Paragraphen erlaube ich mir noch gelegentlich darauf hinzuweisen, dass dieselben Principien im allgemeinen auch Anwendung finden müssen auf Ströme, die aus anderweitigen Ursachen entstanden sind, so auf die Nervenströme, mögen dieselben in der That im lebenden unversehrten Organismus existiren oder erst bei dem Versuche selbst entstehen. Desgleichen werden ähnliche Schlussfolgerungen, welche übrigens direct aus den Entwicklungen von Clausius<sup>1)</sup> folgen, Anwendung finden auf die Muskelarbeit, wenn anders dieselbe in directem ursächlichen Zusammenhang mit den chemischen Processen steht, welche im arbeitenden Muskel vor sich gehen. Unter dieser Annahme würde man zu folgendem Schlusse kommen:

Quantitäten verschiedener Nahrungsmittel, welche beim Uebergange in diejenigen Producte, die aus ihnen im arbeitenden Muskel gebildet werden, gleiche Wärmemengen liefern würden, bedingen nicht dieselbe Arbeitsfähigkeit. Es wird vielmehr bei derselben möglichen Wärmemenge derjenige Stoff mehr Arbeit liefern können, dessen Molecüle bei der Zersetzung höhere Temperaturen annehmen. Diese Temperaturen werden aber wieder im allgemeinen um so höher sein, je einfacher die entstehenden Zersetzungsproducte constituirt sind.

Die Umkehrung des Satzes würde vielleicht auch über die Gültigkeit der Hypothese, an welche er geknüpft ist, entscheiden lassen.

---

1) Abhandlungen I. p. 242 ff.

§. 4. Ueber die electromotorische Kraft inconstanter Ketten.

Den Betrachtungen dieses Abschnittes muss ich die folgenden empirischen Sätze vorausschicken:

1) Die electromotorische Kraft einer constanten Kette ist im offenen Kreise gleich derjenigen im geschlossenen.

2) Leitet man einen electricen Strom durch eine Zersetzungszelle, welche dadurch polarisirt wird, so wird, soweit bis jetzt mit Genauigkeit ermittelt wurde, die electromotorische Kraft der Polarisation gerade so gross gefunden, mag man den polarisirenden Strom dauernd geschlossen halten, oder die polarisirten Platten durch eine Wippe zu einem selbständigen Elemente schliessen oder endlich die electromotorische Kraft in einem stromlosen Kreise messen, vorausgesetzt, dass eine unendlich kleine Zeit zu den Umschaltungen und Messungen nöthig ist.

Mit anderen Worten: mögen wirklich chemische Umsetzungen vor sich gehen oder nicht, die electromotorische Kraft ist (wenn sonst alle Bedingungen gleich sind, d. h. die Contacte der Electroden und Flüssigkeiten sich nicht ändern) stets dieselbe. Ich glaube auf das, wie mir scheint, höchst Merkwürdige dieses bekannten Satzes aufmerksam machen zu müssen. Man übersieht sofort, dass er im Stande ist als Ausgangspunkt einer Deduction zu dienen, da er rein electriche Kräfte, entstanden und unterhalten ohne chemische Umsetzungen, in Beziehung bringt mit electricen Kräften, welche entstehen durch den Strom; er vermittelt ohne weiteres den Uebergang vom stromlosen Zustande einer Combination zu dem Verhalten der vom Strom durchflossenen. Nach rein apriorischer Ueberlegung, scheint mir, würde es höchst sonderbar sein, wollte man die electromotorische Kraft der geschlossenen Kette, eine durch Wärmetönungen, wenigstens ihrer obersten Gränze nach, definirte Grösse als gleich annehmen mit der durch blossen Contact entstandenen electricen Spannungsdifferenz. Auch wenn man diese letztere auffasst als das, was sie immer ist, als Ladungserscheinung, so hat zwar bei

einer Flüssigkeitskette die auf den Polen angesammelte Electricität ihr Aequivalent in der Zersetzungsarbeit von electrolytisch an der Gränzfläche ausgeschiedenen Bestandtheilen, sonderbar bleibt immer, dass die electricische Potentialdifferenz, welche überhaupt infolge des Contactes kann bestehen bleiben, proportional ist der Arbeitsfähigkeit der chemischen Wärmetönung, welche der Uebertritt der Electricitätsmenge 1 bewirkt. Dieser Satz ist wie das Faraday'sche Gesetz als eine Fundamenteleigenschaft aufzufassen, welche den inneren Zusammenhang zwischen Electricität und chemischen Umwandlungen andeutet.

Es erübrigt jetzt nur, und dies ist der ganze Kunstgriff, electromotorische Kräfte, welche durch strömende Electricität entstanden sind, auszudrücken, einerseits nach dem gewöhnlichen Verfahren der Contacttheorie, andererseits, ihre oberste Gränze, durch Wärmetönungen, um sofort durch Auswahl passender Combinationen auch über die electromotorische Kraft offener, inconstanter Ketten einige, wenigstens angenähert zutreffende, Schlüsse machen zu können.

Ehe ich hierzu übergehe, bemerke ich, dass aus dem Satz 2) folgt:

Mit derselben Annäherung, mit welcher die electromotorische Kraft einer polarisirten Combination, wenn sie zu einem eigenen, stromgebenden Element geschlossen wird, gleich ist der electromotorischen Kraft der Zelle im polarisirenden Strome, — mit derselben Annäherung sind in der Combination Zersetzung mit (man gestatte den unpräcisen Ausdruck) Electricitätsverbrauch und Electricitätsentwicklung infolge von chemischer Verbindung umkehrbar.

Erste Methode: Wir lassen die Combination, deren electromotorische Kraft gesucht ist, erst durch den Strom entstehen. Dann muss die bei der Entstehung verbrauchte Wärmemenge dem übrigen Stromkreis entzogen werden und ein durch die Temperaturfunction bestimmter

Theil der Wärme ist die obere Grenze der electromotorischen Kraft der Combination, welche andererseits noch nach der Contacttheorie ausgedrückt wird.

Ich gebe ein Beispiel. Denkt man sich durch die nicht electromotorische Combination:



einen Strom von der Intensität 1 geleitet, so bringt derselbe hervor die Wärmetönungen:

$$W(\text{Cu}, \text{SO}_4) - W(\text{Zn}, \text{SO}_4) + W(\text{Zn}, \text{Cu}),$$

so dass:

$$W(\text{Cu}, \text{SO}_4) \varphi(t) - W(\text{Zn}, \text{SO}_4) \cdot f(t)$$

die höchste mögliche electromotorische Kraft der entstandenen polarisirten Zelle bestimmen. Nach der Contacttheorie wäre aber die electromotorische Kraft der Zelle:  $\delta_1 \cdot \text{Cu} | \text{CuSO}_4 + \delta_2 \cdot \text{Cu} | \text{ZnSO}_4 + \text{ZnSO}_4 | \text{Zn} + \text{Zn} | \text{Cu}$ .

Die Grössen  $\delta_1$  und  $\delta_2$  sind ächte Brüche; sie sind hinzugefügt, weil man in Zweifel sein kann, ob die der Electrode nächste Schicht bis zu einer Dicke, welche man den Radius der Wirkungssphäre der electromotorischen Kräfte nennen könnte, blos aus  $\text{CuSO}_4$  oder auch aus  $\text{ZnSO}_4$  besteht. Im allgemeinen wird wohl der letztere Körper noch überwiegen. Man bekommt daher durch die obigen Wärmetönungen, aber nur angenähert, einen Ausdruck für die electromotorische Kraft der Combination  $\text{Cu} | \text{ZnSO}_4 | \text{Zn}$ .

Zweite Methode. Es handele sich um Berechnung der electromotorischen Kraft von  $\text{Cu} | \text{Zn} | \text{SH}_2\text{O}_4 | \text{Cu}$ .

1) Durch die nicht electromotorische Combination  $\text{Cu} | \text{SH}_2\text{O} | \text{Cu}$  leite man einen Strom von der Intensität 1. Der entstehende Polarisationsstrom hat die electromotorische Kraft:

a) durch Wärmetönungen ausgedrückt:

$$(1a) \quad W(\text{Cu}, \text{SO}_4) \cdot \varphi(t) - W(\text{H}_2, \text{SO}_4) \cdot \psi(t) + W(\text{H}_2, \text{Cu}) \cdot \chi(t).$$

b) nach der Contacttheorie:

$$(1b) \quad \delta_1 \cdot \text{Cu} | \text{H}_2\text{SO}_4 + \delta_2 \cdot \text{Cu} | \text{CuSO}_4 + \delta_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 | \text{Cu} + \delta_4 \cdot \text{H}_2 | \text{Cu}.$$

Was die ächten Brüche  $\delta$  betrifft, so will ich annehmen, dass  $\delta_2$  sehr klein gegen  $\delta_1$  ist; physikalisch genom-

men heisst dies, dass der gebildete Kupfervitriol sofort von der Electrode entfernt werde. Diese Annahme bringt natürlich einen kleinen Fehler im Resultate mit sich; der Bruch  $\delta_1$  ist dann gleich 1 zu setzen;  $\delta_4$  ist, wenn die Polarisation im Maximum ist — was vorausgesetzt werden soll — gleich 1 und daher  $\delta_3 = 0$ .

2) Man leite durch die Combination  $\text{Zn} | \text{SH}_2\text{O}_4 | \text{Zn}$  einen Strom von der Intensität 1. Dann entsteht ein Polarisationsstrom:

a) durch Wärmetönungen ausgedrückt:

$$(2a) \quad W(\text{Zn}, \text{SO}_4) \cdot f(t) - W(\text{H}_2, \text{SO}_4) \cdot \psi(t) + W(\text{H}_2, \text{Zn}) \cdot \mu(t).$$

b) nach der Contacttheorie:

$$(2b) \quad \delta'_1 \cdot \text{Zn} | \text{H}_2\text{SO}_4 + \delta'_2 \cdot \text{Zn} | \text{ZnSO}_4 + \delta'_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 | \text{Zn} + \delta'_4 \cdot \text{H}_2 | \text{Zn}.$$

Ueber die Grössen  $\delta'$  sollen dieselben Annahmen, wie oben über die Grössen  $\delta$ , gemacht werden. Durch Subtraction der Gleichungen (2a) und (1a), resp. (2b) und (1b) bleibt daher:

$$(3a) \quad W(\text{Zn}, \text{SO}_4) \cdot f(t) - W(\text{Cu}, \text{SO}_4) \cdot \varphi(t) + W(\text{H}_2, \text{Zn}) \mu(t) \\ - W(\text{H}_2, \text{Cu}) \chi(t).$$

$$(3b) \quad \text{Zn} | \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 | \text{Cu} + (\text{Cu} | \text{H}_2 + \text{H}_2 | \text{Zn}).$$

Von der Grösse  $\text{Cu} | \text{H}_2 + \text{H}_2 | \text{Zn}$  schliesse ich, dass sie gleich  $\text{Cu} | \text{Zn}$  ist, sobald nur in der That das Maximum der Polarisation erreicht ist, so dass kein Contact der mit Wasserstoff umgebenen Electroden mehr mit der Flüssigkeit eintritt.<sup>1)</sup> Es folgt der Schluss dann unmittelbar aus den Versuchen über die electromotorische Kraft von Metallen in verschiedenen Gasen.<sup>2)</sup>

Dann ist durch (3b) die electromotorische Kraft der Combination  $\text{Cu} | \text{Zn} | \text{SH}_2\text{O}_4 | \text{Cu}$  ausgedrückt nach der Contacttheorie, durch (3a) dieselbe Grösse in Wärmetönungen.

Man wird aus diesen Gleichungen zu schliessen ge-

1) Die Methode von Svanberg (Pogg. Ann. LXXIII; vgl. Wiedemann, Galvanis. I. p. 688) macht die sicher nicht ohne weiteres zulässige Voraussetzung, dass die Combination  $\text{Pt} | \text{H}_2\text{SO}_4 | \text{ZnSO}_4 | \text{Zn}$  nach der Polarisation des Platins mit Wasserstoff gleich der electromotorischen Kraft der ursprünglichen Combination plus der electromotorischen Kraft der Polarisation  $\text{H}_2 | \text{Pt}$  sei.

2) v. Zahn, Sitzungsber. d. naturf. Ges. zu Leipzig. 1875. p. 59 ff.

neigt sein, dass die electromotorische Kraft der Combination  $\text{Cu} | \text{Zn} | \text{MeSO}_4 | \text{Cu}$  unabhängig sei von der Natur des Metalles Me. Doch ist dieser Schluss nicht zulässig. Denn wenn auch die Verbindungswärme  $\text{Me}, \text{SO}_4$  vollständig aus der Gleichung herausfällt, so kann 1. die stets eingehende und leider noch ganz unbekannte Temperaturfunction von der Natur des Electrolyten abhängen; 2. wird sicher die Wärmemenge  $(\text{Zn}, \text{SO}_4)$  eine andere, wenn Zn sich vereinigt mit der Gruppe  $\text{SO}_4$ , je nachdem die letztere an andere Metalle gebunden ist oder — um es hypothetisch auszudrücken — je nachdem die Gruppe  $\text{SO}_4$  einen grösseren oder kleineren anfänglichen Abstand von dem Zn hat (wobei die entgegengesetzt wirkende Affinität des Metalls Me gegen  $\text{SO}_4$  gleich Null gesetzt sein soll, da sie vollständig aus den Betrachtungen herausgeht).

Das Resultat lässt sich — aber nur als ein angenähertes — in folgender Form aussprechen:

Bildet man die Summe der potenziellen Energien (richtiger der mechanischen Arbeitsfähigkeit) des einen Metalles zu den beiden Ionen des Electrolyten, desgleichen die entsprechende Summe für das andere Metall, so ist die Differenz dieser Summen gleich der electromotorischen Kraft der offenen, einfachen Kette.

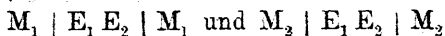
Denkt man sich also von den beiden möglichen Strömen, welche durch die Combination entstehen könnten, beide der Reihe nach entstanden und von gleicher Intensität, ferner für beide die Wärmetönungen gebildet, welche sie in der Kette hervorrufen würden, so ist der wirklich entstehende Strom gemessen durch die Differenz beider Wärmetönungen (beziehungsweise deren Arbeitsfähigkeiten) und seine Richtung bestimmt als diejenige, in welcher der von den beiden überhaupt möglichen, unter sonst gleichen Umständen, die grössere Wärmemenge in Arbeit umsetzt. Wir kommen so von ganz anderen Gesichtspunkten aus wieder auf den Satz zurück, dass auch die Entstehung electricer Ströme dem allgemeinen Principe gehorcht, wonach alle Ver-

änderungen in der Materie das Bestreben haben, Wärme von hoher Temperatur und daher grosser Arbeitsfähigkeit, aber hier — und dies dürfte speciell die Electricitätsströmung charakterisiren — durch das Mittelglied von mechanischer Arbeit in Wärme von niederer Temperatur und daher geringer Arbeitsfähigkeit umzusetzen.

Dass die oben gegebene Bestimmungsweise der electromotorischen Kraft das Gesetz der Spannungsreihe und zwar in aller Strenge (mit Berücksichtigung der Natur des Lösungsmittels) ergibt, führe ich nur an, ohne den Beweis, welcher sich leicht hinschreiben lässt, zu geben. Ich betrachte dies nicht etwa als ein Verdienst dieser Betrachtungen, sondern nur als die Erfüllung einer Bedingung, welche in erster Linie zu fordern ist.

#### §. 5. Anwendungen der Betrachtungen.

Durch Verallgemeinerung der Gleichungen (1a), (1b), (2a), (2b) des vorigen Paragraphen ergibt sich leicht ein allgemeiner Satz. Angenommen, es solle berechnet werden die electromotorische Kraft der Metalle  $M_1$  und  $M_2$  in einem binären Electrolyten, dessen Atomcomplexe  $E_1$  und  $E_2$  seien. Denkt man sich durch die unelectromotorischen Combinationen:



einen Strom von der Intensität 1 geleitet, so entstehen die Polarisationen  $p_1$  und  $p_2$ , welche sich im Maximum befinden sollen. Dann ist angenähert die electromotorische Kraft der Combination:

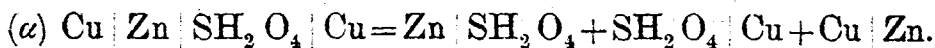
$$M_1 | E_1 E_2 | M_2 = p_1 - p_2.$$

Dieser Satz lässt sich noch in eine für die experimentelle Verwendung bequemere Form bringen:

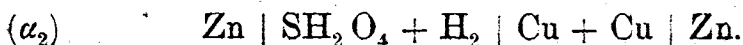
Leitet man durch eine polarisirbare Combination  $M_1 | E_1 E_2 | M_2$  einen Strom von der Intensität 1 erst in der Richtung  $M_1 \rightarrow M_2$  und dann in der entgegengesetzten, so ist die Differenz der absoluten Werthe der beim Durchgange der Ströme bestehenden electromotorischen Kraft der Com-

bination nahezu gleich der electromotorischen Kraft der offenen inconstanten Kette.

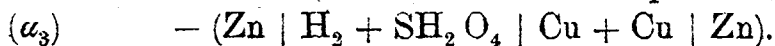
Beweis. Die electromotorische Kraft der offenen Kette ist:



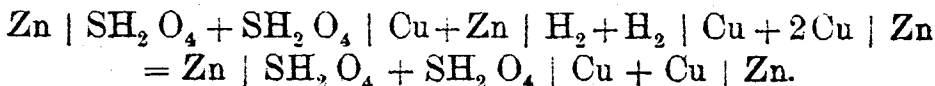
Geht ein Strom, welcher das Maximum der Polarisation hervorruft, in der Richtung  $\text{Zn} \rightarrow \text{Cu}$  durch dieselbe, so ist die electromotorische Kraft der Zelle:



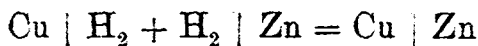
Geht ein Strom in der entgegengesetzten Richtung, so ist die electromotorische Kraft der polarisirten Zelle:



Die Differenz  $(\alpha_2) - (\alpha_3)$  gibt die electromotorische Kraft:



Diese Schlüsse stützen sich also nur auf die Contacttheorie, d. h. die unmittelbarste Erfahrung. Diese Beziehung würde daher anwendbar sein, um die, auch unter den Bedingungen unserer Versuche, gemachte Voraussetzung, dass:



ist, zu prüfen.

Andererseits übersieht man aber, dass auch für Ströme von geringer Intensität die Beziehung bestehen muss: Ein dem ursprünglichen hinzugefügter neuer Strom, welcher sich mit dem ursprünglichen und dem Polarisationsstrome zur Intensität 1 ergänzt, gewinnt dann in der Kette eine grössere Wärmemenge, ruft also eine kleinere Polarisation hervor, wenn er dem ursprünglichen Strome gleichgerichtet ist, als wenn er demselben entgegengerichtet ist.

Denn in beiden Fällen verliert er die Wärmemenge  $W(\text{H}_2, \text{SO}_4)$ ; im ersten Falle dagegen gewinnt er  $W(\text{Zn}, \text{SO}_4)$ , im zweiten die geringere  $W(\text{Cu}, \text{SO}_4)$ . Im ersten Falle beträgt also die Schwächung der electromotorischen Kraft des ganzen Stromkreises nur:



$$W(\text{H}_2, \text{SO}_4) \psi(t) - W(\text{Zn}, \text{SO}_4) \cdot f(t),$$

im zweiten dagegen:

$$W(\text{H}_2, \text{SO}_4) \psi(t) - W(\text{Cu}, \text{SO}_4) \cdot \varphi(t).$$

Die Differenz beider Schwächungen der electromotorischen Kraft ist wieder proportional der electromotorischen Kraft der Combination, soweit dieselbe in chemischen Processen ihren Ursprung hat.

Auf diesen Schluss stützt sich unmittelbar eine Methode, um folgende Frage zu entscheiden: Befinden sich in verschiedenen warmen Theilen desselben Electrolyten Bleche aus demselben Metall, so entsteht im allgemeinen ein galvanischer Strom. Ist derselbe als Thermostrom aufzufassen oder rührt er ganz oder theilweise daher, dass die verschiedenen warmen Partien derselben Flüssigkeit sich wie zwei chemisch verschiedene Flüssigkeiten verhalten?

Ist das letzte der Fall, so müssen Ströme von gleicher gesammter electromotorischer Kraft (polarisirende Kette + Combination) in verschiedenen Richtungen durch dieselbe gehend verschiedene Intensität geben. Ich habe diese Methode in der schon eingangs erwähnten Arbeit<sup>1)</sup> benutzt und mittels derselben gezeigt, dass die Ströme, welche entstehen, wenn zwei gleiche Electroden in verschieden warme Partien desselben Salzes eintauchen, sich zusammensetzen aus einem Thermostrom, welcher, wie es scheint, stets von warm nach kalt durch das Salz fließt; ihm entgegen bewegt sich ein Strom, welcher analog ist dem Strome einer Hydrokette. Auf die Bestätigung dieses Satzes, welche, wie ich schon damals anführte, mir in anderer Weise gelungen ist, sowie mehreres andere experimentelle und auch theoretische Detail gedenke ich in Kürze in einem anderen Aufsätze zurückzukommen.

Eine zweite Frage, auf welche ich dieselbe Methode schon früher anwenden wollte, ohne in der Zwischenzeit Gelegenheit zu finden, ist die ganz analoge: Verdanken

1) Pogg. Ann. CLIV. p. 170.

die Ströme, welche beim Bestrahlen der einen von zwei gleichartigen Electroden entstehen, ihren Ursprung ganz oder theilweise chemischen Aenderungen? Die experimentelle Verfolgung mittels der erwähnten Methode ist mittlerweile — theilweise wenigstens — unnöthig geworden. Hankel<sup>1)</sup> hat gezeigt, dass eine bestrahlte Kupferelectrode in verdünnter Schwefelsäure gegen eine gleiche nicht bestrahlte derart electricisch wird, dass ein Strom von der nicht bestrahlten durch die Flüssigkeit zur bestrahlten fliesst. Dieser Strom rührt her von  $\text{Cu O}$ , welches sich unter Einfluss des Lichtes bildet. Es kann dann keine Frage mehr sein, dass ein dem Bestrahlungsstrom gleichgerichteter in der Kette geringere Polarisation erfährt als auf dem umgekehrten Wege, da der erstere an dem Kupferoxyd Wasserstoff ausscheidet, welcher durch die Reduction des Oxydes eine Wärmemenge gewinnt, welche theilweise für Electricitätserzeugung zu Gunsten der bestehenden Stromesrichtung aufgewendet wird.

Endlich ergibt sich auch aus der wahrscheinlichen Beschaffenheit der Temperaturfunctionen (vgl. p. 205) in Verbindung mit dem Satze (p. 208), dass im allgemeinen auch für inconstante Ketten der von Edlund aufgestellte Satz, wonach ein dem ursprünglichen Strome der Combination gleichgerichteter in derselben eine Abkühlung, ein entgegengesetzter Erwärmung hervorbringt, gelten muss.<sup>2)</sup>

---

1) Wied. Ann. I. p. 402.

2) Ich halte es schliesslich für geboten, darauf hinzuweisen, dass die p. 207 angeführten Sätze über Muskelarbeit sich aus ähnlichen Vorstellungen, welche Pflüger in seinem Archiv für Physiologie. Bd. X. 1875 entwickelt hat, ergeben würden, wenn man seine dortigen Betrachtungen mathematisch mittelst der Sätze von Virial formuliren wollte. Ich wurde erst nach Vollendung des ersten Abdruckes meiner Arbeit auf den Pflüger'schen Aufsatz aufmerksam gemacht, erkannte sofort die wesentliche Gleichheit unserer Vorstellungen und habe daher auch brieflich Hrn. Pflüger unbedingt die Priorität zugestanden, welche er aber nicht angenommen hat.

---