
V. Zur Galvanometrie; von F. C. Henrici.

I.

Die Versuche, welche in neuerer Zeit Hr. Pouillet zur Ermittlung der Gesetze der galvanischen Kette ausgeführt hat (Annal. Bd. XXXXII S. 281), gehören unstreitig zu den vorzüglichsten, welche wir über diesen Gegenstand besitzen. Die Ergebnisse derselben müssen um so wichtiger erscheinen, da sie mit den Grundsätzen der von Ohm ¹⁾ aufgestellten Theorie in der genauesten Uebereinstimmung stehen. Da indessen die von Pouillet aus seinen Versuchen abgeleiteten Gleichungen zum Theil andere Formen haben, und zum Theil auch weiter gehende Entwicklungen sind, als die von Ohm gegebenen, so wird die Herleitung der ersteren aus den Grundsätzen der Theorie Ohm's, wie sie in den nachfolgenden Zeilen enthalten ist, vielleicht dem einen oder andern Leser dieser Annalen nicht ganz unwillkommen seyn.

I.

Bezeichnen wir mit Q die Größe (Quantität) des elektrischen Stromes einer Kette, deren elektromotorische Kraft $=A$, deren Widerstand (oder nach Ohm deren reducirte Länge) ²⁾ $=R$ ist, und welche durch einen beliebigen Leiter, dessen Widerstand $=r$ ist, geschlossen wird, so haben wir nach Ohm die Gleichung:

$$Q = \frac{A}{R+r}, \dots\dots\dots (1)$$

1) Ohm, die galvanische Kette. 1827.

2) Pouillet nennt (nicht sehr passend) die wirkliche gemessene Länge eines Leiters seine *scheinbare*, seine reducirte Länge dagegen seine *wahre*.

welche aussagt, daß die GröÙe des elektrischen Stromes einer jeden geschlossenen galvanischen Kette gleich ist ihrer elektromotorischen Kraft, dividirt durch die Summe der in ihr vorhandenen Widerstände. Sind Q und R durch Versuche ermittelt worden, so können wir in dieser Gleichung die direct nicht zu bestimmende GröÙe A eliminiren, indem wir für diese diejenige StromgröÙe (Q) in jene einführen, welche die Kette ergibt, wenn sie ganz ohne (oder auch durch einen unveränderlich mit ihr verbundenen) Zwischenleiter geschlossen wird. Für diesen Fall giebt nämlich die Gleichung

$$(Q) = \frac{A}{R};$$

also ist

$$A = (Q)R.$$

Der Werth von (Q) ergibt sich aus der Combination dieser letzten Gleichung mit der aus (1) folgenden

$$A = Q(R+r),$$

woraus folgt $(Q) = Q \left(1 + \frac{r}{R}\right).$

Durch Elimination von A in (1) erhalten wir also

$$Q = \frac{(Q)R}{R+r} \dots \dots \dots (2)$$

welche Gleichung mit der von Pouillet (a. a. O. S. 293 unten) gegebenen identisch ist. Sie dient zur Berechnung von Q für jedes beliebige r .

2.

Setzen wir n gleiche Ketten zu einer Säule zusammen, so haben wir für die StromgröÙe Q_n in dieser Säule die Gleichung

$$Q_n = \frac{nA}{nR+r} = \frac{n.(Q)R}{nR+r}.$$

Sind diese n Ketten oder Elemente aber nicht gleichwerthig, so müssen wir statt $n.(Q)R$ offenbar die Summe der Werthe setzen, welche $(Q)R$ für jedes einzelne Element annimmt. Bezeichnen wir diese Werthe beziehungsweise mit $(Q_1)R_1$, $(Q_2)R_2$, $(Q_n)R_n$, so be-

kommt der Zähler der letzteren Gleichung die Form: $(Q_1)R_1 + (Q_2)R_2 + \dots + (Q_n)R_n$. Im Nenner derselben, welcher aus der Summe aller in der Säule vorhandenen Widerstände besteht, müssen wir eben so für $n.R$ die Summe der den verschiedenen Elementen zukommenden Widerstände $R_1, R_2, \dots R_n$ substituiren. Wir erhalten daher

$$Q_n = \frac{(Q_1)R_1 + (Q_2)R_2 + \dots + (Q_n)R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n + r}.$$

Wären $(Q_1), (Q_2), \dots$ durch Hülfe einer Bussole von dem Widerstande a ermittelt worden, so daß dieser Werth in den sämtlichen R_1, R_2, \dots mit enthalten wäre, während r sich immer auf einen willkürlichen Schließleiter bezieht, so müßte offenbar a im Nenner n mal wieder abgezogen werden, und dann erhielte man für die *mitteltst eben dieser Bussole zu beobachtende* Stromgröße der Säule

$$Q_n = \frac{(Q_1)R_1 + (Q_2)R_2 + \dots + (Q_n)R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n - (n-1)a + r}.$$

Diese Gleichung ist die von Pouillet (S. 293 oben) gegebene.

3.

Wenn zwei Stellen des Schließbogens einer Kette (oder Säule), welche ursprünglich durch ein Leitungsstück von dem Widerstande r_1 mit einander verbunden sind, noch durch $n-1$ andere Leitungen, deren Widerstände durch $r_2, r_3, \dots r_n$ bezeichnet werden mögen, verbunden werden, so haben wir für den Gesamtwiderstand ϱ der aus n verschiedenen Leitern bestehenden Schließung nach Ohm die Gleichung

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n},$$

oder

$$\varrho = \frac{r_1 r_2 r_3 \dots r_n}{r_2 r_3 \dots r_n + r_1 r_3 \dots r_n + \dots + r_1 r_2 \dots r_{n-1}}.$$

welcher Bruch der Kürze wegen mit $\frac{(r)}{(p)}$ bezeichnet werden mag.

In unserer Gleichung (2) müssen wir nun q für r substituiren, wodurch wir erhalten

$$Q' = \frac{(Q)R}{R+q} = \frac{(Q)R(p)}{R(p)+(r)},$$

wo R sich auf den außerhalb der Nebenschließungen befindlichen Theil der Kette bezieht. Andererseits ist die Summe der Stromgrößen in den einzelnen Zweigen der mehrfachen Schließung der allgemeinen Stromgröße in der Kette gleich. Nennen wir daher die Stromgrößen in den einzelnen Schließungszweigen beziehungsweise q_1, q_2, \dots, q_n , so haben wir

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = Q'.$$

Nun verhalten sich die Stromgrößen in den verschiedenen Zweigen zu einander umgekehrt wie die Widerstände derselben (oder direct wie deren Leitungsfähigkeiten); daraus folgt

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{r_1}{r_2}, \quad \frac{q_3}{q_1} = \frac{r_1}{r_3}, \quad \dots, \quad \frac{q_n}{q_1} = \frac{r_1}{r_n};$$

also ist

$$\begin{aligned} Q' &= q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = q_1 \left(1 + \frac{r_1}{r_2} + \frac{r_1}{r_3} + \dots + \frac{r_1}{r_n} \right) \\ &= q_1 r_1 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n} \right) = q_1 \cdot \frac{(p)r_1}{(r)}. \end{aligned}$$

Hieraus aber ziehen wir

$$q_1 = \frac{Q'(r)}{(p)r_1} = \frac{(Q)R(r)}{R(p)+(r)} \cdot \frac{1}{r_1}.$$

Auf gleiche Weise ergibt sich auch

$$\begin{aligned} q_2 &= \frac{(Q)R(r)}{R(p)+(r)} \cdot \frac{1}{r_2}, \\ &\dots \dots \dots \\ q_n &= \frac{(Q)R(r)}{R(p)+(r)} \cdot \frac{1}{r_n}. \end{aligned}$$

Diese Gleichungen nehmen, wenn sie auf eine Doppelschließung angewendet werden, folgende Gestalten an:

$$Q' = \frac{(Q)R(r_1 + r_2)}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2},$$

$$q_1 = \frac{(Q)Rr_2}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2},$$

$$q_2 = \frac{(Q)Rr_1}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2}.$$

Bekanntlich steht hier $(Q)R$ für A . Die Gleichungen vereinfachen sich jedoch, wenn wir A mittelst der Gleichung (1) eliminiren, indem wir $A = Q(R + r_1)$ setzen, wo dann Q das unmittelbare Resultat der Beobachtung bei einer einfachen Schließung der Kette durch den Leiter, dessen Widerstand $= r_1$ ist, bedeutet. Es läßt sich nämlich dem Nenner obiger Gleichungen die Form

$$(R + r_1)(r_1 + r_2) - r_1^2$$

geben, und hiermit erhalten wir sodann

$$Q' = \frac{Q\left(\frac{r_2}{r_1} + 1\right)}{1 + \frac{r_2}{r_1} - \frac{r_1}{R + r_1}},$$

$$q_1 = \frac{Q \cdot \frac{r_2}{r_1}}{1 + \frac{r_2}{r_1} - \frac{r_1}{R + r_1}},$$

$$q_2 = \frac{Q}{1 + \frac{r_2}{r_1} - \frac{r_1}{R + r_1}}.$$

Nun ist der Widerstand (oder die reducirte Länge) eines Leiters der wirklichen Länge desselben, dividirt durch sein Leitungsvermögen und seinen Querschnitt, gleich; also ist, wenn wir diese Größen hier beziehungsweise mit $L, l_1, l_2; C, c_1, c_2; S, s_1, s_2$ bezeichnen,

$$R = \frac{L}{CS}, \quad r_1 = \frac{l_1}{c_1 s_1}, \quad r_2 = \frac{l_2}{c_2 s_2}.$$

Substituiren wir diese Werthe in die letzten Gleichungen,

chungen, und setzen dann der Kürze wegen mit Pouillet (S. 290)

$$\frac{l_2}{l_1} = k, \quad \frac{c_1 s_1}{c_2 s_2} = p, \quad \frac{\frac{l_1}{c_1 s_1}}{\frac{L}{CS} + \frac{l_1}{c_1 s_1}} = n,$$

so erhalten wir

$$Q' = \frac{Q(pk+1)}{pk+1-n},$$

$$q_1 = \frac{Qpk}{pk+1-n},$$

$$q_2 = \frac{Q}{pk+1-n},$$

Gleichungen, welche mit denen Pouillet's (S. 290) identisch sind.

4.

Die allgemeinen Gleichungen des vorigen Artikels führen zur Kenntniss der Stromgröße einer aus n einzelnen ungleichwerthigen Ketten durch Verbindung ihrer gleichnamigen Pole zusammengesetzten großplattigen Kette, in welcher Zusammensetzung offenbar jede einzelne Kette eine Nebenschließung für jede der übrigen bewirkt. Um daher die fraglichen Gleichungen dem vorliegenden Falle anzupassen, dürfen wir in denselben nur für die einzelnen Schließleiter wirksame Ketten, denen beziehungsweise die Widerstände $r_1, r_2, \dots r_n$ zukommen, und für die einfache Kette einen allgemeinen Schließleiter mit einem Widerstande $= R$ substituieren. Um der bisherigen Bezeichnung treu zu bleiben, will ich jetzt die Buchstaben $r_1, r_2, \dots r_n$ mit $R_1, R_2, \dots R_n$, den Buchstaben r mit R und (r) mit (R) vertauschen. Das (Q) der in Rede stehenden Gleichungen ist im vorliegenden Falle auf jede einzelne der zusammengeführten Ketten zu beziehen, so daß wir setzen müssen

$$A_1 = (Q_1)R_1, \quad A_2 = (Q_2)R_2, \quad \dots A_n = (Q_n)R_n.$$

Mit diesen Bestimmungen erhalten wir nun

$$q_1 = Q_1 \cdot \frac{(R)}{(R)+r(p)}, q_2 = (Q_2) \cdot \frac{(R)}{(R)+r(p)}, \\ \dots q_n = (Q_n) \cdot \frac{(R)}{(R)+r(p)}.$$

Da der in dem gemeinschaftlichen Schließleiter unserer n Ketten vorhandene Strom Q_n die Summe aller in jenen enthaltenen Ströme ist, so haben wir endlich

$$Q_n = [(Q_1) + (Q_2) + \dots + (Q_n)] \cdot \frac{R_1 R_2 R_3 \dots R_n}{R_1 R_2 R_3 \dots R_n + r(R_1 R_2 \dots R_n + R_1 R_2 \dots R_n + \dots)}$$

und diese ist die Gleichung Pouillet's (S. 296) ¹).

Dasselbe Resultat läßt sich auf eine einfachere Weise unmittelbar aus Ohm's Fundamentalgleichung ableiten. Wenn nämlich n gleiche Ketten, für deren jede die Gleichung

$Q = \frac{A}{R+r}$ gilt, zu einer einzigen zusammenge-

fügt werden, so besteht für diese die Gleichung

$$Q_n = \frac{A}{\frac{R}{n} + r} = \frac{nA}{R + rn} = \frac{n(Q)R}{R + rn} = \frac{n(Q)}{1 + r \cdot n \cdot \frac{1}{R}}.$$

Sind aber die n Ketten sämmtlich von ungleichem Werthe, so müssen wir in dem letzten Bruche offenbar statt $n(Q)$ die Summe $(Q_1) + (Q_2) + \dots + (Q_n)$, und statt $n \cdot \frac{1}{R}$ die Summe $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ setzen. Dann erhalten wir

$$Q_n = [(Q_1) + (Q_2) + \dots + (Q_n)] \cdot \frac{1}{1 + r \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)},$$

und diese Gleichung ist mit der vorigen identisch.

Man könnte endlich auch noch für n zusammengefügte gleiche Ketten

1) Aus den im Obigen enthaltenen Entwicklungen ergibt sich zugleich, daß die von Pouillet gebrauchten Buchstaben $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ und r_1, r_2, \dots in seinen verschiedenen Formeln verschiedene Werthe haben, was bei der Anwendung derselben nicht zu übersehen ist.

$$Q_n = \frac{n \cdot (Q) R}{R + r n} = \frac{n \cdot (Q) R^n}{R^n + r \cdot n R^{n-1}}$$

setzen, und hätte dann, zu ungleichen Ketten übergehend, statt $n(Q)$, wie vorhin, $(Q_1) + (Q_2) + \dots + (Q_n)$, statt R^n aber das Product $R_1 R_2 \dots R_n$ und statt $n \cdot R^{n-1}$ die Summe der n Combinationen ohne Wiederholungen zur $(n-1)$ ten Klasse der n Gröſsen R_1, R_2, \dots, R_n zu substituiren, woraus ebenfalls die gesuchte Gleichung hervorgeht.

Befinden sich unter unsern n Ketten m gleichwerthige, denen die Buchstaben (Q_m) und R_m entsprechen mögen, so nimmt unsere Gleichung offenbar folgende Form an:

$$Q_n = \frac{P \cdot R_1 R_2 \dots R_{n-m} R_m^m}{R_1 R_2 \dots R_{n-m} R_m^m + r [S R_m^m + m R_1 R_2 \dots R_{n-m} R_m^{m-1}]}.$$

Wenn man Kürze halber

$$(Q_1) + (Q_2) + (Q_3) + \dots + (Q_{n-m}) + m(Q_m) = P$$

und

$$R_1 R_2 \dots R_{n-m} + R_1 R_2 \dots R_{n-m} + R_1 R_2 \dots R_{n-m-1} = S,$$

setzt.

Auch für den Fall, wenn die n Ketten in mehrere Gruppen verschiedener gleichwerthiger zerfallen sollten, ergeben sich die Formeln nach dem Vorigen von selbst.

II.

Die im Vorigen erörterten Grundsätze liefern eine einfache und völlig befriedigende Erklärung der von Hrn. Pohl wiederholt beschriebenen und als mit der elektrischen Contacthypothese (man darf jetzt wohl unbedingt sagen Contacttheorie) und überhaupt mit der Theorie der elektrischen Ströme durchaus unverträgliche hervorgehobenen Erscheinungen ¹⁾. Sind die Zinkplatte z und die Kupferplatte k_3 (Fig. 1 Taf. III) einerseits durch einen Kupferdraht o_1 und andererseits durch mehrere alternirende Flüssigkeitsschichten und Kupferplatten $f_1 k_1 f_2 k_2 f_3 k_3 f_4 k_4 f_5$ mit einander leitend verbunden, und sind

1) Annal. Bd. XXXXVI S. 595, Bd. I S. 497.

gleichzeitig die Kupferplatten k_1 und k_4 , k_2 und k_3 durch die Kupferdrähte o_2 und o_3 mit einander verbunden, so muß die durch den Contact der heterogenen Metalle bei a hervorgerufene elektrische Bewegung von z durch f_1 nach k_1 übergehen. Hier bieten sich denselben zwei Wege dar, der eine durch f_2 und der andere durch den Kupferdraht o_2 hindurch. Der elektrische Strom wird sich daher theilen, und zwar nach dem Verhältniß der Leitungsfähigkeit beider Leitungswege. Es springt von selbst in die Augen, daß der Widerstand der Flüssigkeit f_2 gegen den des Drahtes o_2 ausnehmend überwiegend ist, und daß daher der Strom wenig geschwächt von k_1 nach k_4 übergehen wird. Hier angelangt, bieten sich demselben zwei Leitungen von gleichem Widerstande, nämlich einerseits f_4 und andererseits f_3 , dar. Der Strom muß sich daher in zwei andere von halber GröÙe zerspalten, der eine von diesen beiden durch f_3 nach k_3 und von da, in der ursprünglichen Bewegung nach z , der andere aber durch f_4 nach k_2 , und von da, fast ungeschwächt, durch o_3 nach k_2 übergehen. So geht also die alternirende Richtung der in den verschiedenen metallischen Nebenschließungen vorhandenen Ströme aus Ohm's Theorie als etwas Nothwendiges hervor, und man muß es, der Meinung von Hrn. Pfaff ¹⁾ entgegen, fremdartigen störenden Einwirkungen zuschreiben, wenn die Erscheinungen sich in besonderen Fällen nicht in der angeführten Weise darstellen. Von elektrischen Ladungen der eingeschalteten Metallplatten kann das Phänomen nicht hergeleitet werden, da diese in allen galvanischen Combinationen stets nur eine Schwächung der normalen Wirkung, durch Erzeugung secundärer Ströme von entgegengesetzter Richtung, hervorbringen ²⁾.

1) Annalen, Bd. XXXXIX S. 463.

2) Ich darf hier wohl an den dritten Abschnitt meiner Abhandlung: „Ueber die Electricität der galvanischen Kette,“ zu erinnern mir erlauben.

Die vorgetragene Erläuterung ruht, wie man sieht, im Wesentlichen auf dem durch Pouillet's Versuche völlig bewährten Grundsatz, daß ein elektrischer Strom, welchem zu gleicher Zeit mehrere Leitungswege dargeboten werden, sich über diese nach dem umgekehrten Verhältniß ihrer Widerstände (oder dem directen ihrer Leitfähigkeiten) ergießt. Die Theorie weiß daher von keiner Unbestimmtheit in dem Falle, wenn zwei solche Leitungswege gleiche Leitfähigkeiten besitzen. Eine solche Unbestimmtheit dennoch behaupten, wie Hr. Pohl es thut ¹⁾, heißt in der That nichts Anderes, als eine Theorie, welche längst durch die sorgfältigsten, zu ihrer Prüfung unternommenen Versuche in allen ihren Aussagen bestätigt worden ist, absichtlich ignoriren. Es ist aber wahrlich schwer einzusehen, welcher Gewinn der Wissenschaft aus einer Vertauschung der elektrischen Ströme mit Hrn. Pohl's Polaritäten sollte erwachsen können!

Die oben im dritten Artikel enthaltenen Formeln verhelfen uns zu einer Bestimmung der in allen Leitungszweigen unserer Kette vorhandenen Stromgrößen. Abstrahiren wir zunächst von der Nebenschließung o_2 , so haben wir zwischen k_3 und k_2 zwei Leitungswege, den durch die Flüssigkeit f_3 und den durch den Kupferdraht o_3 . Bezeichnen wir, wie früher, die allgemeine Stromgröße der Kette bei einfacher Schließung durch das System $f_1 k_1 f_2 k_2 f_3 k_3 f_4 k_4 f_5$ mit Q , und bei angebrachter Nebenschließung durch o_3 mit Q' , so haben wir

$$Q' = \frac{Q(R + r_1)(r_1 + r_2)}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2},$$

wo r_1 sich auf f_3 , r_2 auf o_3 , und R auf die außerhalb der Doppelschließung befindliche Leitungstrecke $k_3 f_4 k_4 f_5 k_5 o_1 z f_1 k_1 f_2 k_2$ bezieht.

Führen wir nun die zweite Nebenschließung o_2 ein, so müssen wir zuerst die jetzt in Frage kommenden Wi-

1) Annalen, Bd. L S. 500 oben.

derstände, nämlich den Gesamtwiderstand r'_1 des die erste Doppelschließung enthaltenden Systems

$$f_2 k_2 \left\{ \begin{smallmatrix} f_3 \\ o_3 \end{smallmatrix} \right\} k_3 f_4$$

und den Widerstand r'_2 der Leitung o_2 ausmitteln. Der erstere setzt sich offenbar aus den Widerständen von $f_2 k_2$ und $k_3 f_4$, und dem Widerstande der Doppelschließung $\left\{ \begin{smallmatrix} f_3 \\ o_3 \end{smallmatrix} \right\}$, welcher letztere $= \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$ ist, durch Addition zusammen. Für die endliche Stromgröße Q'' , wie sie, beim Stattfinden der zwiefachen Doppelschließung, in der Leitungsstrecke $k_4 f_3 k_3 o_1 z f_1 k_1$ vorhanden ist, haben wir nun

$$Q'' = \frac{Q (R + r_1)(r' + r'_2)}{R(r'_1 + r'_2) + r'_1 r'_2},$$

wo R' sich auf die so eben genannte Leitungsstrecke $k_4 f_3 k_3 o_1 z f_1 k_1$ bezieht.

Die Stromgrößen in den einzelnen Schließungszweigen sind jetzt ohne Schwierigkeit zu berechnen. Zuerst haben wir für die Stromgrößen q'_1 und q'_2 in den zuletzt besprochenen Leitungen $f_2 k_2 \left\{ \begin{smallmatrix} f_3 \\ o_3 \end{smallmatrix} \right\} k_3 f_4$ und o_2 , mit Hülfe der Gleichungen $Q'' = q'_1 + q'_2$ und $\frac{q'_2}{q'_1} = \frac{r'_1}{r'_2}$, die Werthe

$$q'_1 = Q'' \cdot \frac{r'_2}{r'_1 + r'_2}, \quad q'_2 = Q'' \cdot \frac{r'_1}{r'_1 + r'_2}.$$

Die Erstere dieser Stromgrößen q'_1 ist nur in $f_2 k_2$ und in $k_3 f_4$ wirklich vorhanden, da sie sich auf die Doppelschließung $\left\{ \begin{smallmatrix} f_3 \\ o_3 \end{smallmatrix} \right\}$ nach dem umgekehrten Verhältniß der Widerstände ihrer beiden Zweige vertheilt. Wir haben daher, da r_1 und r_2 diese Widerstände vorstellen, für die Stromgrößen q_1 und q_2 in den beiden Zweigen f_3 und

o_3 , mit Hülfe der Gleichungen $q'_1 = q_1 + q_2$ und $\frac{q_2}{q_1} = \frac{r_1}{r_2}$, die Werthe.

$$q_1 = q'_1 \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2} \quad , \quad q_2 = q'_1 \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2} .$$

Es versteht sich übrigens von selbst, daß der Widerstand eines irgendwo angebrachten Multipliers oder Wasserzersetzungapparates dem Widerstande des betreffenden Leitungsstücks zugerechnet werden müsse.

Aus dem Vorgetragenen geht, übereinstimmend mit Hrn. Pfaff's Versuchsergebnissen ¹⁾, evident hervor, daß der elektrische Strom der in Rede stehenden Kette (nicht minder auch der einer jeden andern beliebig eingerichteten) durch jede eingeführte Nebenschließung an GröÙe zunimmt. Diese Zunahme der allgemeinen StromgröÙe eines galvanischen Elements durch Nebenschließungen wird nun im Allgemeinen noch vergrößert, wenn die oben betrachteten, in den flüssigen Leiter eingeschalteten Kupferplatten abwechselnd durch Zinkplatten so ersetzt werden, daß daraus eine regelmäßige Schichtung $z_1 f k_1 z_2 f k_2 \dots z_n f k_n$ entsteht, worin z_1 und k_n , k_1 und z_n etc. etc. leitend mit einander verbunden sind. Eben dieses hat Hr. Pohl neuerlichst ²⁾ durch Versuche nachgewiesen, darin aber ebenfalls irrigerweise ein Argument gegen die Contacttheorie und gegen die Existenz elektrischer Ströme zu finden geglaubt. Folgendes mag dazu noch als Erläuterung dienen.

In der Berührungsstelle a (Fig. 2 Taf. III) entsteht eine nach z_1 gerichtete elektrische Bewegung, welche, in z_1 angelangt, durch f_1 nach k_1 und von da zum überwiegend gröÙsten Theile durch b nach z_2 übergeht. Eben so entsteht in b ein elektrischer Strom von einer mit der
des

1) Annalen, Bd. XXXIX S. 481.

2) Ebend. Bd. L S. 497.

des vorigen übereinstimmenden Richtung. Beide vereinigt theilen sich in z_2 , wo sie zwei Leitungen von gleicher Güte f_2 und f_3 antreffen, in zwei gleiche Hälften; wir finden also an jeder Stelle des galvanischen Systems die von beiden Elementen ausgehenden Ströme vereinigt. Beide Elemente wirken daher nicht nur als Nebenschließungen vertärend auf einander, sondern ihre elektromotorischen Wirkungen summiren sich auch noch. Es hat nicht die geringste Schwierigkeit, diese Betrachtung auf eine grössere Zahl von Elementen auszudehnen. Hr. Pfaff hat, von gleichen Ansichten geleitet, zu diesem Allen die unzweideutigsten experimentellen Beweise geliefert, und auch die Fälle hervorgehoben, in welchen die elektrische Strömung in einem Leitungsbogen durch Schließung eines andern Paares vermindert, vernichtet oder gar umgekehrt wird ¹⁾, was immer dann geschieht, wenn nicht ein dem bereits geschlossenen zunächst liegendes oder ein durch eine gerade Zahl von Paaren von demselben getrenntes, sondern ein durch eine ungerade Zahl von Paaren von demselben getrenntes inneres oder äusseres Paar mit jenem zugleich geschlossen wird; in welchem Falle dann offenbar zwei einander direct entgegengesetzte elektrische Ströme erzeugt werden, welche, wenn sie von gleicher Gröfse sind, sich in ihren Wirkungen nach aufsen gegenseitig aufheben, sonst aber mehr oder weniger schwächen müssen ²⁾.

1) Annalen, Bd. XXXXIX S. 473.

2) Hr. Pfaff hat in der angeführten Abhandlung (S. 486 und 493) die interessante Beobachtung einer *sichtbaren* Wasserzersetzung vermittelst einer einfachen Zinkkupferkette mitgetheilt, dieselbe jedoch auf eine Weise zu erklären versucht, mit der ich, nach meinen Erfahrungen im Gebiete dieser Erscheinungen, nicht einverstanden seyn konnte. Diefs hat mich zu einer experimentellen Untersuchung des fraglichen Gegenstandes veranlaßt, welche zu bemerkenswerthen Ergebnissen geführt hat, mit deren Bearbeitung ich gegenwärtig beschäftigt bin. — [Die Untersuchung, deren der Hr. Verfasser hier gedenkt, ist die in den Ann. Bd. LII S. 387 etc. mitgetheilte. P.]

In der vorgetragenen Erläuterung habe ich, der Einfachheit wegen, den von der Haupterregungsstelle, der Berührungsstelle der heterogenen Metalle, ausgehenden Impuls blofs nach *einer* Richtung verfolgt. Genau genommen setzt aber jede so erzeugte elektrische Bewegung sich aus einem vorwärts und einem rückwärts wirkenden Impulse zusammen, man mag sich dabei nun den letzteren etwa als ein von der Berührungsstelle ausgeübtes Ansaugen oder als eine rückwärts gehende Erregung von Undulationen denken. Immer haben die durch beide Impulse erzeugten Bewegungen gleiche Richtungen, und es war daher im vorliegenden Falle die Verfolgung der einen vorwärts gerichteten Bewegung hinreichend.

III.

Vor Kurzem hat Hr. Buff die Resultate einiger, unsern Gegenstand betreffenden Versuche bekannt gemacht ¹⁾, und daraus ebenfalls Folgerungen gezogen, welche mit den Grundsätzen der Ohm'schen Theorie nicht verträglich sind.

Zuerst führt Buff an, dafs seine aus 20 Zinkkupferelementen mit destillirtem Wasser zusammengesetzte Säule, und ein einzelnes von diesen Elementen, die Nadel des von ihm angewandten Multipliers ungefähr um gleich viel abgelenkt habe. Nach Ohm haben wir für die Stromgröfsen in einer einfachen Kette und in einer aus n solchen Ketten zusammengesetzten Säule die Ausdrücke

$$Q_1 = \frac{A}{R+r} \quad , \quad Q_n = \frac{nA}{nR+r} \quad ,$$

worin r sich auf den Multiplier beziehen soll. Ist r gegen R klein genug, so gehen diese Gleichungen in

$$Q_1 = \frac{A}{R} \quad , \quad Q_n = \frac{nA}{nR} = \frac{A}{R}$$

1) Annalen der Pharmacie, Bd. XXXII S. 1.

über, und daraus folgt dann $Q_1 = Q_n$. Nun aber sind die von Buff angegebenen Ablenkungen (nicht über 20°) so gering, daß man allerdings berechtigt ist den Widerstand seines Multiplicators im Vergleich zu dem Widerstande der Säulenglieder für unbedeutend zu halten, und es hat demnach Buff's Beobachtung gar nichts Befremdendes. Daß die Nadel stets gleiche Ablenkungen zeigte, an welcher Stelle der Säule der Multiplicator auch eingefügt werden mochte, ist eine einfache Folge von der Gleichheit der Stromgröße in allen Querschnitten der Säule.

Die Einschaltung eines Gefäßes mit destillirtem Wasser in den Leitungsbogen, in der Weise, daß zwei an die äußersten Platten gelöthete Kupferdrähte in dasselbe eingesenkt wurden, veränderte die Erfolge. Es ergaben sich nun folgende Ablenkungen:

bei 1 Element	10°
- 5 -	15,3
- 20 -	19

Buff zieht hieraus den Schluß: *daß durch Vergrößerung einer Batterie die Fähigkeit eines schlechten Leiters, der die Kette schließt* (hier des destillirten Wassers), *diejenige Elektricitätsmenge, welche überhaupt erregbar ist, durchzulassen, erhöht werden könne*. Ohm's Theorie giebt dagegen die folgende Erklärung der angeführten Versuchsergebnisse. Dem vorhin Gesagten zu Folge können wir den Widerstand des Multiplicators vernachlässigen. Bezeichnen wir daher jetzt mit r den Widerstand der Flüssigkeitszelle, so findet die Gleichung

$$Q_n = \frac{nA}{nR+r} = \frac{nQ_1(R+r)}{nR+r} \text{ hier Anwendung.}$$

Bei der erwähnten Einrichtung des Apparats wird r von R nicht sehr verschieden gewesen seyn, und wir dürfen daher, in sofern hier von genauen Messungen überhaupt keine Rede ist, unbedenklich $r=R$ setzen, wodurch unsere Gleichung in

$$Q_n = \frac{2n Q_1}{n+1}$$

übergeht. Nehmen wir überdiß die beobachteten mäßigen Ablenkungen als den entsprechenden Stromgrößen proportional, und als Einheit der Stromgrößen die bei 1° Ablenkung stattfindende an, so erhalten wir $Q_1 = 10$ und damit

$$Q_n = \frac{20n}{n+1},$$

also $Q_2 = 16,6$ und $Q_{20} = 19$, Zahlen, welche nahe genug mit den von Buff beobachteten übereinstimmen.

Hr. Buff hat seine Säule auch elektroskopisch untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung bieten indessen (mit Ausnahme einiger, ohne Zweifel aus der Anwendung unvollkommener Beobachtungsmittel entsprungener Anomalien) nur Bestätigungen der Theorie dar. Buff zieht indessen aus der Wahrnehmung, daß die Maxima der Spannungen sich auch dann, wenn die Säule durch destillirtes Wasser und selbst durch diluirte Schwefelsäure geschlossen war, an ihren Polen fanden, in Verbindung mit seinen übrigen Ansichten, den durchaus nicht zulässigen Schluß: *daß die größere Spannung an den Polen wesentlich sey, um eine bestimmte Quantität von Elektrizität in Bewegung zu erhalten*. Denn wie groß und wie mannigfaltig auch die Unterschiede der elektrischen Spannung in einer geschlossenen Säule seyn mögen, so ist doch erwiesen, daß der in ihr kreisende Strom überall, in allen ihren Querschnitten, eine vollkommen gleiche Größe besitzt. Es kann also von einer solchen localen Anhäufung von Elektrizität innerhalb des geschlossenen galvanischen Bogens, welche vermöge ihrer Spannung fortreibend auf die durch die Säule entwickelte Elektrizität zu wirken im Stande wäre, die Rede nicht seyn; vielmehr ist das Vorhandenseyn einer besonders starken Spannung an den Polen der Säule nur ein Beweis von einem daselbst vorhandenen bedeutenden Lei-

tungswiderstande, dessen *Folge* aber die erhöhte Spannung ist, welche daher als eine elektrische Ladung anzusehen ist. Der Strom der Säule fällt aber dann mit Gewissheit immer viel schwächer aus, als wenn dieses Hinderniß nicht da wäre, und man kann daher aus dem Vorhandenseyn einer höheren Spannung an den Polen einer geschlossenen Säule stets auf eine bedeutende Schwächung des in derselben circulirenden elektrischen Stromes mit Sicherheit schliessen ¹⁾).

Hr. Buff hat endlich auch die Wirkung von Zwischenplatten untersucht, welche in den flüssigen Leiter seines galvanischen Apparates eingeschaltet wurden ²⁾, und dabei Resultate erhalten, welche mit den von andern Physikern gewonnenen übereinstimmen. Die Schlüsse jedoch, welche B. aus denselben zieht, können so wenig mit den Grundsätzen der Ohm'schen Theorie, als mit den neueren Erfahrungen über das Wesen der elektrischen Metallpolarisirung bestehen. Eine detaillirte Erörterung dieses Gegenstandes würde mich hier indessen zu weit führen; auch darf ich sie nach dem, was ich darüber an einem andern Orte ³⁾ in genügender Ausführlichkeit mitgetheilt habe, für überflüssig halten. Ich will daher hier nur noch wiederholend daran erinnern, daß die in Rede stehenden Zwischenplatten in zwiefacher Weise auf den elektrischen Strom der Säule einwirken, zuerst durch Verursachung eines namhaften Uebergangswiderstandes, und sodann durch Erzeugung eines secundären, dem primären entgegengesetzten Stromes. Es wäre unstreitig sehr erwünscht, wenn Mittel aufgefunden würden, diese beiden Wirkungen der Zwischenplatten isolirt darzustellen; denn so lange dieses nicht geschehen

1) Ohm's „galvanische Kette“ giebt hierüber die befriedigendsten Erläuterungen.

2) A. a. O. S. 7.

3) In meiner bereits angeführten Schrift.

ist, müssen Versuche der fraglichen Art für die Theorie offenbar unfruchtbar bleiben.

Schließlich wünsche ich den im Vorigen enthaltenen Bemerkungen im Interesse der Wissenschaft eine freundliche Aufnahme bei Hrn. Buff, dessen wissenschaftliches Talent ich übrigens auf alle Weise bereitwilligst anerkenne. Ich würde mich glücklich schätzen, wenn dieselben Hrn. B. veranlassen könnten, sich mit einer Theorie zu befreunden, ohne deren Hülfe eine befriedigende Orientirung auf dem ausgebreiteten Gebiete der galvanisch-elektrischen Erscheinungen nicht möglich ist.

VII. *Ueber galvanische Ströme unter gewissen besonderen Verhältnissen und über sogenannte secundäre galvanische Ströme;*
von C. H. Pfaff in Kiel.

(Schluß von S. 31.)

Vergleichen wir nun diese Erscheinungen mit den Gesetzen, welche die Volta'sche Theorie für die Entwicklung elektrischer Ströme bei Schließung von Ketten aufstellt, und nehmen wir zugleich Rücksicht auf die allgemeinen Gesetze der Leitung, wie sie auch schon aus den gewöhnlichen elektrischen Gesetzen sich ergeben haben, so erkennen wir in ihnen gleichsam nur unmittelbare Folgerungen aus diesen Gesetzen; ihre Uebereinstimmung damit ist augenscheinlich, und sie dienen eben damit zur Bestätigung jener Theorie.

Fassen wir zunächst die Erscheinungen der zweiten Reihe von Versuchen in's Auge, so können wir in denselben auf keine Weise, wie Hr. Henrici will, einen Beweis eines mit (diese Annal. a. a. O. und dessen Schrift, S. 95 bis 98) dem primären oder Hauptstrome gleichzei-

