III. Ueber eine neue Methode die Widerstände galvanischer Ketten zu messen; von Dr. A. von Waltenhofen,

Professor am Polytechnicum zu Prag.

Die Schwierigkeiten, welche genauen Messungen der elektromotorischen Kraft und des Widerstandes galvanischer Ketten im Wege stehen, sind durch die Veränderungen bedingt, welche diese Gröfsen in Folge der Elektrolyse der Ladungsflüssigkeiten erleiden. Diese Veränderungen, Polarisation und Uebergangswiderstand, sind der Natur der Sache nach Functionen der Stromintensität. — In der That hat man schon längst auch durch directe Versuche nachgewiesen, dafs die Polarisation mit der Stromstärke wächst und auch bezüglich des Uebergangswiderstandes läfst sich leicht constatiren, dafs er mit der Stromstärke veränderlich ist [1]).

1) Diese Folgerung ergiebt sich nach meiner Ansicht schon aus der von Poggendorff (Annalen Bd. 54, S. 170) bei Ketten mit Einer Flüskeit nachgewiesenen Thatsache, dafs man für die elektromotorische Kraft und den Widerstand solcher Ketten (bei Anwendung der Ohm'schen Methode) in der Regel desto gröfsere Werthe findet, je gröfser man den Widerstand des Schliefsungsdrahtes genommen hat. — Offenbar hat man es hier nicht nur mit den durch die Polarisation bedingten Veränderungen der elektromotorischen Kraft zu thun, denn durch diese allein liefse sich das beschriebene Verhalten der inconstanten Ketten nicht erklären. Bliebe nämlich der Widerstand der Kette constant und unterläge nur die elektromotorische Kraft den Aenderungen durch die Polarisation, so könnte der nach der Ohm'schen Methode aus den bei den Schliefsungswiderständen l_1 und l_2 beobachteten Stromstärken s_1 und s_2 berechnete Werth des Kettenwiderstandes $\frac{s_2 l_2 - s_1 l_1}{s_1 - s_2}$ nicht desto gröfser ausfallen, je gröfser die Widerstände l_1 und l_2 genommen werden; die Gröfse $\frac{s_2 l_2 - s_1 l_1}{s_1 - s_2}$ müfste vielmehr stets dem Betrage $u + \frac{p_1 - p_2}{s_1 - s_2}$ gleichkommen, wobei u den als unveränderlich vorausgesetzten Kettenwiderstand und p_1 und p_2 die bei den Stromstärken s_1 und s_2 stattfindenden Polarisationen vorstellen. Nimmt man nun die Widerstände l_1 und l_2 immer gröfser, so werden dadurch die Strom-

Gleichwohl ist es nicht möglich, für die Abhängigkeit der Polarisation und des Uebergangswiderstandes von der Stromstärke so allgemeine und bestimmte Gesetzmäfsigkeiten zu ermitteln, dafs es möglich wäre, diese Aenderungen bei den Messungen der elektromotorischen Kraft und des Widerstandes einer Kette in Rechnung zu bringen. Man ist daher darauf hingewiesen, die Versuche, aus welchen die Constanten einer hydroelektrischen Kette abgeleitet werden sollen, von vornherein so einzurichten, dafs dabei Polarisation und Uebergangswiderstand auf ein Minimum reducirt sind.

Was die Bestimmung der elektromotorischen Kraft betrifft, hat **Poggendorff** diesem Principe durch das sinnreiche Verfahren seiner Compensationsmethode Rechnung getragen. Indem dabei die Stromstärke in der untersuchten Kette ganz aufgehoben wird, entfällt der Einflufs der Polarisation vollständig und wird die Messung der elektromotorischen Kraft in einer ebenso exacten als eleganten Weise ermöglicht [1]).

stärken und somit auch die Werthe p_1 und p_2 fortwährend verkleinert und auch deren Differenz $p_1 - p_2$ endlich verschwindend klein. Hieraus geht hervor, dafs — wenn der Kettenwiderstand constant bliebe — nicht nur von einer Zunahme des dafür gefundenen Werthes bei wachsendem Schliefsungswiderstande nicht die Rede seyn könnte, sondern derselbe vielmehr abnehmend einem Gränzwerthe sich nähern müfste. Nach welchen Gesetzen der Kettenwiderstand sich ändert und welche Ursachen dabei zusammenwirken, ist zwar noch nicht hinreichend aufgeklärt; doch ist die Annahme, dafs hier die Aenderungen des Uebergangswiderstandes maafsgebend sind, um so weniger zweifelhaft, als die fraglichen Widerstandsänderungen, wie ich später nachweisen werde, auch bei gewissen constanten Ketten vorkommen. Es giebt übrigens, wie ich gleichfalls später zeigen werde, auch Ketten, deren Widerstand bei abnehmender Stromstärke nicht gröfser, sondern vielmehr kleiner wird. Beides hängt mit der Thatsache zusammen, dafs in den einzelnen Fällen die durch die Elektrolyse ausgeschiedenen Stoffe, welche den Uebergangswiderstand bedingen, bald besser bald schlechter leiten als der Elektrolyt. (**Wiedemann**, Galv. I, 430.)

1) Dabei wird allerdings vorausgesetzt, dafs man die elektromotorische Kraft der untersuchten Kette (nach der Formel $e = Sl$) aus der Stromintensität und dem Widerstande in der Nebenschliefsung bestimme;

Weniger vollkommen entspricht dem besagten Principe die Fechner'sche Methode (des »langen Multiplicators«). welche aus der Absicht hervorgegangen ist, durch Anwendung sehr grofser Schliefsungswiderstände die Stromintensitäten, unabhängig von den Kettenwiderständen, den elektromotorischen Kräften der verglichenen Ketten proportional zu machen. — Die dadurch bedingten geringen Stromintensitäten reduciren auch die Polarisation auf einen sehr kleinen Betrag, und diesem Umstande verdankt diese Methode auch, wie schon Poggendorff hervorgehoben hat, ihre Brauchbarkeit [1]).

Wesentlich anders verhält sich die Sache mit den Widerstandsmessungen [2]). Hier tritt uns nämllich die Schwierigkeit entgegen, dafs es unstatthaft ist, die Action der untersuchten Kette durch Einschaltung grofser Widerstände auf so kleine Stromintensitäten einzuschränken, als nöthig wäre, um die Einflüsse der Polarisation und des Uebergangswiderstandes und ihrer Aenderungen von einer Mes-

denn das andere Verfahren, welches nur das Verhältnifs der elektromotorischen Kräfte der verbundenen Ketten (nach der Formel $\frac{E}{e} = 1 + \frac{a}{l}$) aus den Widerständen in der Hauptleitung und Nebenschliefsung ermittelt, unterliegt, wie ich nachgewiesen habe, in nicht unbeträchtlichem Maafse dem Einflusse der in der compensirenden Kette unvermeidlichen Polarisation. (Ueber die Polarisation constanter Ketten usw.« Sitzungsberichte der Wiener Akademie, Bd. 49.)

1) Pogg. Ann. Bd. 54, S. 170. Nach meinen Erfahrungen gestattet die Fechner'sche Methode nächst den Poggendorff'schen die genauesten (freilich nur relative) Messungen.

2) Es ist hier natürlich von Kettenwiderständen die Rede und ich bemerke gelegentlich ein- für allemal, dafs ich für den Kettenwiderstand den Ausdruck »*innerer*« Widerstand gebrauchen werde, im Gegensatze zu dem »*äufseren*« Widerstande im Schliefsungsbogen. Dagegen werde ich die gewöhnlichen aber ganz unpassenden Bezeichnungen: »wesentlicher« und »aufserwesentlicher« Widerstand durchweg vermeiden; denn einerseits ist für die resultirende Stromstärke der Widerstand des Schliefsungsbogens genau ebenso wesentlich wie jener der Stromquelle und anderseits kann man sich im Allgemeinen den Widerstand der Stromquelle ebenso gut wie jenen des Schliefsungsbogens als veränderlich, beziehungsweise auf Null reducirbar, vorstellen.

sung zur anderen unschädlich zu machen. — Die Messung des Kettenwiderstandes nach den bisherigen Methoden [1]) setzt nämlich voraus, dafs die Stromesänderungen noch genau gemessen werden können, welche durch Ein- oder Ausschaltung von Widerständen, die im Vergleiche mit dem zu messenden nicht sehr grofs seyn dürfen, hervorgebracht werden. — Diese Stromesänderungen werden aber bei Vergröfserung des Gesammtwiderstandes bald unmefsbar klein, weil der Differentialquotient der Stromstärke nach dem Widerstande, wie die Ohm'sche Formel zeigt, dem Quadrate des Gesammtwiderstandes verkehrt proportional ist.

Es müfste daher bei der Messung innerer Widerstände auf die Vortheile, welche die Anwendung kleiner Stromstärken mit sich bringt, von vornherein verzichtet werden, wenn diefs nicht auch auf einem anderen Wege erzielt werden könnte.

Um die Stromintensität einer Kette zu vermindern, haben wir zwei Mittel: die Vergröfserung des Widerstandes und die Verkleinerung (beziehungsweise Compensation) der elektromotorischen Kraft. — Wenn wir die Methoden zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft in's Auge fassen, sehen wir, dafs das Erstere bei der Fechner'schen, das Letztere bei der Poggendorff'schen Methode der Fall ist. — Insofern es sich aber um Widerstandsmessungen handelt, wurde bereits hervorgehoben, dafs eine beliebige Verminderung der Stromstärke durch Vergröfserung des Schliefsungswiderstandes unstatthaft ist. Es entsteht sonach die Frage, ob vielleicht auf dem zweiten Wege (der Com-

1) Diese Methoden sind sämmtlich nichts anderes, als mehr oder weniger bequeme Modificationen des Ohm'schen Verfahrens: den Widerstand der untersuchten Kette aus den bei verschiedenen Widerständen im Schliefsungsbogen stattfindenden Stromstärken abzuleiten; diese Ableitung mag direct geschehen, wie bei der Ohm'schen und bei der dritten Wheatstone'schen Methode: oder indirect, wie bei den zwei ersten Wheatstone'schen Methoden, indem man das Galvanometer durch Nebenschliefsungen auf gleichem Stande erhält, während man den Gesammtwiderstand des Schliefsungskreises verändert.

pensation) eine Messung dieser Art ermöglicht werden könne.

Die Messung des Widerstandes einer vollständig compensirten Kette ist allerdings nicht denkbar, weil nach den Kirchhoff'schen Gesetzen alle in einem beliebigen Systeme von Leitern vorhandenen Stromintensitäten von dem Widerstande eines diesem Systeme angehörigen *stromlosen* Leiters unabhängig sind. Der Widerstand dieses Leiters kommt aber sofort in Rechnung, sobald die im Leiter vorhandene Stromstärke von Null verschieden, wenn auch sehr klein ist.

Diefs findet z. B. statt, wenn man die untersuchte Kette zuerst nach dem Poggendorff'schen Verfahren compensirt und hierauf eine sehr kleine Aenderung des Widerstandes entweder in der Strombahn der compensirenden Kette oder in der Nebenschliefsung vornimmt, wodurch das Gleichgewicht der Compensation gestört und ein beliebig schwacher Strom in der compensirten Kette hervorgerufen wird.

Ich habe mir die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, ob und in wie fern dieser Vorgang geeignet sey, eine brauchbare Methode zur Messung des Widerstandes der compensirten Kette an die Hand zu geben.

Die Rechnung lehrt, dafs die besagten Stromesänderungen in der Nebenschliefsung und in der Strombahn der compensirten Kette verkehrt wie die Widerstände der genannten Strombahnen sich verhalten und somit eine sehr einfache Relation zur Bestimmung des gesuchten Kettenwiderstandes darbieten. Nachdem ich mich ferner durch Versuche auch von der practischen Brauchbarkeit dieser Art von Widerstandsmessungen überzeugt habe, glaube ich auf die Erörterung der angedeuteten neuen Methode und ihrer Anwendungen näher eingehen zu sollen, eine Aufgabe, welche den Gegenstand dieser Abhandlung bildet.

Die Widerstände in den Strombahnen der compensirenden, dann der compensirten Kette und endlich der Nebenschliefsung sollen künftighin immer beziehungsweise mit α, β und γ bezeichnet werden und die in den genannten drei

Strombahnen vorhandenen Stromstärken der Reihe nach mit A, B und C; die elektromotorischen Kräfte der Ketten in α und β sollen a und b heifsen. Endlich sollen die Widerstände der in α und β befindlichen Ketten mit U und u und die ihrer Zuleitungen mit R und r bezeichnet werden, so dafs man hat: $\alpha = U + R$ und $\beta = u + r$. — Für den Fall der Compensation, wobei also $B = 0$ wird, müssen die Stromstärken in α und γ gleich und sollen mit $A_0 = C_0$ bezeichnet werden. — Bekanntlich findet man nun, nach Poggendorff, b durch die Relation $b = \gamma C_0$. — Um nun, nach meiner Methode, auch den Widerstand β zu suchen, wird — durch eine Aenderung des Widerstandes α — das Gleichgewicht der Compensation soweit gestört, dafs B einen mefsbaren Werth annimmt und C um einen mefsbaren Betrag von C_0 abweicht; es gilt dann, wie ich sogleich zeigen werde, die Gleichung $\beta = \gamma \frac{C_0 - C}{B}$. — Der Beweis dafür ergiebt sich sehr einfach in folgender Weise.

Denkt man sich, bei einem beliebigen Verhältnisse der Widerstände α, β und γ, wobei also B im Allgemeinen von Null verschieden seyn wird, durch eine sehr kleine Aenderung von α eine entsprechende Aenderung der vorhandenen Stromintensitäten bewirkt, so gelangt man mit Rücksicht auf die Principien des Ohm'schen Gesetzes unmittelbar zur Gleichung:

$$\beta \, dB = \gamma \, dC$$

oder, wenn man die mit A gleichlaufenden Ströme als positiv und somit C als negativ gelten läfst, zur Gleichung:

$$\beta \, dB = -\gamma \, dC.$$

Die Integration führt, da für $B = 0$, $C = C_0$ wird, zur Relation:

$$\beta B = \gamma (C_0 - C)$$

und somit zu der zu beweisenden Gleichung

$$\beta = \gamma \frac{C_0 - C}{B}.$$

Kennt man also den Widerstand γ der Nebenschliefsung und mifst die durch die Störung der Compensation bewirkten Stromesänderungen $C_0 - C$ und B, so gelangt man nach obiger Formel sofort zur Kenntnifs von $\beta = u + r$ und — nach Abrechnung des Widerstandes r der Verbindungsdrähte usw. — zur Kenntnifs des gesuchten Kettenwiderstandes u selbst.

Läfst man den Strom B als positiv gelten, wenn er im Sinne der compensirten Kette b gerichtet ist, so kann man sagen, *dafs B positiv oder negativ ausfalle, je nachdem α nach geschehener Compensation vergröfsert oder verkleinert wird. Im ersteren Falle wird auch $C_0 - C$ positiv, im zweiten negativ seyn.* — Eine Vergröfserung oder Verkleinerung von α bewirkt nämlich beziehungsweise eine Abnahme oder Zunahme der Ströme A und C, jedoch in einem rascheren Verhältnisse bei A als bei C. — Da nun aber im Schliefsungskreise der combinirten Kette (d. i. des Systems der beiden mit gleichnamigen Polen conjugirten Ketten) immer der Strom C im gemeinschaftlichen Schliefsungsbogen γ der Summe der Ströme A und B in den Strombahnen α und β der beiden conjugirten Ketten gleich seyn mufs, so wird $B = C - A$ im ersten Falle positiv, im zweiten negativ seyn müssen. — Würde man statt α, γ verändern — was übrigens selbstverständlich bei Anwendung der in Rede stehenden neuen Methode unzulässig wäre — so würde eine Vergröfserung oder Verkleinerung dieses Widerstandes ebenfalls beziehungsweise eine Abnahme oder Zunahme der Ströme A und C bewirken, aber bei C in einem rascheren Verhältnisse als bei A. Bei diesem Verfahren würde also B im ersten Falle negativ und im zweiten positiv werden.

Die Beweise dieser Sätze ergeben sich einfach aus der Vergleichung der Differentialquotienten von A und C nach α und γ in folgender Weise.

Für A und C gelten, wie aus der beigefügten Anmerkung [1]) ersichtlich ist, die Relationen:

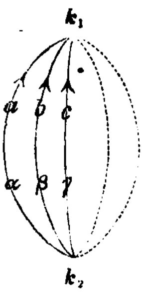
1) Denkt man sich n mit den elektromotorischen Kräften a, b, c .... behaftete Leiter, welche die Widerstände α, β, γ .... besitzen, zwi-

$$A = \frac{a}{\alpha} - \frac{W}{\alpha}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right)$$

$$C = \quad - \frac{W}{\gamma}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right)$$

wobei zur Abkürzung

schen zwei Knotenpunkten (in nebenstehender Figur k_1 und k_2) so angeordnet, daſs alle vorhandenen elektromotorischen Kräfte in gleichem Sinne wirken, (wie es in der Figur durch die vom zweiten zum ersten Knotenpunkt gerichteten Pfeile angedeutet ist), und nenne man die in den aufgezählten Leitern resultirenden Ströme der Reihe nach A, B, C ..., so gelangt man durch Anwendung der bekannten Gesetze der linearen Stromverzweigung und indem man $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\gamma} + \ldots = \frac{1}{W}$ setzt, zu nachstehenden, in etwas anderer Form zuerst von Poggendorff abgeleiteten Gleichungen:



$$A = \frac{a}{\alpha} - \frac{W}{\alpha}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta} + \frac{c}{\gamma} + \ldots\right)$$

$$B = \frac{b}{\beta} - \frac{W}{\beta}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta} + \frac{c}{\gamma} + \ldots\right)$$

$$C = \frac{c}{\gamma} - \frac{W}{\gamma}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta} + \frac{c}{\gamma} + \ldots\right)$$

usw.

Aus diesen Gleichungen ergiebt sich, wenn nur drei Leiter, α, β und γ vorhanden sind und $c = 0$ angenommen wird,

$$A = \frac{a}{\alpha} - \frac{W}{\alpha}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right)$$

$$B = \frac{b}{\beta} - \frac{W}{\beta}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right)$$

$$C = \quad - \frac{W}{\gamma}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right).$$

Betrachtet man nun γ als den Schlieſsungsbogen der aus a und b combinirten zusammengesetzten Kette und nimmt in diesem Sinne den numerischen Werth von $C = \frac{W}{\gamma}\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right)$ positiv, so erhält man durch Differentiation dieser Gleichung für A und C die obigen Differentialquotienten.

Es mag hier gelegentlich bemerkt werden, daſs wegen

$$\gamma C = W\left(\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}\right), \quad B = \frac{b}{\beta} - \frac{\gamma C}{\beta} \quad \text{also} \quad \beta = \frac{b - \gamma C}{B}$$

ist. Erwägt man nun, daſs, wie bereits bemerkt wurde, $b = \gamma C_0$, so erhält man $\beta = \frac{C_0 - C}{B}$ wie oben.

$$\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}+\frac{1}{\gamma}=\frac{1}{W}$$

gesetzt worden ist. — Durch Differentiation erhält man sofort:

$$\left.\begin{aligned}\frac{dA}{d\alpha}&=-\left(\frac{1}{\beta}+\frac{1}{\gamma}\right)\left[a\left(\frac{1}{\beta}+\frac{1}{\gamma}\right)-\frac{b}{\beta}\right]\frac{W^2}{\alpha^2}\\ \frac{dC}{d\alpha}&=\quad-\frac{1}{\gamma}\left[a\left(\frac{1}{\beta}+\frac{1}{\gamma}\right)-\frac{b}{\beta}\right]\frac{W^2}{\alpha^2}\end{aligned}\right\}\quad \text{I.}$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{dA}{d\gamma}&=\quad-\frac{1}{\alpha}\left[\frac{a}{\alpha}+\frac{b}{\beta}\right]\frac{W^2}{\gamma}\\ \frac{dA}{d\gamma}&=-\left(\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}\right)\left[\frac{a}{\alpha}+\frac{b}{\beta}\right]\frac{W^2}{\gamma^2}\end{aligned}\right\}\quad \text{II.}$$

Hieraus ergibt sich vermöge I.

$$\frac{dA}{d\alpha}:\frac{dC}{d\alpha}=1+\frac{\gamma}{\beta}\,.\quad.\quad.\quad.\quad.\quad \text{III.}$$

und vermöge II.

$$\frac{dC}{d\gamma}:\frac{dA}{d\gamma}=1+\frac{\alpha}{\beta}\,.\quad.\quad.\quad.\quad.\quad \text{IV.}$$

Die Gleichungen I. zeigen, daſs eine Zunahme von α eine Abnahme von A und C bewirkt, welche vermöge III. bei A rascher als bei C vor sich geht.

Die Gleichungen II. zeigen, daſs eine Zunahme von γ ebenfalls eine Abnahme von A und C bewirkt, welche jedoch vermöge IV. bei C rascher als A vor sich geht.

Was nun die Ausführung meines Meſsverfahrens betrifft, so ist zunächst dafür Sorge zu tragen, daſs die Stromintensitäten B und $C_0 - C$ hinreichend genau gemessen werden können.

Befindet sich in der Leitung β, wie es gewöhnlich der Fall ist, ein Multiplicator, so muſs derselbe graduirt und seine Angaben auf eine bestimmte Stromeinheit zurückgeführt seyn. Dieser Anforderung läſst sich durch Anwendung der Poggendorff'schen Graduirungsmethode [1]) leicht und vollkommen entsprechen, wenn man auch den Werth des bei der Graduirung benutzten Einheitsstromes genau ermittelt hat. — Ich habe bei meinen Versuchen zur Messung von B eine Sinusbussole angewendet, die ich jedoch

1) Pogg. Ann. Bd. 56, S. 324.

ebenfalls nach der Poggendorff'schen Methode graduirt hatte, um — ohne erst das Gewinde drehen zu müssen — unmittelbar aus dem jedesmaligen Ablenkungswinkel die Stromintensität entnehmen zu können.

Da man nur kleine Werthe von B anwenden darf, wenn man sich der Vortheile des in Rede stehenden Mefsverfahrens nicht theilweise begeben will, so werden auch die Differenzen $C_0 - C = \frac{\beta}{\gamma} B$ verhältnifsmäfsig klein seyn und daher ein entsprechend empfindliches Rheometer in der Leitung γ nothwendig machen. — Ich habe zur Messung von $C_0 - C$ eine Gaugain'sche Tangentenbussole mit Multiplicatorgewinde benutzt. — Da übrigens $C_0 - C$ im Vergleiche mit B offenbar desto gröfser ausfällt, je gröfser der Quotient der Widerstände $\frac{\beta}{\gamma} = \frac{u+r}{\gamma}$ ist, wobei man r und γ innerhalb gewisser Grenzen nach Belieben wählen kann, so hat man in der Anordnung der Leitungen r und γ auch ein Mittel, dafür Sorge zu tragen, dafs die einem gewissen B entsprechende Differenz $C_0 - C$ nicht zu klein ausfällt, um mit den zu Gebote stehenden Instrumenten hinreichend genau bestimmt zu werden; es wird nämlich offenbar immer $C_0 - C > \frac{r}{\gamma} B$ seyn. — Uebrigens versteht es sich von selbst, dafs r nicht sehr grofs im Vergleiche mit u genommen werden darf; denn, wäre diefs der Fall, so würden Verschiedenheiten in den zu messenden Kettenwiderständen u auf das Verhältnifs $\frac{C_0 - C}{B}$ keinen merklichen Einflufs üben und sich sonach einer genauen Messung entziehen. Hierauf ist auch bei der Wahl des zur Messung von B dienenden Multiplicators Rücksicht zu nehmen, dessen Widerstand einen Theil von r ausmacht und daher hier in Betracht kommt. Bei meinen Versuchen betrug derselbe wenig über eine halbe Siemens-Einheit [1]).

Hinsichtlich der Anordnung der Widerstände in der

1) Alle in dieser Abhandlung vorkommenden Widerstandsangaben beziehen sich auf die Siemens-Einheit.

Leitung α hat man zu beachten, dafs immer $\frac{a}{b} = 1 + \frac{\alpha}{\gamma}$; da man nun die compensirende Kette füglich so wählt, dafs $\frac{a}{b}$ beträchtlich gröfser als 1, aber kaum gröfser als 2 ausfällt, sondern ungefähr zwischen 1,5 und 2 liegt, so werden sich die in Anwendung kommenden Werthe von α zwischen $\frac{\gamma}{2}$ und γ bewegen. — Beabsichtigt man überdiefs bei den vorzunehmenden Widerstandsmessungen auch negative Werthe von B in Anwendung zu bringen, so kann das Erfordernifs eintreten, α auch noch kleiner als $\frac{\gamma}{2}$ zu machen. — Erwägt man endlich noch, dafs die Strombahn α auch den Widerstand U der compensirenden Kette in sich schliefst, so ergiebt sich die Nothwendigkeit, dafs die übrigen in dieser Leitung vorhandenen Widerstände R kleiner als $\frac{\gamma}{2} - U$ seyn sollen. — Man wird daher gut thun die compensirende Kette und die Drähte, welche die in α einzuschaltenden Instrumente verbinden, von möglichst geringen Widerständen zu wählen, damit die Bedingung $R < \frac{\gamma}{2} - U$ erfüllt werden könne, ohne dafs man genöthigt wäre, die Leitung γ von grofsem Widerstande zu nehmen, wodurch, aus den bereits erörterten Gründen, die genaue Messung der Differenzen $C_0 - C$ erschwert würde.

Bei meinen Versuchen diente als compensirende Kette in der Regel ein Kohlenzinkelement vom Widerstande 0,3 bis 0,4, während der übrige Theil der Leitung α bei der Nullstellung der daselbst eingeschalteten Rheostaten höchstens den Widerstand 0,025 hatte.

Der Widerstand γ war selten gröfser als 2, wohl aber häufig kleiner als 1. Der Widerstand r betrug bei meinen Versuchen nie viel über 5, in der Regel weniger als 1.

Was die passende Wahl der zur Messung von B und $C_0 - C$ dienenden Rheometer betrifft, habe ich bereits das Nöthige bemerkt. Aufserdem bedarf man noch eines Rheostaten in der Leitung α und es ist bequem einen solchen auch in der Nebenschliefsung γ zur Verfügung zu haben, um diesen Widerstand leicht nach Erfordernifs bemessen und nach Belieben — der bequemeren Rechnung wegen — auch auf eine runde Zahl abgleichen zu können.

Hat man nun bei der beschriebenen Anordnung die Compensation der untersuchten Kette eingeleitet und somit $B = 0$ gemacht, so beobachtet man zunächst den gleichzeitigen Werth der Stromstärke C_0. — Man vergröfsert oder verkleinert [1]) nun α so, dafs der in β befindliche Multiplicator z. B. zuerst im positiven Sinne die Ausschläge

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3 \ldots\ldots$$

und dann im negativen Sinne die Ausschläge

$$\omega', \omega'', \omega''' \ldots\ldots$$

macht, welchen beziehungsweise die Stromstärken

$$B_1, B_2, B_3 \ldots\ldots \text{ und } B', B'', B''' \ldots\ldots$$

entsprechen, und beobachtet die gleichzeitigen Stromstärken

$$C_1, C_2, C_3 \ldots\ldots \text{ und } C', C'', C''' \ldots\ldots$$

in der Nebenschliefsung. — Multiplicirt man nun γ mit den Quotienten

$$\frac{C_0 - C_1}{B_1}, \frac{C_0 - C_2}{B_2}, \frac{C_0 - C_3}{B_3} \ldots\ldots$$

und

$$\frac{C' - C_0}{B'}, \frac{C'' - C_0}{B''}, \frac{C''' - C_0}{B'''} \ldots\ldots$$

so erhält man aus den zusammengehörigen B und $C_0 - C$ ebenso viele Werthe für β.

Ich will nun zur Besprechung der Versuche selbst übergehen.

Um das Mefsverfahren zu erproben, wurden zunächst constante Ketten untersucht, bei welchen man annehmen konnte, dafs ihre Widerstände während der Versuche sich nicht sehr bedeutend verändern. — Dabei wurden sehr verschiedene Werthe von γ und r und sowohl positive als negative Werthe von B in Anwendung gebracht. Die befriedigende Uebereinstimmung der gefundenen Werthe von β zeigte bald die Brauchbarkeit des besagten Verfahrens.

1) Es wird später gezeigt werden, dafs es vortheilhafter ist, positive Werthe von B in Anwendung zu bringen und zu diesem Zwecke nach geschehener Compensation α zu vergröfsern.

Der Stand der Tangentenbussole, entsprechend der Stromstärke C_0, soll mit φ_0 bezeichnet werden, so wie die den kleineren Stromstärken C_1, C_2, C_3 ..... und den gröfseren Stromstärken C', C'', C''' ..... entsprechenden Ablenkungen beziehungsweise mit φ_1, φ_2, φ_3 ..... und φ', φ'', φ''' ..... In gleicher Weise sollen die correspondirenden Widerstände von α durch α_0, dann α_1, α_1, α_3 ..... und α', α'', α''' ..... und jene von R durch R_0, dann R_1, R_2, R_3 ..... und R', R'', R''' ..... vorgestellt werden.

I.

Ein Daniell'sches Element wurde durch eine Kohlenzinkkette compensirt. Dabei war $\gamma = 29{,}79$ und $r = 0{,}551$, also $\beta = u + 0{,}551$. Bei der Compensation war der Stand der Tangentenbussole $\varphi_0 = 4^0\,50'$, also $C_0 = 0{,}08456 = \text{tg}\ 4^0\,50'$. Durch Vergröfserung des Widerstandes α wurde hierauf in der Leitung β ein schwacher Strom im Sinne der compensirten Kette erzeugt, der an der Sinusbussole die Ablenkung $\omega_1 = 11^0$ bewirkte und die Intensität $B_1 = 0{,}05195$ hatte [1]). Der gleichzeitige Stand der Tangentenbussole war $\varphi_1 = 4^0\,25'$, entsprechend der Stromstärke $C_1 = 0{,}07724$. Sodann wurde durch Verkleinerung des Widerstandes α ein die compensirte Kette in entgegengesetzter Richtung durchziehender Strom von gleicher Stärke $B' = B_1$ eingeleitet, der sonach die Ablenkung $\omega' = -11^0$ hervorbrachte. Der gleichzeitige Stand der Tangentenbussole war $\varphi' = 5^0\,15'$, entsprechend der Stromstärke $C' = 0{,}09189$.

1) Die aus den Angaben der Sinusbussole abgeleiteten Werthe von B und die den Ablenkungen an der Tangentenbussole entsprechenden Werthe C beziehen sich auf eine und dieselbe Stromeinheit, welcher an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45^0 entsprechen würde. Um die nach dieser Einheit gemessenen Stromstärken auf chemisches Maafs (Cub.-Cent. Knallgas per Min.) zurückzuführen, hätte man sie mit 4,9 (dem Reductionsfactor der besagten Tangentenbussole) zu multipliciren. Auf jene Stromeinheit bezogen, entsprechen den Ablenkungen an der Sinusbussole 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0, 40^0 und 45^0 beziehungsweise die Stromstärken 0,023, 0,047, 0,073, 0,101, 0,132, 0,167, 0,207, 0,253, 0,309 und 0,379 nach der Graduirungstabelle.

Aus diesen Daten ergeben sich zunächst die Verhältnifszahlen der gleichzeitigen Stromesänderungen in γ und β, beim ersten Versuche $\frac{C_0 - C_1}{B_1} = 0{,}1409$ und beim zweiten Versuche $\frac{C' - C_0}{B_1} = 0{,}1411$, also für den ersten Versuch $\beta = 29{,}79 \times 0{,}1409 = 4{,}197$ und für den zweiten Versuch $\beta = 29{,}79 \times 0{,}1411 = 4{,}203$. Zieht man von diesem Werthe für $\beta = u + r$ den Widerstand $r = 0{,}551$ ab, so erhält man aus den beiden Versuchen beziehungsweise für den Kettenwiderstand

$$u = \begin{cases} 3{,}646 \\ 3{,}652 \end{cases}$$

zwei Werthe, deren Uebereinstimmung nichts zu wünschen übrig läfst, wenn man in Anschlag bringt, dafs die allen Hydroketten mehr oder weniger anhaftende Veränderlichkeit eine Präcision, wie sie bei den Widerstandsmessungen metallischer Leiter erzielt werden kann, von vornherein unerreichbar macht.

II.

Ein Daniell'sches Element compensirt wie oben. Dabei waren die Widerstände γ und r von jenen beim vorigen Versuche sehr verschieden gewählt, nämlich

$$\gamma = 3{,}185;\; r = 5{,}229;\; \text{also } \beta = u + 5{,}229.$$

Bei den nachstehenden Werthen von R wurden die rechts beigefügten Ablenkungen φ und ω beobachtet.

$$R_0 = 1{,}794 \begin{cases} \varphi_0 = 36^0\,24' \\ \omega_0 = 0 \end{cases}; \quad R_1 = 2{,}794 \begin{cases} \varphi_1 = 32^0\,24' \\ \omega_1 = 7^0\,30' \end{cases};$$

$$R_2 = 4{,}294 \begin{cases} \varphi_2 = 30^0\,50' \\ \omega_2 = 10^0\,12' \end{cases};$$

Hieraus ergibt sich

$$\frac{C_0 - C_1}{B_1} = 2{,}936; \quad \frac{C_0 - C_2}{B_2} = 2{,}917$$

somit $$\beta = \begin{cases} 9{,}350 \\ 9{,}291 \end{cases}; \quad u = \begin{cases} 4{,}121 \\ 4{,}062 \end{cases}$$

zwei Werthe, welche um weniger als $1\frac{1}{2}$ Proc. voneinander abweichen und daher ebenfalls die Brauchbarkeit der Methode ersichtlich machen. Uebrigens wird man, wie bei dieser, so auch bei den folgenden Versuchsreihen bemerken, dafs die bei zunehmenden Stromintensitäten (B) gefundenen Werthe für den Kettenwiderstand in der Regel abnehmen. — Ich werde später auf diesen Umstand zurückkommen und zeigen, *dafs dieses bisher nur an inconstanten Ketten nachgewiesene Verhalten auch der Daniell'schen Kette in hohem Grade eigen ist, keineswegs aber allen Hydroketten, indem vielmehr einige derselben ein ganz entgegengesetztes Verhalten erkennen lassen*, aus Gründen, von welchen später die Rede seyn wird.

III.

Ein Daniell'sches Element compensirt wie oben.

$$\gamma = 3{,}185;\ r = 5{,}229$$

$$R_0 = 1{,}832 \begin{cases}\varphi_0 = 37^0\,30' \\ \omega_0 = \ \ 0\end{cases};\quad R_1 = 2{,}832 \begin{cases}\varphi_1 = 33^0\,30' \\ \omega_1 = \ \ 8^0\end{cases}:$$

$$R^1 = 0{,}832 \begin{cases}\varphi^1 = 43^0\,15' \\ \omega^1 = -\,13^0\end{cases}.$$

$$\frac{C_0 - C_1}{B_1} = 2{,}807;\ \frac{C' - C_0}{B'} = 2{,}778$$

$$\beta = \begin{cases}8{,}940 \\ 8{,}848\end{cases};\ u = \begin{cases}3{,}712 \\ 3{,}619\end{cases}$$

IV.

Dasselbe Daniell'sche Element in derselben Weise compensirt.

$$\gamma = 1{,}760;\ r = 1{,}136$$

$$R_0 = 0{,}944 \begin{cases}\varphi_0 = 54^0\,30' \\ \omega_0 = 0\end{cases};\quad R_1 = 1{,}259 \begin{cases}\varphi_1 = 52^0\,0' \\ \omega_1 = 10^0\end{cases};$$

$$R^1 = 0{,}705 \begin{cases}\varphi' = 56^0\,15' \\ \omega' = -\,10^0\end{cases}.$$

$$\frac{C_0 - C_1}{B_1} = 2{,}588;\ \frac{C' - C}{B'} = 2{,}615$$

$$\beta = \begin{cases}4{,}554 \\ 4{,}602\end{cases};\ u = \begin{cases}3{,}417 \\ 3{,}465\end{cases}$$

Die Uebereinstimmung der Werthe für u — sie weichen nur um $1\frac{1}{10}$ Proc. voneinander ab — ist auch hier befriedigend. Dafs diese Werthe kleiner ausgefallen sind, als bei dem früheren Versuche mit demselben Elemente, ist vollkommen in Einklang mit der bekannten Erfahrung [1]), dafs der Widerstand eines Daniell'schen Elementes nach der Schliefsung zunächst durch einige Zeit sehr merklich annimmt.

Die bereits erwähnte Regel, dafs sich bei zunehmender Stromintensität eine Abnahme des inneren Widerstandes zeigt, liefs erwarten, *dafs bei Daniell'schen Ketten die nach meiner Methode bestimmten Widerstände beträchtlich gröfser ausfallen müssen, als die nach der Ohm'schen (oder Wheatstone'schen) Methode ermittelten*, weil ja bei letzterem Verfahren viel gröfsere Stromintensitäten in Anwendung kommen. — Vergleichende Beobachtungen haben diefs auch vollkommen bestätigt. — So ergab sich z. B. für die beim Versuche I. untersuchte Kette nach meiner Methode ein Widerstand von 3,65, nach der Wheatstone'schen [2]) aber nur von 2,54 Siemens-Einheiten. — Bei dieser Kette betrug die bei ersterer Methode in Anwendung gebrachte Stromstärke 0,05; dagegen wurden bei letzterer die 6 bis 18 mal gröfseren Stromstärken 0,3 und 0,9 in Anwendung gebracht. — Bei der nachstehenden Versuchsreihe lagen die nach beiden Methoden angewendeten Stromintensitäten nicht soweit auseinander, wefshalb denn auch die nach beiden Methoden aufgefundenen Widerstandswerthe weniger differiren.

1) Das Nähere hierüber findet man, mit Hinweisung auf Petruschefsky's in den *Bulletins de St. Petersburg* (1853 und 1857) mitgetheilten Untersuchungen, in Wiedemann's »Galvanismus usw.« Bd. I, S. 273.

2) Zu diesem Zwecke wurde jedesmal die Leitung r und die compensirende Kette ausgeschaltet, so, dafs dann $R + \gamma$ als Schliefsungsbogen der untersuchten Kette diente und die durch entsprechende Aenderung von R erzielten Stromintensitäten sofort mit der in der Leitung γ befindlichen Tangentenbussole gemessen werden konnten. Dieselbe Anordnung diente auch bei Anwendung der Ohm'schen Methode.

V.

Ein Daniell'sches Element compensirt wie oben.

$$\gamma = 0{,}558;\ r = 0{,}522.$$

Bei successiver Vergröfserung des Widerstandes R (α) ergeben sich für φ und ω die mit Klammern bezeichneten zusammengehörigen Werthe

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}76^0\ 50'\\ 0\end{matrix}\right. ;\ \left\{\begin{matrix}75^0\ 30'\\ 20^0\end{matrix}\right. ;\ \left\{\begin{matrix}72^0\ 55'\\ 40^0\end{matrix}\right. ;$$

also für $\frac{C_0 - C}{B}$ der Reihe nach die Werthe

$$\frac{C_0 - C}{B} = \left\{\begin{matrix}4{,}045\\ 4{,}029\\ 4{,}030\end{matrix}\right. ;\ \beta = \left\{\begin{matrix}2{,}257\\ 2{,}248\\ 2{,}249\end{matrix}\right. ;\ u = \left\{\begin{matrix}1{,}735\\ 1{,}726\\ 1{,}727.\end{matrix}\right.$$

Dieselbe Kette wurde hierauf nach der Wheatstone'schen Methode untersucht [1]) und es wurden beobachtet:

	die Stromstärken	bei den Schliefsungswiderständen
1.	1,000	0,790
2.	0,500	3,217
3.	0,250	7,889;

demnach ergab sich

aus den Beobachtungen	1 und 2 der Kettenwiderstand	1,637
» » »	1 und 3 » »	1,576
» » »	2 und 3 » »	1,455.

Man hat demnach für den gesuchten Widerstand

	nach der neuen Methode:	nach der Wheatstone'schen [2]) Methode:
$u =$	1,735	1,637
	1,726	1,576
	1,727	1,445
Mittel	1,729	1,556

1) Das zu diesem Behufe getroffene Arrangement wurde bereits oben beschrieben. Die eingeschalteten Widerstände wurden mittelst des Rheostaten so regulirt, dafs die Tangentenbussole der Reihe nach die den angeführten Stromstärken entsprechenden Ablenkungen zeigte.

2) Dieses Wheatstone'sche Verfahren hat gegenüber dem Ohm'schen den beachtenswerthen Nachtheil, dafs das Einstellen auf bestimmte Stromintensitäten durch entsprechende Abgleichung der Widerstände mehr Zeit erfordert, als das Ablesen der Stromstärken, welche nach und nach durch beliebige Widerstandsänderungen herbeigeführt werden. — Dieser

VI.

Ein Daniell'sches Element, compensirt wie oben.

$$\gamma = 0{,}558;\; r = 5{,}522$$

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}77^0\,6'\\ 0\end{matrix}\right. ; \left\{\begin{matrix}73^0\,30'\\ 15^0\end{matrix}\right. ; \left\{\begin{matrix}71^0\,36'\\ 20^0\end{matrix}\right.$$

$$\frac{C_0 - C_1}{B_1} = \left\{\begin{matrix}1{,}364\\ 1{,}348\end{matrix}\right. ; \beta = \left\{\begin{matrix}7{,}613\\ 7{,}524\end{matrix}\right. ; u = \left\{\begin{matrix}2{,}091\\ 2{,}002\end{matrix}\right.$$

Bei der Untersuchung desselben Elementes nach der Wheatstone'schen Methode wurden beobachtet:

	die Stromstärken	bei den Widerständen
1.	1,000	0,748
2.	0,500	3,189
3.	0,250	8,033.

Sonach erhält man

aus den Beobachtungen 1 und 2 den Kettenwiderstand 1,693
» » « 1 und 3 » » 1,680.

Man hat also für den gesuchten Widerstand

nach der neuen Methode:	nach der Wheatstone'schen
$u = \left\{\begin{matrix}2{,}091\\ 2{,}002\end{matrix}\right.$	1,693 1,680
Mittel 2,031	1,686.

Zahlen, welche ebenfalls zeigen, dafs der Widerstand der *compensirten* (Daniell'schen) Kette ein Maximum ist, von welchem er sich nach Ueberschreitung der Compensation bei zunehmender Stromintensität immer weiter entfernt. — Diefs gilt natürlich ebensowohl für den Strom der (activen)

Zeitverlust beeinträchtigt die Genauigkeit der Messungen um so mehr, je veränderlicher die untersuchte Kette ist, und macht das Wheatstone'sche Verfahren für inconstante Ketten geradezu unbrauchbar. Dagegen liefert es bei constanten Ketten in der Regel wohl besser übereinstimmende Werthe, als die hier angeführten, insbesondere wenn die in Anwendung gebrachten Stromstärken nicht so weit auseinander liegen.

Was diese (dritte) Wheatstone'sche Methode vor der Ohm'schen voraus hat, ist lediglich die gröfsere Einfachheit der Formel.

Von einem besonders für sehr veränderliche Ketten empfehlenswerthen Verfahren bei Anwendung der Ohm'schen Methode wird später die Rede seyn.

Kette selbst, als auch, wenn die Kette — sobald die Compensation im entgegengesetzten Sinne überschritten — passiv, d. h. im negativen Sinne von einem Strome durchsetzt wird. — Uebrigens habe ich beobachtet — und diefs nicht nur an veränderlichen, sondern auch an constanten Ketten — *dafs die Zahlen für den gesuchten Kettenwiderstand weniger übereinstimmen, wenn die Kette nach Ueberschreitung der Compensation im passiven Zustande untersucht wird.* — Belege dafür enthält die Anmerkung [1]). Es ist daher beim Gebrauche dieser Methode vortheilhaft, nur positive Werthe von B in Anwendung zu bringen, was auch bei den nachfolgenden Versuchsreihen durchweg geschehen ist.

Die Widerstände der in den vorstehenden Versuchen angewendeten Daniell'schen Ketten variirten innerhalb der Grenzen 1,7 und 4,0, eine Verschiedenheit, welche vornehmlich in der ungleichen Beschaffenheit der benutzten Thonzellen begründet ist, deren Widerstand nicht nur von ihren Dimensionen und ihrer Dichte abhängt, sondern auch von mancherlei Nebenumständen beim Auslaugen, Trocknen usw. beeinflufst wird. — Die bei den bisher angeführten Versuchen benutzten Diaphragmen waren sämmtlich von

1) Die in der Versuchsreihe V erwähnte Kette gab bei successiver Verminderung des Widerstandes R nach der Compensation

$$\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\Big\} = \begin{cases}67^\circ\ 50'\\ 0\end{cases};\ \begin{cases}78^\circ\ 0\\ -20^\circ\end{cases};\ \begin{cases}79^\circ\ 15'\\ -40^\circ\end{cases};\ \begin{cases}80^\circ\ 30'\\ -50^\circ\end{cases}$$

$$\frac{C_0 - C}{B} = \begin{cases}4,262\\ 3,918\\ 4,489\end{cases};\ \beta = \begin{cases}2,378\\ 2,186\\ 2,505\end{cases};\ u = \begin{cases}1,856\\ 1,664\\ 1,983\end{cases}$$

während die Untersuchung derselben Kette im activen Zustande die unter V angeführten viel besser übereinstimmenden Widerstandswerthe

1,735, 1,726 und 1,727

ergeben hatte. — Die in der Versuchsreihe VI erwähnte Kette gab bei gleicher Behandlung

$$\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\Big\} = \begin{cases}77^\circ\ 6'\\ 0\end{cases};\ \begin{cases}79^\circ\ 20'\\ -15^\circ\end{cases};\ \begin{cases}80^\circ\ 6'\\ -20^\circ\end{cases};\ \frac{C_0 - C}{B} = \begin{cases}1,299\\ 1,348\end{cases};\ \beta = \begin{cases}7,250\\ 7,529\end{cases},$$

also, wegen $r = 5,522$, $u = \begin{cases}1,728\\ 2,002\end{cases}$, während die Anwendung positiver Ströme (B) die besser übereinstimmenden Zahlen

2,091 und 2,002

geliefert hatte.

einer dichteren Sorte, — und ich will daher, bevor ich auf die Versuche mit inconstanten Ketten übergehe, auch noch einen Versuch mit einer Daniell'schen Kette von sehr geringem Widerstande beifügen, um die Erprobung des neuen Meſsverfahrens in gröſserer Ausdehnung nachzuweisen.

VII.

Eine Daniell'sche Kette mit einem Diaphragma von sehr geringem Widerstande wurde durch eine Kohlenzinkkette compensirt.

$$\gamma = 1{,}000;\ r = 0{,}529$$

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \begin{cases}68^0\,15'\\ 0\end{cases};\ \begin{cases}67^0\,30'\\ 20^0\end{cases};\ \begin{cases}67^0\,0'\\ 30^0\end{cases}$$

$$\frac{C_0 - C}{B} = \begin{cases}0{,}915\\ 0{,}902\end{cases};\ \beta = \begin{cases}0{,}915\\ 0{,}902\end{cases};\ u = \begin{cases}0{,}387\\ 0{,}373\end{cases}$$

Dieselbe Kette, nach der Ohm'schen Methode [1]) untersucht, ergab:

bei den Widerständen	1	2	3
die Ablenkungen an der Tangentenbussole	$62^0\,28'$;	$47^0\,40'$;	$37^0\,25'$.

Man findet daher aus (1,2) $u = 0{,}338$
und aus (2,3) $u = 0{,}300$;

es ergab sich also

nach der neuen Methode:	nach der Ohm'schen Methode:
$u = 0{,}387$	0,338
$ 0{,}373$	0,300

wobei sich auch wieder die durch gröſsere Stromstärken bedingte Verminderung des Widerstandes zu erkennen gibt.

Uebrigens habe ich bereits oben erwähnt, daſs diese Widerstandsabnahme bei zunehmender Stromintensität, wie sie schon früher bei gewissen inconstanten Ketten wahrgenommen und durch die angeführten Versuche auch bei der

1) Bei der Messung nach der Ohm'schen Methode diente dieselbe Anordnung, wie sie oben bezüglich der Wheatstone'schen beschrieben wurde. Die angegebenen Ablenkungen beziehen sich daher auf dieselbe Tangentenbussole.

Daniell'schen Kette nachgewiesen wurde, keineswegs allen Hydroketten eigen ist, wie sich gelegentlich aus einigen der nachstehend mitgetheilten Versuche ergeben wird. — Ich habe nämlich, um die Anwendbarkeit meiner Methode auch an inconstanten Ketten (mit Einer Flüssigkeit) zu erproben, einige Widerstandsmessungen an Kupferzinkketten vorgenommen, bei welchen in beiden durch das Diaphragma getrennten Zellen verdünnte Schwefelsäure als Ladungsflüssigkeit diente [1]).

Bei diesen Ketten zeigte sich nun ohne Ausnahme und ganz unzweifelhaft eine Zunahme des Widerstandes bei wachsenden Stromintensitäten, also ein im Vergleiche mit der Daniell'schen Kette ganz entgegengesetztes Verhalten. — Die mehrfach erwähnte Aenderung des Widerstandes bei der letzteren kann nicht befremden, in Anbetracht des Umstandes, dafs der Uebergangswiderstand — wie Wiedemann (»Galvanismus« Bd. I, S. 430) bemerkt — »in einzelnen Fällen sogar negativ seyn kann, wenn nämlich die durch die Elektrolyse ausgeschiedenen Stoffe besser leiten als der Elektrolyt«, — wie es denn die Wahl und Anordnung der Ladungsflüssigkeiten in der Daniell'schen Kette in der That bedingt.

Anders verhält es sich offenbar bei der früher beschriebenen, mit einem Diaphragma versehenen Kupferzinkkette in verdünnter Schwefelsäure, bei welcher sich Wasserstoff an der Kupferplatte ausscheidet, während die elektrolytische Ueberführung von Zink an dieselbe durch die Thonzelle

1) Das Diaphragma war dabei eigentlich nur beibehalten worden, um die Berührung zwischen dem Kupfer- und Zinkcylinder innerhalb der Flüssigkeit zu verhindern, was sonst durch eine andere Einrichtung der Kette hätte bewerkstelligt werden müssen. — Nebenbei wurde in dieser Weise allerdings auch die elektrolytische Ueberführung von Zink an die Kupferplatte verhindert, und somit eine von den Ursachen der Wirkungsabnahme inconstanter Ketten beseitigt, wefshalb sich dann auch die so construirten Ketten beständiger zeigten, als nach Entfernung des Diaphragma. Uebrigens habe ich nicht unterlassen, mein Verfahren auch an Ketten mit einer Flüssigkeit *ohne* Diaphragma zu erproben und die bezüglichen Resultate ebenfalls in diese Abhandlung aufzunehmen.

verhindert wird. Bei solcher Anordnung mufs die Zunahme des Stromes offenbar eine Vergröfserung des Uebergangswiderstandes zur Folge haben.

Wird hingegen das Diaphragma entfernt, so wird zwar die Ausscheidung von Wasserstoff an der Kupferplatte fortdauern, aber auch die elektrolytische Ueberführung von Zink an die Kupferplatte eintreten, wodurch wieder eine Verminderung des Uebergangswiderstandes herbeigeführt wird, die man, wie gesagt, in der Abnahme des Kettenwiderstandes bei wachsender Stromstärke schon längst beobachtet hat und die auch in meinen Versuchen ihre Bestätigung finden wird.

Nach dem Gesagten läfst sich erwarten, *dafs — so lange das Diaphragma in der mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Kupferzinkkette beibehalten wird — die Ohm'sche Methode regelmäfsig gröfsere, nach Entfernung des Diaphragma aber kleinere Werthe für den Kettenwiderstand ergeben müsse, als die Anwendung meines mit viel geringeren Stromintensitäten auszuführenden Verfahrens.* — Die gemachten Beobachtungen stimmen damit überein, — und ich glaubte diese Einzelnheiten, bevor ich in der Mittheilung meiner Untersuchung weiter gehe, erörtern zu sollen, damit die darauf beruhenden Beziehungen zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden von vornherein aufgeklärt sind, ohne erst immer von Fall zu Fall einer den Zusammenhang der Darstellung unterbrechenden Erläuterung zu bedürfen.

Nachdem die bereits angeführten Versuche mit Daniell'schen Ketten die practische Brauchbarkeit meiner Methode aufser Zweifel gestellt haben, will ich auf die Widerstandsmessungen inconstanter Ketten übergehen, welche nach diesem Verfahren ausgeführt wurden.

Die dabei benutzten Ketten waren Kupferzinkketten mit verdünnter Schwefelsäure als Ladungsflüssigkeit, und zwar entweder in der bereits beschriebenen Weise mit einem porösen Diaphragma versehen, oder ohne Diaphragma.

Mit Ketten von beiderlei Art wurden auch nach der Ohm'schen Methode Widerstandsmessungen ausgeführt, theils um den Grad der Uebereinstimmung wiederholter Messungen für jede der beiden Methoden zu erproben, — theils aber auch, um zugleich in Erfahrung zu bringen, wie es sich mit den Veränderungen des Kettenwiderstandes bei sehr verschiedenen Stromintensitäten (wie sie eben bei beiden Methoden in Anwendung kommen) verhält.

In ersterer Hinsicht bemerke ich, dafs ich die Ohm'sche Methode, um mit derselben bei den untersuchten inconstanten Ketten, trotz ihrer Veränderlichkeit, doch einigermaafsen brauchbare Resultate erzielen zu können, in der beigefügten Anmerkung [1]) beschriebenen Weise ausgeführt habe. In

1) Man ordnet vor Allem den Versuch so an, dafs der Schliefsungswiderstand der untersuchten Kette nach Belieben augenblicklich und ohne Unterbrechung des Schliefsungskreises um einen bekannten Betrag abgeändert werden kann, was sich z. B. mit Hülfe einer Siemens'schen Widerstandsskale mit Stöpselschaltern sehr leicht bewerkstelligen läfst, oder auch mittelst einer passenden Auswahl von Widerstandsrollen, die man sich selbst mit Quecksilbernäpfen und dicken Drahtbügeln in ähnlicher Weise zur beliebigen augenblicklichen Ein- und Ausschaltung vorbereiten kann — Ist diefs geschehen, und hat man auch alle constanten Widerstände des Schliefsungsbogens ermittelt, so beobachtet man in gleichen, aber möglichst kurzen Zeitintervallen die Stromstärken, welche sich ergeben, wenn man successive die Widerstände l_1, l_2, ... l_{n-1}, l_n und dann wieder, in umgekehrter Ordnung, $l_n{}^{-1}$ ...... l_2 und l_1 anwendet. Hat man nun z. B. in dieser Weise die den Widerständen

$$l_1,\ l_2,\ l_3,\ l_2,\ l_1$$

entsprechenden Ablenkungen der Tangentenbussole

$$\alpha,\ \beta,\ \gamma,\ \beta',\ \alpha'$$

abgelesen, so wird man die Mittelwerthe $\frac{\beta+\beta'}{2}$ und $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$ als die den Widerständen l_2 und l_1 entsprechenden Ablenkungen annehmen. Hat man — wie vorausgesetzt — jene Ablesungen in gleichen aber möglichst kleinen Zeitintervallen gemacht, und darf man annehmen, dafs innerhalb dieser Gränzen die Veränderungen in der Kette einen der Zeit nahezu proportionalen Verlauf genommen haben, so wird man die aus den Ablenkungswerthen $\frac{\alpha+\alpha'}{2}$, $\frac{\beta+\beta'}{2}$ und γ berechneten Stromstärken s_1, s_2 und s_3 als diejenigen betrachten können, welche beziehungsweise den Widerständen l_1, l_2 und l_3 *gleichzeitig*, d. h. auf einen und denselben Augenblick bezogen, entsprochen hätten. Die hieraus berechneten je drei, oder allgemein $\frac{n(n-1)}{1.2}$ Werthe für die elektromotorische Kraft letzterer Hinsicht, sind die Gründe bereits erörtert worden, welche bei den besagten Kupferzinkketten *mit* einem Diaphragma eine *Zunahme*, bei jenen *ohne* Diaphragma hingegen eine *Abnahme* des Widerstandes bei wachsender Stromintensität erwarten lassen, — und somit auch das in den nachstehenden Versuchen bestätigte Ergebnifs, dafs bei jenen Ketten die Ohm'sche, bei diesen hingegen die neue Methode gröfsere Widerstandswerthe herausstellen mufs.

VIII.

Eine mit verdünnter Schwefelsäure geladene Kupferzinkkette mit Diaphragma wurde durch eine Kohlenzinkkette compensirt.

$$\gamma = 2;\; r = 0{,}529$$

$$\begin{matrix}\varphi \\ \omega\end{matrix}\Big\} = \Big\{\begin{matrix}49^0\,55' \\ 0\end{matrix};\;\Big\{\begin{matrix}49^0\,25' \\ 10^0\end{matrix};\;\Big\{\begin{matrix}48^0\,50' \\ 20^0\end{matrix};\;\Big\{\begin{matrix}48^0\,10' \\ 30^0\end{matrix}$$

$$\frac{C_0 - C}{B} = \left\{\begin{matrix}0{,}442 \\ 0{,}442 \\ 0{,}426\end{matrix}\right.;\; \beta = \left\{\begin{matrix}0{,}884 \\ 0{,}884 \\ 0{,}851\end{matrix}\right.;\; u = \left\{\begin{matrix}0{,}355 \\ 0{,}355 \\ 0{,}322\end{matrix}\right.$$

IX.

Als hierauf γ vom Betrage 2 auf den Betrag 0,984 reducirt wurde, ergab sich

$$\begin{matrix}\varphi \\ \omega\end{matrix}\Big\} = \Big\{\begin{matrix}67^0\,8' \\ 0\end{matrix};\;\Big\{\begin{matrix}66^0\,20' \\ 20^0\end{matrix};\;\Big\{\begin{matrix}65^0\,50' \\ 30^0\end{matrix}$$

somit $\frac{C_0 - C}{B} = \Big\{\begin{matrix}0{,}887 \\ 0{,}854\end{matrix};\; \beta = \Big\{\begin{matrix}0{,}873 \\ 0{,}840\end{matrix};\; u = \Big\{\begin{matrix}0{,}345 \\ 0{,}311.\end{matrix}$

Ungeachtet der Veränderlichkeit der Kette und der grofsen Verschiedenheit des Widerstandes γ bei beiden Versuchsreihen, stimmen die fünf Werthe für u

$$0{,}355,\; 0{,}355,\; 0{,}322,\; 0{,}345,\; 0{,}311$$

doch ziemlich gut überein.

und für den inneren Widerstand entsprechen also unter dieser Voraussetzung dem Zustande der Kette zur Zeit der Ablesung der Ablenkung γ, — und ich fand unter denselben — bei Anwendung des beschriebenen Verfahrens — auch bei inconstanten Ketten oft eine unerwartet befriedigende Uebereinstimmung.

Dieselbe Kette nach der Ohm'schen Methode untersucht, ergab folgende Resultate:

Widerstände: 1, 2, 3, 2, 1

Ablenkungen: 50° 0′, 39° 40′, 32° 10′, 39° 30′, 45° 45′.

Es entsprachen sonach

den Widerständen: 1, 2, 3

die mittleren Ablenkungen: 47° 52′, 39° 35′, 32° 10′.

Man erhält sonach für den Kettenwiderstand

aus (1, 2) $u = 1,967$

» (1, 3) $u = 1,640$

» (2, 3) $u = 1,179$.

Während die gröfste Abweichung unter den Resultaten meiner Methode in jeder der beiden mit dieser Kette ausgeführten Versuchsreihen 10 Proc. beträgt und die Mittelwerthe beider Versuchsreihen um weniger als 5 Proc. differiren, beläuft sich jene unter den Resultaten der Ohm'schen Methode auf nahezu 67 Proc. und würde noch viel gröfser ausgefallen seyn, wenn für jeden Schliefsungswiderstand nur je Eine Messung der Stromintensität gemacht worden wäre.

Uebrigens zeigt die Vergleichung der nach beiden Methoden gefundenen Widerstandswerthe die bedeutende Vermehrung des Uebergangswiderstandes durch Anwendung gröfserer Stromintensitäten; eine bereits oben erörterte Erscheinung. Auch wenn man die einzelnen Werthe, welche die Ohm'sche Methode ergab, untereinander vergleicht, findet man diese Beziehung zwischen Stromintensität und Kettenwiderstand bestätigt.

X.

Nach Erneuerung der Flüssigkeit in derselben Kette wurden die Messungen wiederholt und ergaben folgende Resultate:

$$\gamma = 1,067\,;\; r = 0,529$$

$$\begin{matrix}\varphi \\ \omega\end{matrix}\Big\} = \Big\{\begin{matrix}65^\circ\,37' \\ 0\end{matrix}\;;\;\Big\{\begin{matrix}64^\circ\,40' \\ 20^\circ\end{matrix}\;;\;\Big\{\begin{matrix}64^\circ\,0' \\ 30^\circ\end{matrix}$$

$$\frac{C_0 - C}{B} = \Big\{\begin{matrix}0,931 \\ 0,933\end{matrix}\;;\; \beta = \Big\{\begin{matrix}0,993 \\ 0,996\end{matrix}\;;\; u = \Big\{\begin{matrix}0,464 \\ 0,467\end{matrix}$$

Bei der diesen Messungen vorausgegangenen Untersuchung nach der Ohm'schen Methode wurden beobachtet:

bei den Widerständen:	1,	2,	3,	2,	1
die Ablenkungen:	45° 30′,	35° 0′,	28° 45′,	34° 30′,	41° 0′
also im Mittel:	43° 15′,	34° 45′,	28° 45′,	—,	—

Demnach erhält man für den Kettenwiderstand

aus (1, 2) $u = 1{,}809$

» (2, 3) $u = 1{,}781$ [1].

Es ergab sich demnach

	nach der neuen Methode	nach der Ohm'schen Methode
$u =$	0,464	1,809
	0,467	1,781.

Man bemerkt auch in diesen Ergebnissen — neben der guten Uebereinstimmung der nach der neuen Methode gefundenen Werthe — die Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke in dem bereits mehrfach erwähnten Sinne.

XI.

Um die beiden Methoden auch bei der Messung gröfserer Widerstände — bei übrigens gleicher Beschaffenheit der Kette — zu vergleichen, wurde die Thonzelle des bei den Versuchen VIII, IX und X benutzten Elementes gegen eine viel dichtere ausgewechselt, wodurch der Kettenwiderstand sehr bedeutend vermehrt werden mufste. — Die Compensation geschah wie oben.

$$\gamma = 1\,;\; r = 0{,}529$$

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}69^0\,50'\\ 0\end{matrix}\right.;\ \left\{\begin{matrix}68^0\,50'\\ 10^0\,40'\end{matrix}\right.;\ \left\{\begin{matrix}67^0\,40'\\ 21^0\,30'\end{matrix}\right.;\ \left\{\begin{matrix}66^0\,5'\\ 30^0\end{matrix}\right.$$

$$\frac{C_0 - C}{B} = \left\{\begin{matrix}2{,}785\\ 2{,}639\\ 2{,}801\end{matrix}\right.;\ \beta = \left\{\begin{matrix}2{,}785\\ 2{,}639\\ 2{,}801\end{matrix}\right.;\ u = \left\{\begin{matrix}2{,}256\\ 2{,}110\\ 2{,}272.\end{matrix}\right.$$

Die diesen Versuchen vorausgegangene Untersuchung nach der Ohm'schen Methode hatte ergeben:

bei den Widerständen:	1,	2,	3,	2,	1
die Ablenkungen:	29° 35′,	23° 47′,	20° 0′,	23° 0′,	26° 15
also im Mittel:	27° 55′,	23° 23′,	20° 0,,	—,	—

1) Aus (1, 3) ergäbe sich $u = 1{,}798$.

Man erhält daher für den Kettenwiderstand

aus (1, 2) $u = 3,437$
» (1, 3) $u = 3,388$
» (2, 3) $u = 3,319$.

Die durch die Abhängigkeit des Uebergangswiderstandes von der Stromintensität bedingte Differenz der nach beiden Methoden gefundenen Widerstandswerthe (Differenz der Mittel = 1,169) hat auch hier — ungeachtet des so bedeutend veränderten Diaphragmen-Widerstandes — einen Betrag, wie er, im Einklang mit den über jene Abhängigkeit ausgesprochenen Annahmen und Erklärungen, und nach den in den früheren Versuchen vorgekommenen Beispielen, nach Maafsgabe der in Anwendung gebrachten Stromstärken zu erwarten war.

Endlich habe ich die Anwendbarkeit meiner Methode auch noch bei mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Kupferzinkketten *ohne* Diaphragma [1]) erprobt, wie die nachstehende Versuchsreihe zeigt.

1) Eine solche Kette, auf welche sich die folgende Versuchsreihe bezieht, war aus der bei den Versuchen VIII und XI benutzten durch Entfernung der Thonzelle hergestellt worden, wobei die Berührung des Kupfer- und Zinkcylinders durch eingefügte Holzklötzchen verhindert wurde. Die ziemlich regelmäfsige Gestalt des Zwischenraumes zwischen beiden Metallcylindern gestattete hier zugleich eine annähernde Berechnung des Widerstandes bei gegebener Ladungsflüssigkeit nach der bekannten Formel $W = \frac{\sigma}{2\pi h} \log \text{nat} \frac{R}{r}$, wobei h die Höhe, R und r den äufseren und inneren Halbmesser des flüssigen Hohlcylinders und σ den Widerstand eines Flüssigkeitsprisma von der Länge = 1 und vom Querschnitte = 1 vorstellt. — Für die bei diesem Versuche benutzte verdünnte Schwefelsäure (15 Raumtheile Wasser und 1 Raumtheil englischer Schwefelsäure) von der Dichte 1,07 hatte sich nach der Horsford'schen Methode aus fünf sehr gut übereinstimmenden Messungen ergeben $\sigma = 2,683$. Bei dem benutzten Elemente waren ferner $h = 12$, $r = 2,2$ und $R = 3,2$ Centimeter. Hieraus ergiebt sich $W = 0,013$. Vergleicht man damit die Ergebnisse der Versuchsreihe XII, nach welcher der Widerstand zuletzt noch 0,03 betrug, so erhellt, dafs der Gesammtwiderstand dieser Kette gröfstentheils auf Rechnung des Uebergangswiderstandes kommt, indem der berechnete Widerstand der Ladungsflüssigkeit weniger als die Hälfte von dem zuletzt beobachteten Kettenwiderstande be-

XII.

An der soeben beschriebenen Kette wurden wiederholt Widerstandsmessungen nach beiden Methoden vorgenommen, wobei sich eine fortwährende Verminderung des Widerstandes zeigte, während zugleich eine ziemlich rasche Abnahme der elektromotorischen Kraft beobachtet wurde. — Dabei fielen die nach meiner Methode gefundenen Widerstandswerthe stets gröfser aus als jene, welche die Ohm'sche Methode ergab, und unter diesen letzteren entsprachen auch wieder den kleineren Stromintensitäten die gröfseren Kettenwiderstände.

Nach kurzer Zeit erwies sich die Ohm'sche Methode, welche schon bei den ersten Messungen sehr voneinander abweichende Resultate lieferte, gar nicht mehr anwendbar während die nach dem neuen Verfahren ausgeführten Messungen noch immer eine befriedigende Uebereinstimmung zeigten, wie aus nachstehenden Daten hervorgeht.

Die Untersuchung nach der Ohm'schen Methode ergab, nachdem die Wirksamkeit der Kette bereits sehr abgenommen hatte

bei den Widerständen:	1,	2,	3,	2,	1
die Ablenkungen:	13° 30′,	6° 30′,	3° 30′,	5° 0′,	10° 0′
also im Mittel:	11° 45′,	5° 45′,	3° 30′,	— ,	—

Rechnet man hieraus die Kettenwiderstände, so erhält man durchaus negative Werthe, die auch numerisch weit auseinander liegen (zwischen 0,06 und 0,45).

Die Untersuchung nach meiner Methode ergab folgende Resultate, wobei zu bemerken ist, dafs — analog dem beschriebenen Verfahren bei der Ohm'schen Methode — für jedes ω zwei Ablesungen von φ gemacht worden sind. Es wurde nämlich der Widerstand R stets so regulirt, dafs die B successive den Ablenkungen $\omega = 0$, 10°, 20°, 30° und sodann wieder 20°, 10° und 0 entsprachen,

trägt, und einen noch viel kleineren Bruchtheil des anfangs beobachteten Kettenwiderstandes ausmacht, der — beiläufig bemerkt — gröfser als 1 war.

$$\gamma = 0{,}067;\; r = 0{,}529$$

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}67^0\,30'\\ 0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}63^0\,40'\\ 10^0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}57^0\,10'\\ 20^0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}44^0\,45'\\ 30^0\end{matrix}\right.;$$

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}56^0\,55'\\ 20^0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}63^0\,5'\\ 10^0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}67^0\,0'\\ 0\end{matrix}\right.$$

also im Mittel:

$$\left.\begin{matrix}\varphi\\ \omega\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}67^0\,15'\\ 0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}63^0\,22'\\ 10^0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}57^0\,2'\\ 20^0\end{matrix}\right.;\; \left\{\begin{matrix}44^0\,45'\\ 30^0\end{matrix}\right.;$$

Hieraus folgt:

$$\frac{C_0 - C}{B} = \left\{\begin{matrix}8{,}286\\ 8{,}340\\ 8{,}356\end{matrix}\right.;\quad \beta = \left\{\begin{matrix}0{,}555\\ 0{,}560\\ 0{,}559\end{matrix}\right.;\quad u = \left\{\begin{matrix}0{,}027\\ 0{,}031\\ 0{,}030.\end{matrix}\right.$$

In Fällen dieser Art, wo die Ohm'sche Methode nicht mehr angewendet werden kann und der Kettenwiderstand daher eine der Messung nach den bisherigen Methoden unzugängliche Gröfse ist, bietet das neue Verfahren den einzigen Weg dar, um über den Widerstand der untersuchten Kette Aufschlufs zu gewinnen. *Der wichtigste Vortheil aber, welchen die neue Methode an die Hand giebt, dürfte wohl darin gelegen seyn, dafs sie die Abhängigkeit des Kettenwiderstandes innerhalb sehr weiter Grenzen, bis zum Nullwerden der Stromintensität, zu ermitteln gestattet* und dadurch ein neues Feld von Untersuchungen im Gebiete der Theorie der Ketten eröffnet.

Um die Verschiedenheit der Umstände, unter welchen diese Methode erprobt worden ist, übersichtlich vor Augen zu legen, lasse ich eine Tabelle folgen, in welcher die bei den einzelnen Versuchsreihen in Anwendung gebrachten Widerstände r und γ verzeichnet sind, so wie die Beschaffenheit der untersuchten Ketten und ihre nach beiden Methoden ermittelten Widerstände, mit Anführung des gröfsten und kleinsten Werthes. Die Rubrik u_1 enthält die nach der neuen und die Rubrik u_2 die nach der Ohm'schen Methode gefundenen Kettenwiderstände. Endlich ist noch eine Rubrik beigefügt, welche für jede Versuchsreihe das mittlere Verhältnifs $\frac{C_0 - C}{B}$ der Stromdifferenzen enthält.

No.	Kette	r	γ	u_1		u_2		$\frac{C_0 - C}{B}$
I	Daniell	0,551	29,79	3,646	3,652	2,322		0,141
II	Daniell	5,229	3,185	4,062	4,121	3,055		2,926
III	Daniell	5,229	3,185	3,619	3,712	—		2,793
IV	Daniell	1,136	1,760	3,417	3,465	—		2,601
V	Daniell	0,522	0,558	1,726	1,735	1,455 ;	1,637	4,035
VI	Daniell	5,222	0,558	2,002	2,091	1,680 ;	1,693	1,356
VII	Daniell	0,529	1,000	0,373	0,387	0,300 ;	0,338	0,908
VIII	Inconstante Kette mit Diaphragma	0,529	2,000	0,322	0,355	1,179 ;	1,967	0,437
IX	Inconstante Kette mit Diaphragma	0,529	0,984	0,311	0,315	—		0,870
X	Inconstante Kette mit Diaphragma	0,529	1,067	0,464	0,467	1,781 ;	1,809	0,932
XI	Inconstante Kette mit Diaphragma	0,529	1,000	2,110	2,272	3,319 ;	3,437	2,741
XII	Inconstante Kette mit Diaphragma	0,529	0,067	0,027	0,031	—		8,327

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dafs die Grenzen, innerhalb welcher die Gröfsen r, γ und $\frac{C_0 - C}{B}$ variirten, beziehungsweise wie 1 : 10, 1 : 445 und 1 : 59 sich verhielten, dafs aber — ungeachtet der so vielfach veränderten und mitunter sehr ungünstigen Anordnung dieser Verhältnisse — das beschriebene Verfahren doch gut übereinstimmende Resultate lieferte.

Es ist bereits mehrfach erwähnt worden, dafs die Vortheile dieses Verfahrens auf der Möglichkeit beruhen, viel kleinere Stromintensitäten in Anwendung zu bringen, als bei der Ohm'schen Methode ausführbar ist, weil bei dieser zur Erzielung ebenso kleiner Stromstärken Widerstände von solcher Gröfse erforderlich wären, dafs eine Bestimmung des verhältnifsmäfsig kleinen Kettenwiderstandes ganz unsicher und illusorisch würde.

Bezeichnet z. B. s die verlangte kleine Stromintensität' welche bei der Ohm'schen Methode durch einen hinreichend grofsen Gesammtwiderstand w erzielt werden müfste, und h die Aenderung dieser Stromintensität in Folge einer Aenderung des Widerstandes im Betrage $\frac{1}{n}$, so erhält man, wegen $s - h = \frac{e}{w + \frac{1}{n}}$, $h = \frac{e}{w(1 + nw)} = \frac{s}{1 + nw}$, wofür man, da nw immer eine grofse Zahl seyn wird, ohne erheblichen Fehler auch $h = \frac{s}{nw}$ schreiben kann. — Aus den angeführten Versuchen geht nun hervor, dafs bei meiner Methode Stromintensitäten benutzt werden konnten, die an der besagten Sinusbussole eine Ablenkung von nur 5° bewirkten und auf chemisches Maafs bezogen, dem Betrage von nahe 0,1 entsprachen. Zur Erzeugung dieser Stromintensität, wenn man sie bei Anwendung der Ohm'schen Methode benutzen wollte, wäre für ein Daniell'sches Element ein Gesammtwiderstand von mindesten 100 Siemens-Einheiten erforderlich. — Wollte man ferner auch hier die Widerstandsmessung bis auf Hundertel-Einheiten ausdehnen, welche bei meinen Versuchen häufig noch mit Sicherheit bestimmt wurden, so hätte man nach obiger Formel $h = \frac{0{,}1}{100{,}100} = 0{,}00001$; — *man müfste also bei Anwendung der Ohm'schen Methode unter diesen Umständen noch eine Stromdifferenz von einem Hunderttausendtel der chemischen Einheit messen und daher im vorliegenden Falle an der erwähnten Sinusbussole noch einen Winkelunterschied von zwei Secunden ablesen können.* Ja, selbst bei Anwendung der fünffachen Stromintensität müfste, bei beabsichtigter gleicher Genauigkeit der Widerstandsmessung, noch eine Stromdifferenz von 0,00025 gemessen und eine Winkeldifferenz von 32 Secunden abgelesen werden können, — und selbst eine Widerstandsänderung von 0,1 Siemens-Einheit (also von etwa 3 Meter Stromdraht) würde auch in diesem Falle die Ablenkung noch nicht um ein Zehntel eines Grades ändern.

Zum Schlusse sey noch bemerkt, dafs die Uebereinstimmung der Resultate, welche für die Brauchbarkeit des untersuchten neuen Verfahrens spricht, um so mehr Gewicht hat, als die bei den angeführten Messungen (der Stromesänderungen) benutzten Instrumente eben nicht die besten waren. Mit Instrumenten von gröfserer Vollkommenheit wäre es leicht gewesen, jene Messungen mit einer Präcision auszuführen, welche die Vortheile der neuen Methode viel besser hätte hervortreten lassen. Doch darauf kam es zunächst nicht an, sondern nur zu zeigen, dafs diese Methode, welche im Vergleiche mit den bisherigen zwar nicht im Allgemeinen den Vorzug verdient, in gewissen speciellen Fällen aber durch keine andere ersetzt werden kann, überhaupt practisch ausführbar ist.