

# Beobachtungen an geschlossenen Clark'schen Normalelementen

**Theodor Wulf S. J.**

*Assistent am physikal. Institute der Universität Innsbruck.*

(Mit 6 Textfiguren.)

Aus dem physikalischen Institut der k. k. Universität in Innsbruck.

Untersuchungen an geschlossenen Elementen haben sich naturgemäss zu beziehen auf die Polarisation und den inneren Widerstand. Von den überaus zahlreichen Arbeiten über die Polarisation seien hier nur diejenigen von F. Richarz<sup>1</sup> und von F. Streintz<sup>2</sup> erwähnt, die nach langjährigen vergeblichen Bemühungen zu dem Resultat führten, dass eine genaue und sichere Bestimmung der Polarisation überhaupt ein Ding der Unmöglichkeit sei. Was dann den inneren Widerstand angeht, so bemerkte v. Waltenhofen<sup>3</sup> schon 1868, dass derselbe bei manchen Elementen mit wachsender Stromstärke abnehme. Uppenborn<sup>4</sup> machte 1891 genauere Messungen und fand besonders für Meidinger- und Leclanché-Elemente ganz bedeutende Abnahmen des inneren Widerstandes. Seine Angaben wurden neuerdings bestätigt und unter anderem auch auf Accumulatoren ausgedehnt von W. Greeff.<sup>5</sup> In England kamen

---

<sup>1</sup> Wiedem. Ann., 1880, Bd. 39, S. 67 ff. u. 201 ff.

<sup>2</sup> Diese Sitzungsberichte, 1895, II. a, Bd. 104.

<sup>3</sup> Poggendorff, Ann., 1868, Bd. 134.

<sup>4</sup> Elektrot. Zeitschrift, 1891, Heft 12, S. 157.

W. Greeff, Über den inneren Widerstand galv. Elem. und Zersetzungszellen. Inaug.-Diss., Marburg 1895.

H. S. Carhart<sup>1</sup> und P. Schoop<sup>2</sup> zu demselben Resultat. Am Clark'schen Normalelement wurden Untersuchungen der Polarisation nur wenige, des inneren Widerstandes, soweit mir bekannt, nur von v. Eittingshausen<sup>3</sup> und S. Skinner<sup>4</sup> vorgenommen. Dabei bediente sich Skinner noch so aussergewöhnlich grosser Elemente (Oberfläche der Zn-Elektrode  $14 \cdot 4$ ,  $29$  und  $95 \text{ cm}^2$ ), dass man nicht weiss, inwieweit seine Beobachtungen für die üblichen kleineren Formate zutreffen.

Auf Anregung von Herrn Prof. I. Klemenčič nahm ich deshalb einige weitere Beobachtungen an Clark'schen Elementen vor, indem ich denselben so starke Ströme entzog, wie sie in der Praxis natürlich nie vorkommen, und das Verhalten der Elemente während und nach der Stromlieferung untersuchte. Die Resultate seien gleich hier zusammengestellt.

1. Der innere Widerstand der gebrauchten Elemente (cylindrische Glasgefässe von  $2 \text{ cm}$  Durchmesser, Abstand der Elektroden  $3\text{--}4 \text{ cm}$ ) lag bei gewöhnlicher Zimmertemperatur je nach der Entfernung und Grösse der Elektroden (wirksame Oberfläche des Zn-Stabes  $2\text{--}3 \text{ cm}^2$ ) zwischen  $40$  und  $80 \text{ Ohm}$ .

2. Derselbe änderte sich mit der Temperatur sehr stark, so dass er, während diese von circa  $30^\circ$  auf  $5^\circ \text{ C}$ . fiel, sich nahezu verdreifachte.

3. Eine Verminderung des inneren Widerstandes mit der Stärke und Dauer des Stromes konnte nicht mit Sicherheit constatirt werden.

4. Polarisation war bei stärkeren Strömen von  $0\cdot005$  Ampère schon nach  $0\cdot01$  Sekunden wahrzunehmen. Sie stieg während der ersten  $10$  Minuten nur wenig, dann aber immer schneller.

5. Nach der Unterbrechung des Stromes schwand die Polarisation in einigen Minuten bis auf einen geringen Bruchtheil wieder. Auch wiederholter Kurzschluss durch nur  $50 \Omega$

<sup>1</sup> Electrician, 35. Bd., 1895, S. 19 ff.

Electrician, 1895. S. 187 ff.

<sup>3</sup> Zeitschrift für Elektrotechnik, Clark's Normalelement und Verwendung zur Galvanometer-Aichung. Wien 1884, 16. Heft.

<sup>4</sup> S. Skinner, Philos. Mag., Bd. 38, S. 271, ff.

äusseren Widerstand während einer Minute und länger verminderte die E. M. K. des offenen Elementes nicht dauernd.

6. Als ein Element 2 Stunden lang durch 200  $\Omega$  geschlossen wurde, wodurch seine E. M. K. fast auf die Hälfte der ursprünglichen herabgedrückt wurde, erlangte es dennoch seine frühere Stärke in 2 Minuten bis auf 0·1 $\frac{0}{0}$  wieder. Von jetzt an aber trat bei Stromschluss die Polarisation viel schneller und stärker auf.

### Die Beobachtungsmethode.

Die gewöhnlichen Methoden, den inneren Widerstand eines Elementes zu bestimmen, beruhen bekanntlich darauf, dass man in den Hauptkreis einen Strommesser einschaltet und zugleich an die Klemmen irgend einen Spannungsmesser, Potentialgalvanometer oder dergl. anlegt. Beim Clark'schen Element tritt jedoch so rasch Polarisation ein, dass alle derartigen Vorrichtungen viel zu langsam arbeiten. Die Methode von Kohlrausch mit Wechselstrom und Telephon in der Wheatstone'schen Brücke kann zwar angewendet werden, wenn man zwei Elemente durch Gegeneinanderschalten stromlos macht, will man aber den Widerstand während der Stromlieferung untersuchen, so versagt sie ebenfalls, weil das Aufsuchen eines Tonminimums viel zu viel Zeit erfordert. Hier kann nur eine solche Methode in Betracht kommen, welche die ganze Beobachtungszeit bis auf geringe Bruchtheile von Secunden abzukürzen gestattet, das ist die Condensatormethode.

Legt man an die Klemmen eines Elementes vom Potential  $E$  einen Condensator von grosser Capacität  $C$  und entladet dann den Condensator durch ein ballistisches Galvanometer, so erhält man einen Ausschlag  $\alpha$ , welcher  $E$  proportional ist

$$E = A\alpha, \quad (1)$$

wo bekanntlich

$$A = \frac{R}{C} \frac{T}{\pi} e^{\frac{\lambda}{\pi} \text{arc tang}} = \text{const.}$$

Ist dann  $w_i$  der innere Widerstand des Elementes und wird dasselbe durch den äusseren Widerstand  $w_a$  geschlossen und wieder der Condensator angelegt, so ist der Ausschlag  $\beta$  des Galvanometers jetzt in der Klemmspannung  $\Delta$  proportional

$$\Delta = E \frac{w_i}{w_i + w_a} = A\beta. \quad (2)$$

Aus 1) und 2) folgt

$$w_i = w_a \left( \frac{\alpha}{\beta} - 1 \right). \quad (3)$$

Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass keine Polarisation vorhanden war. Denn in Folge der Polarisation wird die Klemmspannung sinken und der Ausschlag  $\beta$  kleiner werden. Alsdann wird die Formel 3) nicht mehr den wahren inneren Widerstand, sondern nur einen äquivalenten liefern, der nämlich, wenn er vorhanden wäre, die Klemmspannung um den gleichen Betrag sinken lassen würde, als es jetzt der wahre Widerstand im Verein mit der Polarisation thut. Diesen Einfluss der Polarisation kann man angenähert berechnen, wenn man annimmt, dass  $w_i$  auch nach längerem Stromschluss noch den früheren Werth habe. Bezeichnet man dann die Polarisation mit  $P$ , so ist nun die Klemmspannung

$$\Delta_p = E \left( 1 - \frac{P}{E} \right) \frac{w_i}{w_i + w_a} = A\gamma. \quad (4)$$

Aus 2) und 4) folgt

$$P = E \frac{\beta - \gamma}{\beta} \quad (5)$$

In Wirklichkeit wird zwar immer etwas Polarisation vorhanden sein; man wird jedoch dem wahren Werth von  $\beta$  möglichst nahe kommen, wenn man entweder die Stromstärke sehr klein, also  $w_a$  sehr gross nimmt, oder aber, da das mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Messung nicht angeht, wenn man die Dauer der Stromlieferung so weit verkürzt, dass inzwischen die Polarisation einen merklichen Betrag noch nicht erlangen kann. Demnach hängt die Brauchbarkeit der angewandten Methode hauptsächlich von der Erfüllung folgender Bedingungen ab.

1. Die Ausschläge müssen unter denselben Umständen gleich und genau messbar sein. Das letztere ist leicht erfüllt, wenn die Schwingungsdauer des Galvanometers hinreichend gross ist. Sie war in diesem Falle gegen 16 Secunden. Um die

Zuverlässigkeit der Messung zu bestimmen, wurde der Condensator fünfmal je 2 Secunden lang mit einem Accumulator geladen; es erfolgten die Ausschläge:

369·6	Fehler: —0·1
369·75	+0·05
369·70	0·0
369·75	+0·05
369·65	—0·05
<hr/>	
Mittel: 369·70	

Die Differenz der äussersten Werthe erreichte nie den Betrag von 0·1%, was eine hinreichende Genauigkeit ist.

2. Da im Verlaufe der Untersuchungen die Dauer des Stromschlusses zu variiren ist, so darf der Ausschlag nicht von der Zeit, sondern eben nur von der Potentialdifferenz der Elektroden abhängen, mit anderen Worten, der Condensator muss frei sein von Rückstandsbildung. Die zwei gebrauchten Condensatoren waren Glimmercondensatoren von Edelmann in München. Sie hatten zusammen 2·2 Mikrofarad Capacität. Der eine war der nämliche, den ich schon bei einer früheren Untersuchung als fast rückstandsfrei gefunden hatte,<sup>1</sup> der andere war ihm vollkommen gleich. Beide standen schon seit Monaten mit Schalen von H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. unter luftdicht schliessenden Glasglocken, gleichwohl zeigte sich, wenn die Ladungsdauer von 0·4 Secunden auf 10 Secunden anwuchs, eine Zunahme der Ladungsmenge von 0·7%. Um diesen Fehler möglichst zu vermeiden, wurde zu jedem Werth  $\beta$  bei geschlossenem Strom das zugehörige  $\alpha$  ermittelt, indem der Condensator die gleiche Zeit mit dem offenen Element verbunden wurde.

3. Endlich bedarf man noch eines Apparates, um sehr kleine Zeiten sicher herstellen und messen zu können. Auch diese Bedingung war bei den vorliegenden Versuchen sehr vollkommen erfüllt, indem Herr Prof. Klemenčič wieder die Güte hatte, mir seinen Hiecke'schen Fallapparat zur Verfügung zu

Über Rückstandsbildung und Oscillationen bei verschiedenen Condensatoren. Diese Sitzungsber., 1896, S. 667 ff.

stellen. Bei diesem Apparat, der jedoch für den gegenwärtigen Zweck eine gleich zu besprechende kleine Änderung erfuhr, werden sämtliche Schaltungen durch ein fallendes Gewicht mit grosser Genauigkeit besorgt.

Die Anordnung der Versuche ist in Fig. 1 angedeutet.  $E$  ist das Element,  $C$  der Condensator,  $G$  das Galvanometer,  $w$  der äussere Widerstand,  $a_1, a_2, a_3, a_4$  sind die Contacthebelchen des Fallapparates. Zuerst sind  $a_1$  und  $a_4$  offen, so

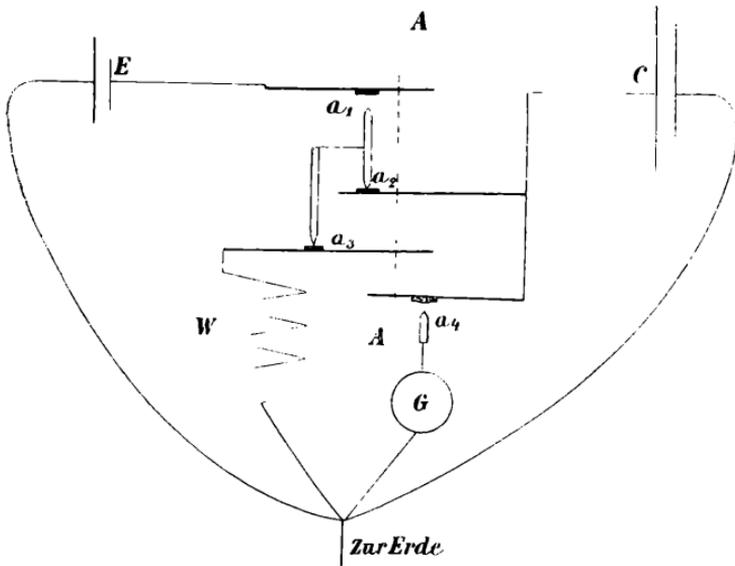


Fig. 1.

dass Element, Condensator und Galvanometer von einander getrennt sind,  $a_2$  und  $a_3$  sind geschlossen. Jetzt gleitet das Gewicht an dem Messingdraht  $AA$  herab und schliesst zuerst  $a_1$ . Der Strom fliesst durch  $a_1, a_3$  und  $w$ , zugleich ladet sich der Condensator durch  $a_2$  zu dem dort herrschenden Potential.

Nach einer kurzen Zeit trifft das Fallgewicht auf  $a_2$  und trennt dadurch den Condensator vom Element, um ihn gleich darauf durch Niederdrücken von  $a_4$  durch das Galvanometer zu entladen. Contact  $a_3$  hat hier nur eine nebensächliche Bedeutung. Er soll nämlich, um jede unnöthige Beanspruchung des Elementes zu vermeiden, gleich, nachdem der Condensator

abgetrennt ist, auch den Hauptstrom in  $w$  öffnen. Die Entfernung  $a_1 - a_2$  kann man beliebig verkleinern und so die Zeit, die man vom Schliessen des Stromes bis zur Messung der Klemmspannung will verstreichen lassen, auf sehr kleine Bruchtheile von Secunden abkürzen. Will man die E. M. K. des offenen Elementes bestimmen, so bleibt  $a_3$  von Anfang an offen.

Der Schliesscontact  $a_1$  wurde für diese Untersuchung eigens angefertigt. Er bekam dieselbe Einrichtung wie  $a_4$ . Eine elastische Stahllamelle  $L$  (Fig. 2) wird durch den Winkelhebel  $H$  so weit gehoben, dass das Platinplättchen  $P$  etwa  $1\text{ mm}$  von der darunterstehenden Spitze entfernt ist. Wird der Hebel von dem fallenden Gewicht getroffen, so senkt sich die Feder und

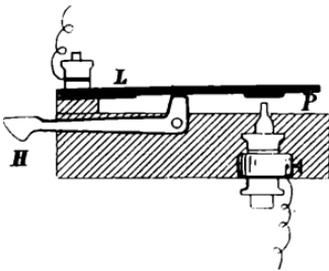


Fig. 2.

macht bei  $P$  Contact. Ob diese Vorrichtung sicher functionirt, das kann nur der Versuch lehren. Da eine kleine Unregelmässigkeit im Schliessen von  $a_1$  sich um so mehr bemerkbar machen musste, je kleiner das ganze Zeitintervall  $a_1 a_2$  war, so wurde der Apparat auf eine sehr kurze Zeit, nämlich  $0.016$  Secunden eingestellt, dann wurden fünf Ent-

ladungen des Condensators vorgenommen. Der Unterschied zwischen dem grössten und kleinsten Ausschlag betrug  $0.12\%$ . Die Zeiten  $a_1 a_2$  wurden sowohl aus der Fallhöhe berechnet, als auch experimentell bestimmt durch Laden eines Condensators von bekannter Capacität  $C$  durch einen bekannten grossen Widerstand.

Für Schliessungszeiten von mehr als  $0.3$  Secunden konnte der Fallapparat nicht gebraucht werden und wurde ein eigener Handumschalter angefertigt, der mit zwei Griffen die ganze Schaltung bewerkstelligte. Die Einrichtung ist aus Fig. 3 wohl deutlich zu ersehen.  $n_1$  bis  $n_5$  sind Quecksilbernapfe; sie bestehen aus kleinen Glascylindern, die in Siegelack eingelassen sind. In der Stellung Fig. 3 ist das Element durch  $n_1 n_2 w$  geschlossen und zugleich durch  $n_2 n_3 n_4$  der Condensator angelegt; im bestimmten Augenblick wird umgelegt und dadurch der Condensator von der Batterie getrennt und durch  $n_5$  mit

dem Galvanometer verbunden; zugleich wird der Strom bei  $n_2$  geöffnet.

### Die Elemente.

Für diese Versuche standen folgende Clark'sche Elemente zur Verfügung:

1. Zwei Elemente von Fuess in Steglitz von dem gewöhnlichen Format nach Feussner. Sie waren von der Physikalisch-

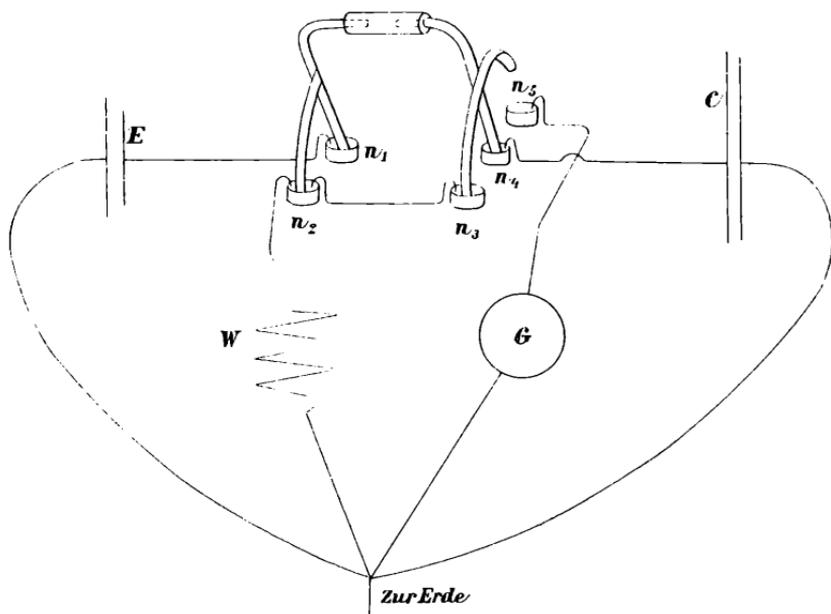


Fig. 3.

technischen Reichsanstalt zu Berlin geacht. Diese Elemente wurden nur gebraucht in Gegenschaltung zur Messung der E. M. K. der übrigen.

Alle anderen Elemente sind unter Anleitung von Herrn Prof. Klemenčič im hiesigen physikalischen Institut verfertigt. Ein Platindraht, in den Boden der Glasröhrchen von 2 cm Durchmesser und 15 cm Höhe eingeschmolzen und mit Quecksilber bedeckt, bildet die eine Elektrode. Darüber liegt die übliche Paste mit dem Zinkvitriol. Ein amalgamirter Zn-Stab, von einem Kork gehalten, ragt als negativer Pol in die Flüssigkeit. Der Rest ist mit Paraffin ausgegossen. Nur auf Elemente

von dieser Form erstrecken sich die vorliegenden Versuche, und zunächst nur auf solche können die folgenden Resultate Anwendung finden. Die Elemente sind folgende:

2. Eine Batterie von 12 Elementen, verfertigt im Februar 1896, auf einen in Paraffin ausgekochten Holzblock montirt.

3. Zwei Einzelelemente: *A* verfertigt am 26. Februar 1896 und *B* vom 27. Februar 1896.

4. Vier frische Elemente *C*, *D*, *E*, *F* vom 5. Juni 1897

An diesen letzten sechs Elementen *A* bis *F* wurden die eigentlichen Untersuchungen vorgenommen, und zwar so, dass in keinerlei Weise Rücksicht darauf genommen wurde, ob die Elemente später noch brauchbar waren oder nicht.

Vor allem wurden zu Anfang der Beobachtungen sämtliche Elemente mit einem bestimmten (in Zukunft mit *N* = Normalelement bezeichnet) der Zwölferbatterie durch Gegen-einanderschalten verglichen, nachdem dieses selbst mit der Fuess'schen Zelle gemessen war. Wird die E. M. K. der letzteren zu Eins angenommen, so ergab sich Folgendes:

Fuess	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
1	1·00007	0·99986	1·00014	1·00056	1·00052	1·00058	1·00067

### Der innere Widerstand.

Um gleich eine beiläufige Vorstellung von der Grösse des inneren Widerstandes dieser Elemente zu geben, seien hier einige Werthe angegeben für verschiedene Elemente. Der äussere Widerstand betrug stets 800  $\Omega$ , die Schliessungsdauer 0·4 Secunden. Die Beobachtungen stammen von verschiedenen Tagen, weshalb die Temperaturen sehr ungleich sind.

Tabelle I.

Element	Temperatur	Innerer Widerstand
<i>A</i>	17·5° C.	48·8 $\Omega$
<i>B</i>	18·0	52·0
<i>C</i>	20·4	66·9
<i>E</i>	17·7	75·3
<i>F</i>	19·3	79·8

Es ist nun eine bekannte Thatsache, dass der Widerstand der Elektrolyte in hohem Grade von der Temperatur abhängt. Zwar ist der Temperaturcoefficient einer gesättigten  $ZnSO_4$ -Lösung hinreichend bekannt (4% bei  $18^\circ C.$  nach Kohlrausch), allein hier kommt ja nicht diese allein in Betracht. Es wurde also zuerst darüber eine Reihe von Beobachtungen gemacht. Die Elemente wurden zu diesem Zweck mit einem Wattenmantel umgeben, dann in einen weiten Glasballon von circa 30 *cm* Durchmesser gesetzt. Der ganze noch übrige Hohlraum war ebenfalls mit Watte ausgefüllt. Das Ganze konnte dann durch ein Wasserbad auf beliebige Temperatur gebracht werden. Ein Thermometer (nach Zehntelgrade eingetheilt) befand sich unmittelbar neben dem Element, ein zweites im Inneren der Watte, ein drittes im Wasserbad. Der Temperaturanstieg erfolgte sehr langsam, so dass die Flüssigkeit unmöglich eine merklich andere Temperatur haben konnte als ihre Umgebung. Wenn alle drei Thermometer längere Zeit dieselbe constante Temperatur gezeigt hatten, begann die Beobachtung. Dabei dauerte die Stromlieferung immer nur 0·016 Secunden. Jedesmal wurde bei drei verschiedenen Stromstärken, nämlich circa 0·001 *A*, 0·0016 *A* und 0·005 *A* beobachtet, entsprechend den Widerständen im äusseren Stromkreis von 1360  $\Omega$ , 800  $\Omega$ , 200  $\Omega$ . Stärkere Ströme hätte man nur dadurch erzielen können, dass man nahezu Kurzschluss gemacht hätte; dann würden aber erstens die Resultate in Folge der Polarisirung stark fehlerhaft ausfallen, und zweitens bekämen die späteren Beobachtungen an demselben Element einen sehr fraglichen Werth.

Tabelle II.

Innerer Widerstand des Elements C.

Temperatur	Widerstand im äusseren Stromkreise		
	1360 $\Omega$	800 $\Omega$	200 $\Omega$
5·2° C.	134·05	138·1	141·8
13·8	88·60	89·3	89·33
20·4	65·23	66·9	67·7
28·5	51·45	52·1	52·86

Für den äusseren Widerstand  $1360 \Omega$  sind die Werthe in Fig. 4 graphisch dargestellt.

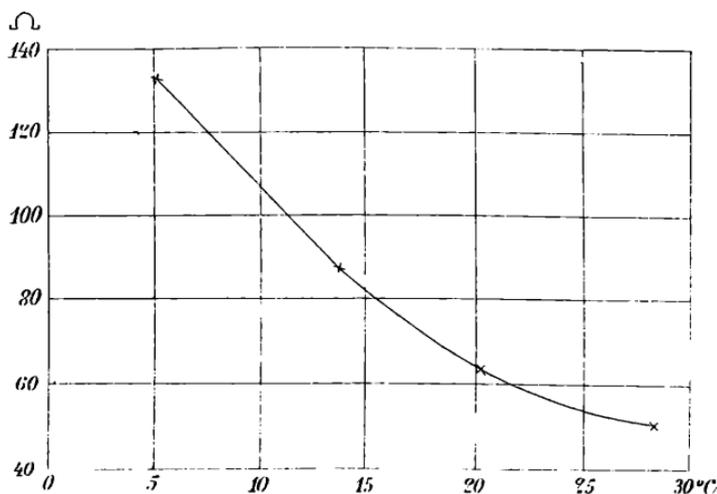


Fig. 4.

Bei Gelegenheit dieser Versuche wurde auch eine Bestimmung des Temperaturcoefficienten vorgenommen. Dieselbe ergab eine Spannungserniedrigung von  $0.073\%$  für  $1^\circ$  zwischen  $5^\circ$  und  $20^\circ C$ .

Es wurde nun versucht, eine Abhängigkeit des inneren Widerstandes von der Stärke und Dauer des Stromes zu constatiren. Einige Zahlen seien hier beispielsweise wiedergegeben.

Tabelle III.

Element *E*.  $\theta = 17.65^\circ C$ .

Stromabgabe bis zu  $0.005$  Ampère durch  $0.015$  bis  $0.12$  Secunden. Beobachtung mit dem Fallapparat.

Äusserer Widerstand	0.015 Sec.	0.02 Sec.	0.12 Sec.
1360 $\Omega$	73.4	74.6	76.9
800	75.3	76.4	78.9
200	78.2	78.5	81.9

Tabelle IV

Element A.  $\theta = 19.2^\circ \text{ C.}$

Äusserer Widerstand 200  $\Omega$ ; Stromstärke 0.0055 A. Einfluss länger andauernder Stromlieferung<sup>1</sup>. Beobachtung mit dem Handumschalter.

Zeit	0.4	2	10	30	30	Secunden
Innerer Widerstand	55.0	57.7	58.1	59.0	64	75.9
						Ohm

Die letzte Beobachtung zeigte bei der Wiederholung noch den Einfluss der vorhergehenden.

In Fig. 5 ist aus den ersten fünf Werthen dieser Tabelle die mittlere ausgezogene Curve construirt.

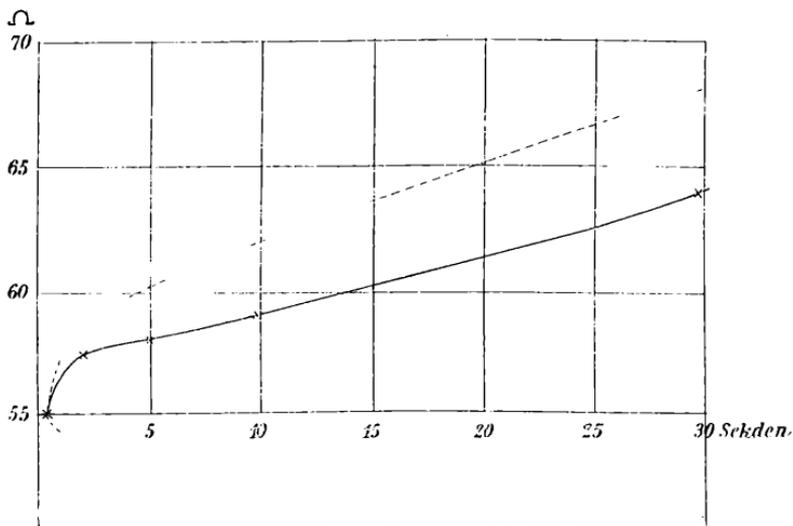


Fig. 5.

Eine Abnahme des inneren Widerstandes ist also nirgends bemerkt worden. Es wäre jedoch verfehlt, wollte man daraus schon schliessen, dass auch keine vorhanden ist. Denn die

Das Element war schon vor diesen Versuchen sehr stark beansprucht; bei frischen Elementen erfolgt die Zunahme der Polarisation nicht so schnell, cf. Tabellen VI und VII.

Polarisation ist beim Clark'schen Element so stark, dass sie ganz gut die Klemmspannung um einen grösseren Betrag erniedrigen kann, als eine etwaige Abnahme des inneren Widerstandes dieselbe erhöhen würde. Man könnte sogar versucht sein, aus der Gestalt der Curve (Fig. 5) auf ein Zusammenwirken dieser zwei Umstände zu schliessen. Denn nimmt man einmal an, der innere Widerstand nähme auch hier in einer ähnlichen Weise ab, wie es von Uppenborn und Greeff l. c. thatsächlich für andere Elemente gefunden wurde und construirt demgemäss die untere gestrichelte Curve in Fig. 5, so ergibt sich eine Zunahme der Polarisation nach der oberen gestrichelten Curve, die man erhält, wenn man die Ordinaten der unteren zu denen der ursprünglichen Curve addirt. Umgekehrt würde aus einem Zusammenwirken von Polarisation und Widerstand für die Klemmspannung die thatsächlich beobachtete Curve resultiren, deren etwas sonderbare Gestalt dadurch eine sehr befriedigende Erklärung fände.

Es wurde auch ein Versuch gemacht, ob sich etwa mit dem Wechselstrom in der Wheatstone'schen Brücke eine Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke constatiren liesse. Als Wechselstromquelle diente ein kleines Inductorium. Um zuerst den Widerstand im stromlosen Zustande zu bestimmen, mussten zwei Elemente gegeneinander geschaltet werden. Durch eine einfache Umlegevorrichtung konnten die Elemente dann parallel geschaltet zur Stromlieferung veranlasst und ebenso schnell wieder in den Wechselstrom eingeschaltet werden. Es schien mir diese Methode aus dem Grunde nicht aussichtslos, weil nach den Beobachtungen, die Greeff (l. c. S. 27) gerade auch an Zinksulfatlösungen gemacht hatte, die Verminderung des Widerstandes beim Öffnen des Stromes nicht sofort verschwindet, und in dem l. c. mitgetheilten Beispiel sogar nach 20 Minuten erst um ein Zehntel des ganzen Betrages abgenommen hatte. Allein bei der geringen Empfindlichkeit der Methode liess sich eine Abnahme des Widerstandes nicht mit Sicherheit feststellen. Es ergaben sich zwar durchschnittlich schwache Veränderungen in dem erwarteten Sinn, die jedoch möglicherweise auch von Beobachtungsfehlern herrühren können. Ich muss somit diese Frage unentschieden lassen.

## Die Polarisation.

Unter diesem Titel seien hier jene Erscheinungen zusammengefasst, bei denen die Polarisation offenbar die Hauptrolle spielt. Die Polarisation wird jedenfalls mit der Stromstärke und der Stromdauer zunehmen, und solange daher bei zunehmender Stromlieferung sich noch derselbe innere Widerstand ergibt, wird man sagen, dass die Polarisation einen merklichen Betrag noch nicht erlangt hat. Für die Praxis reicht das aus. Die Theorie dagegen muss hier immer noch einwerfen, dass der Schluss noch nicht vollständig ist. Es könnte ja der Einfluss der Polarisation durch eine Verminderung des Widerstandes gerade aufgehoben werden. Lassen wir diesen Einwurf unberücksichtigt, so wird es darauf ankommen, zunächst durch möglichste Verkürzung der Zeit sozusagen der Polarisation zuvorzukommen und den reinen inneren Widerstand für eine bestimmte Stromstärke zu erhalten. Die weitere Verminderung der Klemmspannung kann dann als Polarisation bezeichnet werden, wenn man annimmt, dass der Widerstand sich mit der Zeit nicht ändert. Für das allmähliche Anwachsen der Polarisation mit der Stromstärke und der Zeit enthalten schon Tab. 3 und 4 einige Angaben. Einige weitere, besonders für grössere Zeiten und sehr starke Ströme werden im Folgenden noch angeführt werden. Dabei scheint es mir geeigneter, um eine ungefähre Vorstellung von der Leistungsfähigkeit dieser Elemente zu geben, wenn ich von einem besonders stark in Anspruch genommenen wenigstens die Hauptsachen vollständig mittheile. Es seien dazu die Beobachtungen am Element *F* gewählt. Zuerst wurde die E. M. K. durch Gegenschalten mit Element *N* gemessen, worauf dann eine Reihe von Bestimmungen des inneren Widerstandes bei allmählig ansteigender Stromdauer folgte. Diese Widerstandsmessungen sind hier nicht einzeln mitgetheilt. Jedoch sind die Elektrizitätsmengen, die dem Element entnommen wurden, angeführt, wie auch die Stromstärken. Der Stromstärke  $0\cdot0016 A$  entsprach der äussere Widerstand  $800 \Omega$ ,  $0\cdot0053 A$  ein solcher von  $200 \Omega$ . Die Zeiten, während welcher bei dem ganzen Beobachtungssatz das Element geschlossen war, sind addirt und als Stromdauer in der Columnne IV

enthalten. Die zwei letzten Zeilen enthalten dann die elektromotorische Kraft des Elementes, wie sie circa eine Minute vor und nach dem ganzen Beobachtungssatz bestimmt wurde. Dabei ist immer die E. M. K. des Elementes  $N = 1$  gesetzt.

Das Element  $F$  wurde am 4. Juni frisch zusammengesetzt.

Tabelle V

Beobachtungszeit	Temperatur	Ampère	Secunden	Coulomb	Elektromotorische Kraft	
					vorher	nachher
8. Juni 11 <sup>h</sup> a.	19° C.	0	0	0	0·99907	—
4 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> p. m.	20·2	0·0016	50	0·080	0·99989	0·99973
5 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> p. m.	20·2	0·0053	40	0·210	0·99973	0·99947
9. Juni 10 <sup>h</sup> a. m. . . .	19·3	0·0016	40	0·064	0·99998	0·99967
11 <sup>h</sup> a. m. . . . .	20·0	0·0053	100	0·530	0·99987	0·99958
10. Juni 9 <sup>h</sup> a. m. . .	18·5	0·0016	50	0·080	—	—
		Summa . . .		0·964		

Nachdem das Element bei diesen Versuchen sich immer sehr schnell wieder erholt hatte, wurden jetzt grössere Anforderungen gestellt, indem es viel längere Zeit zur Stromlieferung herangezogen wurde. Während der letzten 10 Secunden wurde immer der Condensator angelegt, um die Klemmenspannung am Schluss zu messen. Rechnet man aus der Klemmenspannung den inneren Widerstand so, als ob keine Polarisation vorhanden wäre, so ergeben sich die Werthe der Column 2. Bei den früheren Beobachtungen aber hatte sich als kleinster innerer Widerstand  $82\cdot0 \Omega$  ergeben. Nimmt man diesen als den wahren Widerstand und als constant an, so kann man dann die E. M. K. der Polarisation berechnen. Diese Werthe sind in der letzten Column mitgetheilt, und zwar in Bruchtheilen der E. M. K. des offenen Clark-Elementes.

Temperatur 19° Äusserer Widerstand  $200 \Omega$ , Stromstärke am Anfang  $0\cdot0051$  Ampère nimmt erst langsam, dann schneller ab bis  $0\cdot0022$  Ampère.

Tabelle VI.

Stromdauer in Minuten	Äquivalenter innerer Widerstand	Polarisation
1	83·6	0·0037
	87·34	0·0125
5	87·34	0·0125
10	90·70	0·0189
30	142·4	0·1249
60	459·7	0·4225

Rechnet man daraus die gesammte in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge, so findet man unter Annahme von Mittelwerthen für die Polarisation 24·3 Coulomb.

Sofort wurde nun die E. M. K. des Elementes bestimmt und gefunden:

2 Minuten nach Öffnen des Stromes . . . .	.0·9991
7	.0·9994
2 $\frac{1}{2}$ Stunden nach Öffnen des Stromes .	.0·99983
28	.1·00001

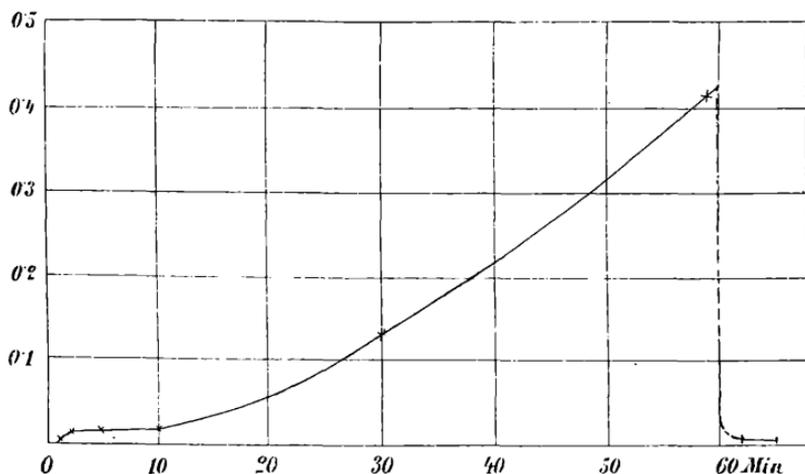


Fig. 6.

In Fig. 6 ist der Verlauf der Polarisation nach dieser Beobachtung graphisch dargestellt.

Scheinbar hat das Element also durch alle diese, für eine Clark'sche Zelle ganz unerhörten Misshandlungen nicht gelitten. Allein die folgenden Beobachtungen belehrten mich eines besseren. Der Widerstand bei kurz dauernder Stromabgabe war zwar nicht wesentlich grösser, allein jetzt nahm die Polarisation viel schneller zu und erreichte zum Beispiel schon nach weniger als 10 Secunden jenen hohen Werth, den sie früher erst nach einer Stunde erlangt hatte. Hier folgen die Resultate in der Reihenfolge, in welcher sie erhalten wurden.

Tabelle VII.

11. Juni, 5<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> p. m. Temperatur 18·5°

Stromdauer, Secunden	Äusserer Widerstand	Stromstärke, Ampère	Elektricitäts- Menge, Coulomb	Äquivalenter innerer Widerstand
0·8	800	0·00161	0·0012	88
	800	0·00159	0·0032	97·6
sehr kurz (0·1)?	230	0·00448	0·0005	92·1
0·8	230	0·00337	0·0026	196·1
2·0	230	0·00235	0·0062	380·8
5·0	230	0·00217	0·0131	432·7
10·0	230	0·00214	0·0238	440·3
		Summa .	0·0506	

Die späteren Beobachtungen zeigten alle ein Verhalten, welches dem in Tabelle VII mitgetheilten durchaus ähnlich ist.

Als theilweises Gegenstück hierzu seien noch die Beobachtungen am Element *B* erwähnt. Das Element wurde durch einen äusseren Widerstand von nur 50  $\Omega$  geschlossen. In 30 Secunden, während welcher das Element einen Strom von durchschnittlich 0·01 Ampère lieferte, stieg der scheinbare Widerstand von circa 50 auf 120  $\Omega$ , was einer Polarisation von 0·45 der E. M. K. des offenen Elementes entspricht. Im Laufe eines Monats wurden sechs solcher Beobachtungssätze gemacht. Bei jedem war das Element im Ganzen 100 Secunden lang geschlossen und lieferte eine Elektricitätsmenge von

1 Coulomb, also zusammen 6 Coulomb, trotzdem konnte bis jetzt kein schnelleres Eintreten der Polarisation bemerkt werden.

Das Verhalten des zu stark beanspruchten Elementes *F* scheint demnach einige Ähnlichkeit zu haben mit demjenigen der Accumulatoren, wenn sie entladen sind. Im offenen Zustand haben sie noch ihre normale Spannung, so wie sie aber geschlossen werden, sinkt dieselbe rasch ab.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: [106\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Wulf Theodor

Artikel/Article: [Beobachtungen an geschlossenen Clark'schen Normalelementen. 562-579](#)