© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Über den inneren Widerstand Clark'scher Normalelemente.

Von Ignaz Klemenčič.

(Aus dem physikalischen Institute der k. k. Universität Innsbruck.)

Bisher ist bei den sogenannten Normaelementen von Weston und Clark die ganze Aufmerksamkeit der Physiker naturgemäss auf die Erforschung jener Bedingungen gerichtet gewesen, durch welche die electromotorische Kraft beeinflusst wird. Beim Clark'schen Element war es schon nach den Angaben Lord Rayleigh's möglich, bei verschiedenen Zellen eine Uebereinstimmung der electromotorischen Kraft auf 0·1 % zu erreichen.

Diese Grenze ist durch Untersuchungen in der physikalisch-technischen Reichsanstalt zu Charlottenburg bei Berlin noch weiter herabgedrückt worden und es ist nun möglich, bei der Zusammenstellung solcher Elemente nahezu eine Uebereinstimmung auf 0·01 % zu erzielen. Wir haben in diesen Elementen thatsächlich ein Standard der electromotorisehen Kraft, dessen Genauigkeit an jene der Normalwiderstände grenzt. Nun ist durch electromotorische Kraft und Widerstand die Stromstärke bestimmt und wir haben auf diese Weise ein bequemes Mittel um Ströme von genau bestimmbarer Stärke zu erzeugen und damit

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

verschiedene Instrumente zu aichen; ein Mittel, von welchem ja bekanntlich in neuerer Zeit immer mehr Gebrauch gemacht wird.

Den inneren Widerstand der Normalelemente hat man bisher weniger beachtet, da es ja bei ihnen in erster Linie doch nur auf eine gewisse, stets gleiche und genau angebbare electromotorische Kraft ankommt. Der innere Widerstand ist aber doch nicht ganz ohne Einfluss auf die Verwendbarkeit des Elements. Es ist ganz sicher, dass Elemente mit kleinem inneren Widerstande viel öfters und viel besser verwendet werden können, als solche mit grossem.

Zunächst muss man sich nur vor Augen halten, dass bei der Vergleichung der electromotorischen Kraft irgend eines Elements mit einem Normalelement, das Electrometer nur selten verwendet wird. Bei diesem Instrument kommt es ja bekanntlich auf den Widerstand nicht an. Abgesehen von anderen Umständen, wird man dort, wo die grösste Genauigkeit angestreht wird, am liebsten zum Galvanometer greifen. Bedient man sich nun des Galvanometers, dann spielt der innere Widerstand immer eine, manchmal sogar recht bedeutende Rolle; ja selbst bei Compensationsmethoden wird zum mindesten die Empfindlichkeit des Verfahrens vom Widerstand abhängen. Von besonderer Bedeutung ist aber ein geringer innerer Widerstand des Normalelements bei der Aichung von Galvanometern mit dick- oder mitteldrahtigen Rollen, wie sie etwa zur Messung von thermoelectrischen Strömen, von Selbstinductionscoefficienten u. s. w. benützt werden Wenn man bei der Aichung eines solchen Galvanometers nicht viel mehr als eine Genauigkeit von 0·1 % anstrebt, so thut man am besten, das Galvanometer direct mit einem grossen Widerstand und einem Normalelement in einen Kreis zu schliessen, wobei man durch Regulirung des Widerstands einen passenden Ausschlag zu erhalten trachtet

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Beim Clark'schen Element braucht man in dieser Beziehung nicht zu ängstlich zu sein und kann ganz gut bis zu Widerständen von 20000 ja selbst 10000 Ohm heruntergehen. Kennt man den Widerstand des Elements ungefähr und ist er nicht zu gross, so kann man ihn bei der Berechnung der Stromstärke entweder ganz vernachlässigen, oder soweit berücksichtigen, dass man bei der Aichung die angestrebte Genauigkeit erreicht.

Es ist also sicher von Vortheil, den Widerstand der Elements möglichst niedrig zu halten und dann die Grösse desselben ungefähr zu kennen. Die Bestimmung des Widerstands eines einzelnen, speciell Clark'schen Elements ist nun keine leichte Sache; ja sie ist überhaupt erst in letzterer Zeit durch eine von Nernst [1]) angegebene Methode gut ausführbar geworden. Bei zwei Zellen lässt sich der Widerstand leichter bestimmen, indem man sie gegen einander schaltet; man ist bisher auch meistentheils in dieser Weise vorgegangen.

Nachfolgend sollen nun einige Methoden beschrieben werden, die in manchen Fällen bei der Bestimmung des inneren Widerstandes von Normalelementen gute Dienste leisten dürften. Anknüpfend an die Beschreibung dieser Methoden sollen sodann einige Messungen über die Abhängigkeit des inneren Widerstandes einiger Clarkzellen von der Temperatur mitgetheilt werden.

Beschreibung der Methoden.

Methode A.

Bekanntlich besteht eine Methode der Bestimmung des inneren Widerstands eines Elements darin, dass man einmal die electromotorische Kraft, sodann aber die

---

[1]) Nernst und Haagn, Zeitschrift für Electrochemie (1896) Nr. 23; auch: Haagn „Ueber den inneren Widerstand galvanischer Zellen", Inauguraldissertation, Göttingen 1897.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Klemmenspannung das Elements in einem Schliessungskreise von bekanntem Widerstande misst. Dabei wird vorausgesetzt, dass die electromotorische Kraft des stromliefernden Elements nicht anders ist die des offenen; ferner soll der Widerstand des äusseren Schliessungskreises ungefähr von der Grösse des inneren Widerstandes sein, da sie ja mit einander verglichen werden sollen. Wenn aber diese letztere Bedingung bei der Bestimmung des inneren Widerstandes eines Clark'schen Elements zutreffen würde, dann wäre die erste Bedingung in den wenigsten Fällen erfüllt und es ist nach diesem Verfahren keine Messung auszuführen, wenn man bemüssigt ist, das Element durch längere Zeit zu schliessen. Im Sommer dieses Jahres hat nun Herr Wulf[1]) im hiesigen Institute Messungen nach dieser Methode ausgeführt, wobei er aber das Element nur eine sehr kurze Zeit durch einen entsprechenden Widerstand schloss. Um dabei die Klemmenspannung mit Sicherheit zu messen, wurde an die Klemmen ein Glimmercondensator (Capacität 2·2 Mf.) angelegt, der sich in der kurzen Zeit der Schliessung auf die Spannung der Klemmen lud. Vor der Unterbrechung des Stromkreises wurde der Condensator von den Klemmen abgetrennt. Das Element blieb also immer nur eine sehr kurze Zeit geschlossen, in welcher muthmasslich keine Aenderung der elektromotorischen Kraft des Elements auftreten konnte. In der That zeigten Messungen mit verschiedenen Widerständen im äusseren Stromkreise, so wie bei verschiedener Dauer der Schliessung wenig abweichende Werthe, so dass sich dieses Verfahren für die Bestimmung des inneren Widerstands eines Elements als ganz brauchbar erwies.

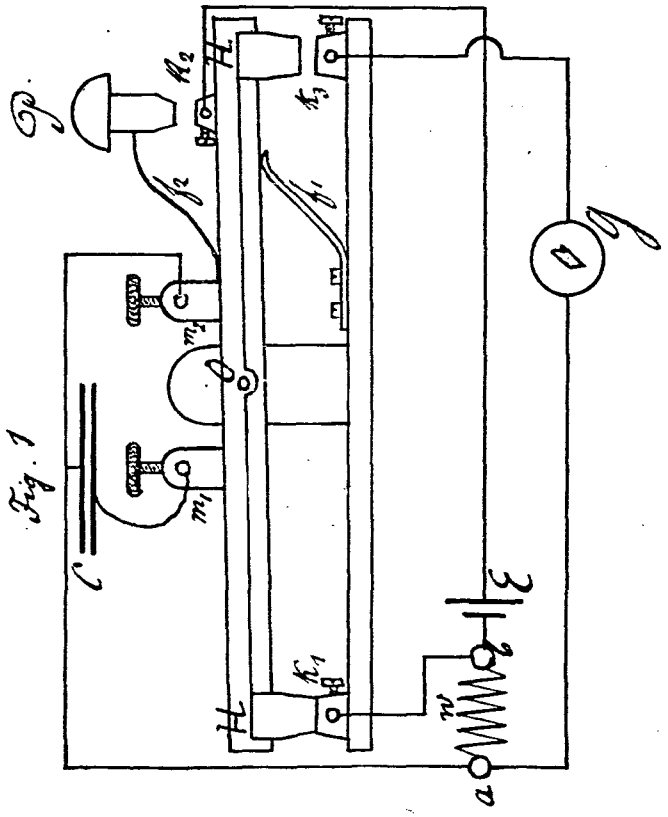
Zur Herstellung der kurzen Schliessungszeit, so wie der für die Messung nothwendigen Schliessungen und Oeffnungen bediente sich Herr Wulf eines Hiecke'schen

---

[1]) Sitzber. Wiener Akademie Bd. 106. Juli 1897. p. 562.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Fallapparats. Die Manipulation mit dem Apparat ist jedoch in diesem speciellen Falle etwas umständlich, auch ist er nicht überall zu haben; ich habe daher für solche Messungen einen eigenen Contactschlüssel construirt, der sich für die Bestimmung des Widerstands nach dieser Methode als sehr brauchbar erwiesen hat[1]).



Der Contactionsschlüssel besteht aus einem prismatischen Hebel (Fig. 1) H H aus Hartgummi, welcher um

[1]) Solche Schlüssel sind übrigens schon in verschiedenartigen Abänderungen construirt worden, und es dürfte vielleicht in dem Falle nur die Verwendung des Contactschlüssels zu dem hier beschriebenen Zwecke neu sein.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

eine Axe O drehbar ist. Der Träger der Axe ruht auf einer isolirenden Unterlage, auf welcher überdies, gegen die Enden des Hebels zu, zwei abgestutzte Metallkegel mit Klemmschrauben und eine Feder F angebracht sind Die Metallkegel bilden mit zwei ähnlichen Kegeln, welche am Hebel befestigt sind, bei k_1 und k_3 Contacte. Die Feder f_1 drückt das eine Ende des Hebels nach aufwärts, so dass der Contact k_1 in der Ruhestellung geschlossen bleibt. Die oberen Kegel der Contacte k_1 und k_3 sind durch einen Draht, der längs des Hebels geführt ist, leitend verbunden. An diesen Draht ist auch die Klemme m_1 angeschlossen. Auf dem rechten Theile des Hebels sitzt überdies eine Klemme m_2; von dieser führt eine Metallfeder f_2 zum oberen Kegel des Contacts k_2; der untere Kegel dieses Contacts sitzt direct auf dem Hartgummi nahe am Ende des Hebels und ist mit einer Klemmschraube versehen. Contact k_2 ist für gewöhnlich offen; nur in dem Falle, wenn auf den Hartgummiknopf P gedrückt wird schliesst sich der Contact und stellt eine leitende Verbindung her zwischen m_2 und dem unteren Kegel von k_2. Die Feder f_2 ist viel schwächer als f_1, so dass beim Niederdrücken des Knopfes P zuerst der Contact k_2 geschlossen und dann erst der Hebel in Bewegung gesetzt und der Contact k_1 geöffnet wird. Zur Bestimmung des innern Widerstands eines Elements wird nun folgende Schaltung gemacht. Von dem zu untersuchenden Elemente E wird ein Pol mit dem unteren Kegel des Contacts k_2 verbunden. Vom zweiten Pol führt eine Leitung zum Quecksilbernapf b, der auch an die untere Klemme von k_1 angeschlossen ist. Vom Quecksilbernapf a führt eine Leitung zunächst zum Galvanometer G und von da zum untern Kegel des Contacts k_3 und auf der anderen Seite zu der einen Belegung des Condensators und von da weiter zur Klemme m_2. Die zweite Belegung des Condensators ist mit der Klemme m_1, daher mit den oberen Kegeln der Contacte k_1 und k_3 ver-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

bunden. Die beiden Quecksilbernäpfe a und b können durch einen Widerstand w überbrückt werden.

Die Handhabung des Schlüssels bei der Bestimmung des inneren Widerstands eines Elements ist folgende: Sind die beiden Näpfe a und b durch den Widerstand w überbrückt, so ist in der Ruhestellung des Schlüssels das Element offen und die beiden Condensatorbelegungen sind durch den Widerstand w miteinander verbunden. Drückt man auf den Knopf P, so kommt ein Moment, in dem k_2 geschlossen, k_1 aber noch nicht geöffnet ist. Während dieser Zeit ist das Element durch den Widerstand w geschlossen und die Condensatorbelegungen erscheinen an die Klemmen des Elements angelegt. Drückt man noch stärker, so wird k_1 geöffnet und k_3 geschlossen: dabei wird der Condensator von den Polklemmen abgetrennt und durch das Galvanometer entladen. Der Galvanometerausschlag bildet ein Maass für die Klemmenspannung. Oeffnet man die Verbindung zwischen den Näpfen a und b, d. h. macht man $w = \infty$ und verfährt so wie früher, so bekommt man am Galvanometer einen Ausschlag, welcher der electromotorischen Kraft des Elements proportional ist. Die Dauer der Schliessung des Elements kann mittels dieses Schlüssels sehr kurz gemacht werden. Versuche, welche ich nach der Pouillet'schen Methode zur Bestimmung dieser Dauer machte, lehrten, dass man beim raschen Niederdrücken die Schliessungsdauer auf 0·001 Sec. und noch mehr herabdrücken kann. Man darf jedoch in dieser Beziehung nicht zu weit gehen da sich sonst der Condensator in der kurzen Zeit nicht bis zum richtigen Potential laden würde. Für die eigentlichen Messungen wurde das Niederdrücken des Knopfes in der Weise geübt, dass daraus eine Schliessungsdauer zwischen 0·01 und 0·001 Sec. resultirte. Die Widerstände w waren selbstverständlich inductionsfrei gewickelt. Es sei noch erwähnt, dass die Verbindungsdräthe so dimensionirt waren, dass man deren Widerstand gegen w und den

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

inneren Widerstand des Elements vernachlässigen konnte. Ist nun α der Galvanometerausschlag, welcher der electromotorischen Kraft, β jener, welcher der Klemmenspannung beim Widerstand w entspricht, so ist der innere Widerstand dss Elements

$$r = w \frac{\alpha - \beta}{\beta}$$

Diese Formel gilt, wie erwähnt, nur wenn sich die electromotorische Kraft des Elements während der Stromlieferung nicht ändert. Hinsichtlich der Frage, inwieweit diese Annahme hier thatsächlich zutrifft, habe ich schon auf die Messungen Wulf's (l. c.) hingewiesen; ich werde übrigens noch am Schlusse auf diesen Punkt zurückkommen.

Methode B.

Diese Methode besteht darin, dass man das Element im Nebenschluss vor einem Galvanometer anbringt. Mittels dieser Methode kann man das Element sozusagen im offenen Zustande untersuchen, was sonst nur mit der Nernst'schen Methode möglich ist. Dieses Verfahren wurde in zweifacher Weise angewendet.

a. Hat man zwei Elemente, deren elektromotorische Kraft sehr nahe gleich ist, so bringt man dieselben entgegengesetzt geschaltet in den Nebenschluss vor das Galvanometer. Ueberdies schliesst man in den Kreis noch irgend ein anderes Element und einen Widerstand ein. Bezeichnen wir den inneren Widerstand der beiden Elemente im Nebenschluss mit 2 r, den Widerstand des Galvanometers mit ρ, die Stromstärke in diesem Zweige mit j; den Widerstand im Hauptzweige mit W und die darin befindliche electromotorische Kraft mit E, so ist bekanntlich

$$j = \frac{E\,2\,r - \varepsilon W}{W \rho}$$

wenn man voraussetzt, dass W und ρ gegen 2 r sehr gross sind. ε ist die Differenz der electromotorischen Kräfte der beiden im Nebenschluss befindlichen Elemente.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Durch Commutiren von E bekommt man übrigens leicht den von E herrührenden Galvanometerausschlag. Entfernt man sodann aus dem Nebenschluss die beiden Elemente und bringt dafür einen bekannten Widerstand w (von der Grössenordnung wie 2 r) an, so ist jetzt

$$j' = \frac{E w}{W \rho}.$$

Sind α u. α' die, der Commutirung von E entsprechenden Stellungsunterschiede der Galvanometernadel, so ist

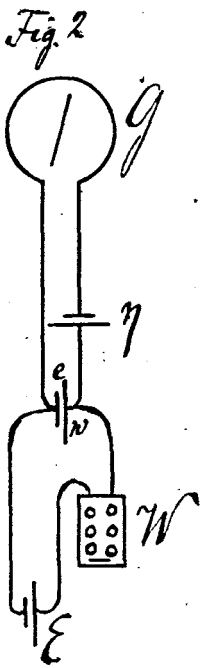
$$2 r = w \frac{\alpha}{\alpha'}.$$

Die beiden Elemente im Nebenschluss sind entgegengeschaltet und liefern beinahe gar keinen Strom; sie werden nur vom einem Strom durchflossen, dessen Stärke von E und W abhängt. Bei einem halbwegs empfindlichen Galvanometer mit feindrahtigen Rollen bekommt man für einen Nebenschlusswiderstand von 50—100 Ω gut messbare Ausschläge, wenn man für W Werthe von 30000—100000 Ω und für E 1 bis 2 Volt nimmt. Nach diesem Verfahren bekommt man die Summe der Widerstände der beiden Elemente und man kann den Widerstand eines einzelnen Elements erst dann bestimmen, wenn man noch ein drittes Element zu Hilfe nimmt und sie dann paarweise combinirt.

b. Eine kleine Abänderung dieses Verfahrens gestattet uns den Widerstand eines einzelnen Elements direct zu bestimmen. Wir legen jetzt nur ein Element in den Nebenschluss, das zweite aber in die Galvanometerleitung, wie dies aus der Fig. 2 zu ersehen. Bezeichnen wir jetzt die electromotorische Kraft im Galvanometerzweige mit η (Fig. 2) die im Nebenschluss mit e, die im Hauptzweige mit E und die Widerstände resp. mit ρ, r und W, so ist die Stromstärke im Galvanometerzweige

$$j = \frac{(E + \eta) r - (e - \eta) W}{W \rho}.$$

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at



Dabei ist wieder vorausgesetzt, dass r sehr klein ist gegen W und ρ. Für $e = \eta$ ist

$$j = \frac{(E + \eta) r}{W \rho}.$$

Commutirt man wieder E, so bekommt man leicht den der electromotorischen Kraft E entsprechenden Ausschlag. Zur Bestimmung des Widerstands macht man dann wieder eine Beobachtung mit einem bekannten Widerstand w im Nebenschluss, wobei man selbstverständlich η ausschaltet.

Hat man nicht zwei Elemente von gleicher electromotorischer Kraft zur Verfügung, so kann man in den Galvanometerkreis leicht einen Bruchtheil einer grösseren electromotorischen Kraft in bekannter Weise einschalten und auf diese Weise e vollkommen abcompensiren.

In dieser Form ist sodann die Methode bei jedem Element anzuwenden. Man könnte ferner in ähnlicher Weise wie Haagn (l. c.) das Element durch verschiedene Widerstände schliessen und den Wiederstand desselben untersuchen, wobei natürlich die compensirende electromotorische Kraft entsprechend abzuändern wäre. Vorläufig habe ich die Methode jedoch nur auf Clark'sche Elemente angewendet.

Die untersuchten Normalelemente.

Die Beobachtungen waren hauptsächlich auf die Erprobung der hier beschriebenen Methoden und auf die Abhängigkeit des Widerstands einiger Clark'scher Elemente von der Temperatur gerichtet. Hinsichtlich des letzten Punkts hat schon Herr Wulf (l. c.) einige Beob-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

achtungen gemacht und dabei einen ausserordentlich grossen Temperatureinfluss constatirt. Nach diesen Beobachtungen hat es den Anschein, als wenn die Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur beim Clark'schen Element grösser wäre als bei einer reinen Zinkvitriollösung. Die Elemente, die Herr Wulf untersuchte, hatten die Eprouvettenform; dabei wichen sie insofern von den gewöhnlichen Normalelementen ab, als der Zinkstab nicht in die Quecksilbersulfatpaste tauchte. Dieser Umstand hat zwar auf die electromotorische Kraft des Elements keinen Einfluss, doch könnte er immerhin für die Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur von Belang sein.[1]) Ich verfertigte mir daher zwei weitere Elemente, bei denen der Zinkstab in die Paste eintauchte.

Die Untersuchung wurde also auf folgende Elemente erstreckt:

α) Zwei Clark'sche Elemente, bezeichnet mit C und E, verfertigt im Juni 1897. Diese Elemente untersuchte bereits Herr Wulf.

β) Zwei Clark'sche Elemente mit den Zeichen P und Q; verfertigt am 27. October 1897. Dabei war die Zinkvitriollösung von P bei einer Temperatur von 13·5 °, die von Q bei 32 ° concentrirt. Um die Temperatur der Elemente besser bestimmen zu können, war jedes Element mit einem in 0·1 ° getheilten Thermometer versehen, dessen Quecksilbergefäss knapp am Zinkstabe zum Theile in der Zinkvitriollösung zum Theile in der Paste steckte. Q war nur mit einem Kork verschlossen. Ueber den Korkverschluss von P war noch etwas Paraffin gegossen.

γ. Zwei Clark'sche Normalelemente von Fuess Nr. 159 und 160, mit Prüfungsschein von der deutschen physikalisch-technischen Reichsanstalt.

---

[1]) Es könnte da die Ablagerung von Zinkvitriolkrystallen ober der Paste auf den Widerstand von Einfluss sein.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Was die electromotorische Kraft dieser Elemente anbelangt, so hat zum Theile schon Herr Wulf (l. c.) einige Angaben darüber gemacht; ich habe diese Seite nicht weiter verfolgt; nur soviel konnte ich constatiren, das ein wiederholtes Schliessen der Elemente mittels des Contactschlüssels durch Widerstände von 40—100 Ohm für die Dauer von 0·01 Sec. und weniger keine merklich anhaltende Veränderung der electromotorischen Kraft des Elementes hervorbrachte.

Die Beobachtungsresultate.

1. Zunächst soll ein Beispiel für die Beobachtung nach der Methode A angeführt werden. Es wurde der Widerstand der beiden Elemente P und Q bestimmt und als Vergleichswiderstand $w = 42·1\ \Omega$ benützt. Als Condensator diente stets ein Glimmercondensator von 1·1 Mikrofarad Capacität. Zugleich wurde der Widerstand nach Methode B b gemessen. Mit Hilfe von Quecksilbernäpfen konnte sehr rasch von der einen Anordnung in die andere umgeschaltet werden. Es wurden folgende Beobachtungen gemacht, wobei unter α der Galvanometerausschlag bei der Condensatorentladung eingetragen ist.

Element Q, Temp. 19·0°			Element P, Temp. 19·4°	
$w = \infty$, $\alpha =$	115·1,	115·1		
$w = 42·1$	59·0,	60·7	72·7,	72·7
Dar. fgt. $r =$	40·0,	37·7 Ω	24.5,	24·5 Ω
Mittel $r =$		38·8 „	$r = 24·5$ „.	

Jeder der angeführten Werthe ist ein Mittelwerth aus 4 Beobachtungen. P und Q hatten soweit gleiche electromotorische Kraft, dass für $w = \infty$, α bei beiden gleich angenommen wurde.

Die Messung des Werthes nach der Methode B b ergab für Q, $r = 44·2\ \Omega$; für P, $r = 28·0\ \Omega$.

Dabei war $W = 40000\ \Omega$ und $E = 2·9$ Volt (2 Clark'sche Elemente.)

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Eine weitere Messung lieferte die Werthe

	Element Q, Temp. 19·0°	Element P, Temp. 19·2°
Methode A	r = 38·9 Ω	r = 25·1 Ω
Methode Bb	r = 44·9 „	r = 28·6 „

Aus den angeführten Daten kann man ersehen, dass mit der Methode A immerhin eine Genauigkeit von 1 bis 2 % zu erreichen ist. Es wäre vielleicht an und für sich eine grössere Genauigkeit zu erreichen, aber der innere Widerstand des Clark'schen Elements scheint doch nicht soweit constant zu sein, dass er bei derselben Temperatur auch immer denselben Werth hätte. Erschütterungen und vorausgegangene Temperaturschwankungen spielen da jedenfalls eine Rolle.

Ferner ist aus den mitgetheilten Zahlen ersichtlich, dass die Methode B b grössere Werthe liefert als A und zwar. differiren sie ungefähr um 10—15%. Diese Thatsache ist wiederholt constatirt worden und ich werde am Schlusse noch auf sie zurückkommen.

2. Mit den beiden Elementen C und E habe ich mehrere Beobachtungen des inneren Widerstands bei verschiedenen Temperaturen gemacht. Die Elemente waren dabei zum Theile in einen grösseren mit Wasser gefüllten Trog eingesenkt und die Temperatur wurde an einem in das Wasser getauchten in 0·1° getheilten Thermometer abgelesen. Um bei den höheren Temperaturen eine grössere Constanz zu erhalten, wurde das Zimmer recht tüchtig geheizt und bei den niederen Temperaturen die Fenster geöffnet. Ich habe zunächst sowohl nach der Methode A als auch nach der Methode B a beobachtet. In letzterem Falle bekam ich die Summe der Widerstände. Dabei war im Hauptzweige ein Widerstand von 80000 Ω und eine electromotorische Kraft von 2·9 Volt eingeschaltet. Als Vergleichswiderstand diente bei Methode A w = 79·2 Ω bei Methode B b w = 196·1 Ω.

In der Tab. I sind unter T die Temperaturen, unter r die Widerstände in Ohm und unter $\triangle$ die Differenz

© Naturwiss.-méd. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

der nach beiden Methoden erhaltenen Summenwerthe des Widerstandes (in Procenten des niedrigeren) eingetragen.

Tab. I.

Dat.	T	r, Met. A			r, Met. B a	△ %
		C	E	C+E	C+E	
8. 12.	15·9	87·1	92·3	179·4	201·7	12.4
9. 12.	10·9	117·3	117·0	234·3	258·2	10·0
9. 12.	6·5	165.4	151·2	316·6	349·2	10·3
10.12.	14·2	123·9	112·3	236·2	265·7	12·5
10.12.	26·7	81·0	76·7	157·7	174·4	10·6
10.12.	23·4	82·9	79·8	162·7	186·3	14·5

Aus dieser Tabelle folgt wieder die Thatsache, dass die Ergebnisse der beiden Methoden constant in einem gewissen Sinne differiren und zwar liefert auch diesmal Methode B etwa um 10—15 % grössere Werthe als A. Es sei noch erwähnt, dass bei den Beobachtungen immer eine Messung nach B von je einer Messung nach A eingeschlossen wurde.

Der Widerstand bei diesen zwei Elementen erwies sich auch, abgesehen von den Temperaturschwankungen, gar nicht recht constant. Um daher ein besseres Bild über die Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur zu bekommen, wurde eine weitere Serie von Beobachtungen nur nach der Methode B gemacht und dabei mit hohen Temperaturen angefangen und von diesen nach und nach zu immer tieferen geschritten. Es wäre nämlich möglich, dass bei steigender Temperatur der Lösungsvorgang nicht so rasch folgt wie der Temperaturanstieg; viel eher wird man umgekehrt zum richtigen Resultat ge-

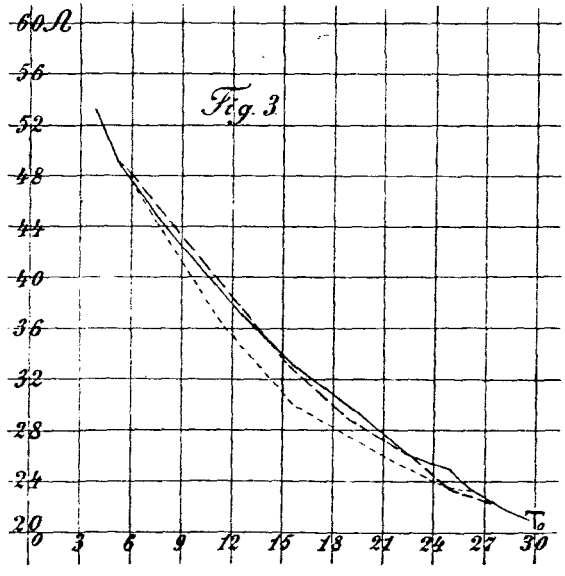
© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

langen. Bei dieser zweiten Messungsreihe wurden die in Tab. II verzeichneten Resultate erhalten.

Tab. II.

T	r, (C + E)	r_1
26·3	173·3	23·1
25.0	176·7	23·6
23·7	184·6	24·6
21·0	196·5	26·2
15·5	226·4	30·2
11·3	272·3	36·3
6·5	349·2	46·6
5·3	368·8	49.2

Um diese Daten mit jenen für die Elemente P und Q besser vergleichen zu können, habe ich die Werthe für C+E auf den Werth von P bei 5·3° reducirt, d. h. ich



© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

habe angenommen, dass C+E und P bei 5·3° denselben Werth 49·2 haben und habe dann in diesem Verhältnisse die anderen Werthe reducirt; die so reducirten Werthe sind in der Tabelle unter r_1 eingetragen. In der Curvenfigur wird der Verlauf von r_1 durch die punktirte Curve dargestellt.

3. Die Elemente P und Q wurden nach der Methode B a untersucht. Die Elemente waren wieder zum Theile in einen grossen mit Wasser gefüllten Trog eingesenkt. Bei diesen Messungen war der Widerstand im Hauptzweige 40000 Ω und die electromotorische Kraft 2·9 Volt. Die Galvanometerrollen waren diesmal parallel geschaltet und hatten also einen Widerstand von 8000 Ω. Tabelle III enthält die Resultate; die Messungen wurden in der Reihenfolge gemacht, wie sie eingetragen sind. Die unter T angegebenen Temperaturen sind an den ins Element eingesenkten Thermometern abgelesen worden. Die Werthe von Q sind in gleicher Weise, wie früher bei C und E, auf den Werth von P für T = 3·9° reducirt und unter r_1 eingetragen worden. Die Curvenfigur gibt die auf Q bezüglichen Werthe r_1 gestrichelt, die Werthe von r für P jedoch ausgezogen.

Tab. III.

P		Q		
T	r	T	r	r_1
29·8	20·9	29·8	31·2	20·9
28·0	21·9	28·0	32·7	21·9
24·8	24·7	24·8	34·9	23·4
22·7	26·0	22·6	38·7	25·9
18·9	30·2	18·8	43·1	28·9
15·6	33·2	15·5	48·7	32·7

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. III (Fortsetzung).

P		Q		
T	r	T	r	r_1
12·5	37·1	12·4	56·0	37·7
8·2	43·9	8·2	67·1	45·0
5·2	49·4	5·2	74·3	49·8
3·9	53·2	3·9	79·4	53·2
10·5	41·5	10·5	61·8	
16·4	32·7	16·4	49·1	

Nachdem die Reobachtung bei 3·9 ⁰ gemacht war, lies ich die Temperatur langsam ansteigen und beobachtete die in der Tabelle zum Schlusse angeführten zwei Werthe welche sich in den Verlauf der früheren Werthe sehr gut einfügen.

Diese zwei Elemente verhalten sich hinsichtlich des Widerstands viel regelmässiger als C und E; dies ist höchst wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass hier der Zinkstab in die Paste eintaucht, was bei den früheren Elementen nicht der Fall ist. Bei C und E liegt zwischen dem Ende des Zinkstabs und der Oberfläche der Paste eine dicke Schichte von Zinkvitriolkrystallen.

4. Schliesslich untersuchte ich noch zwei Clark'sche Normalelemente von Fuess, welche im Jahre 1895 für das hiesige physikalische Institut angeschafft wurden. Die Elemente haben die Nummern 159 und 160 und sind im Jahre 1894 verfertigt. Schon gelegentlich früherer Versuche ist mir aufgefallen, dass die beiden Elemente zwar eine nahezu gleiche electromotorische Kraft, jedoch sehr verschiedene Widerstände aufwiesen. Die electromotorische wurde diesmal nicht weiter untersucht; bei der Prüfung des Widerstandes stellte sich jedoch heraus, dass Element 160 einen schlechten, unsicheren Contact hat, infolge dessen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

eine genaue Bestimmung des Widerstandes unmöglich ist. Für alle mit dem Galvanometer vorzunehmenden Beobachtungen ist dieses Element ganz unbrauchbar. Der Widerstand des Elements 159 wurde nun nach Methode A bestimmt. Methode B liess sich wegen der Höhe des Widerstands nicht anwenden. Um aber doch die Messung auch nach einer anderen Methode auszuführen, habe ich die gewöhnliche Ohm'sche Methode angewendet, indem ich das Element einmal durch 10000 und dann durch 20000 Ω schloss. Die Versuche machte ich bei zwei verschiedenen Temperaturen, um wenigstens einen kleinen Aufschluss über den Einfluss der Temperatur zu gewinnen. Nachfolgend ist das Resultat verzeichnet.

Clark's Normalelement Nr. 159 von Fuess.

Temp.	r	
	Methode A	Ohm's Methode
20·8°	8620 Ω	8350 Ω
11·0	30790 „	29290 „

Dieses Element hat also einen sehr hohen inneren Widerstand und eine auffallend grosse Abhängigkeit von der Temperatur. Sollten alle Fuess'schen Normalelemente so hohe Werthe des Widerstandes und ein ähnliches Verhalten desselben gegen Temperaturänderungen aufweisen, dann wäre hiedurch ihre Brauchbarkeit sehr beeinträchtigt.

In diesem Falle stimmen die nach beiden Methoden erhaltenen Werthe viel besser überein als früher; der Grund der nicht vollkommenen Uebereinstimmung dürfte übrigens hauptsächlich in der Ungenauigkeit der Messungen nach der Ohm'schen Methode zu suchen sein.

5. Ueber den Widerstand der hier untersuchten Elemente bei verschiedenen Temperaturen folgt aus diesen Beobachtungen Nachstehendes. Für C und E ergaben die Messungen eine etwas geringere Abhängigkeit von der Temperatur als sie Herr Wulf für das Element C gefunden hat. Allerdings ist in diesen Beobachtungen nur die Summe der

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Widerstände beider Elemente verzeichnet; allein einzelne Bestimmungen des Widerstands von C und E, die in Combination mit einem dritten Element F nach der Methode B a gemacht wurden, lehrten, dass sowohl C wie E so ziemlich den gleichen Einfluss der Temperatur aufweisen, Die Curve für C und E liegt, mit Ausnahme der Endpunkte, ein wenig unter den Curven für P und Q; eine Thatsache, die vielleicht doch in dem Umstande ihren Grund hat, dass bei diesen beiden Elementen auch die Ablagerung der Zinkvitriolkrystalle zwischen dem Zinkstab und der Paste auf den Widerstand von Einfluss ist. Die Curven für P und Q weichen so wenig von einander ab, dass man diese Abweichungen ganz gut Beobachtungsfehlern zuschreiben kann.

Obwohl sich die Curven ungefähr bei derselben Temperatur schneiden (13°), für welche die Zinkvitriollösung von P concentrirt war, so kann doch diesem Umstande kaum eine grössere Bedeutung beigelegt werden. Im allgemeinen folgt aus diesen Beobachtungen, dass die Abhängigkeit des inneren Widerstands von der Temperatur bei P und Q und zum weitaus grössten Theile bei C und E durch die Aenderung der Leitfähigkeit der Zinkvitriollösung erklärt werden kann. Ganz anders verhält sich die Sache beim Fuess'chen Normalelement Nr. 159. Hier ist eine solche Erklärung nicht möglich, denn der Widerstand ist ja bei 11° beinahe 4mal so gross als bei 20°. Dieses sonderbare Verhalten müsste vorerst wohl noch an anderen Elementen constatirt werden, bevor man daran ginge, die Erklärung für dasselbe zu suchen.

6. Schliesslich musste noch der eigenthümliche Umstand aufgeklärt werden, dass die Methode A immer kleinere Werthe (10—15 %) lieferte, als B. Zunächst suchte ich den Grund in der Methode A. Um zu prüfen ob der Fehler nicht etwa in der Schaltung liegt, habe ich an Stelle des Clark'schen Elements einen Accumulator und einen bekannten Widerstand (57 Ω) eingeschaltet: Die

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Beobachtung ergab sodann den richtigen Werth des Widerstands; der Widerstand des Accumulators ist ja zu vernachlässigen. Weil die Widerstände nach A kleiner ausfielen als nach B, so war es auch nicht möglich den Grund der Abweichung in einer Polarisation zu suchen die sich etwa in der sehr kurzen Zeit der Schliessung entwickeln würde.

Man könnte auch auf den Gedanken verfallen, dass die kurze Zeit der Schliessung für eine richtige Ladung des Condensators nicht ausreicht. Bei näherer Ueberlegung findet man sehr bald, dass von dieser Seite kein Fehler in die Beobachtung kommen kann, was übrigens auch durch den Versuch mit dem Widerstand von 57 Ω bewiesen wird.

Ich wandte mich sodann der Methode B zu und prüfte diese nach verschiedenen Richtungen.

Zunächst untersuchte ich den Einfluss der electromotorischen Kraft im Hauptzweige. Es wurde ein kleiner Doppelaccumulator und ein Bruchtheil desselben verwendet Das Resultat gibt Tab. IV.

Tab. IV.

E Volt	W Ω	P		Q	
		T°	r	T°	r
0·36	10000	14·1	32·4	14·8	47·4
4·0	10000	14·1	33·2	14·8	48·9

Obwohl die electromotorische Kraft in einem Falle elfmal so gross war wie im andern, sind die Werthe des Widerstands doch nur um 2, resp. 3 Procent verschieden. Sodann habe ich bei demselben E von 4 Volt den Widerstand im Hauptzweige W verschieden gewählt. Dieses Resultat ist in Tab. V enthalten.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. V.

E Volt	W Ω	P		Q	
		T°	r Ω	T°	r Ω
4	80000	19·3	29·7	19·3	44·2
4	10000	19·3	26·7	19·3	41·4

Die Werthe sind um 11° resp. 7 % verschieden und zwar ergab das grössere W auch einen grösseren Widerstand. Eine weitere Beobachtung mit Q ergab bei W = 80000 r = 45·0 und bei W = 2000; r = 40·4, also eine noch grössere Abweichung zwischen den beiden Werthen Schliesslich wechselte ich das Galvanometer und machte einige weitere Messungen mit einem Galvanometer nach Rubens-du Bois. Für E = 1·1 Volt, ρ = 28000 Ω und T = 15·3° wurde gefunden beim Element P

bei W = 80000 Ω r = 36·5 Ω
„ 10000 „ „ 32·3

also auch hier eine Differenz von ungefähr 12 % im gleichen Sinne wie früher.

Bei diesen Beobachtungen muss man berücksichtigen, dass das im Nebenschluss befindliche Clark'sche Element thatsächlich einen Strom liefert, und zwar durch den im Hauptzweige angebrachten Widerstand W. Darnach blieb also nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass der Widerstand des Schliessungskreises auf den inneren Widerstand des Elementes von Einfluss ist und dass das Element beim kleineren äusseren Widerstande von 1000 Ohm auch einen um 10—15 % kleineren inneren Widerstand hat als bei 80000 Ω. Ist nun das der Fall, so muss das Element auch den kleineren Werth des Widerstands zeigen, wenn man W = 80000 nimmt, dafür aber das im Nebenschluss befindliche Element durch einen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Widerstand von 10000 Ohm schliesst. Dies wurde ausgeführt und folgendes Resultat bei der Temperatur 14·4° erhalten.

P im Nebenschluss, ungeschlossen		r = 37·6 Ω
„ „ „	geschlossen durch 8400 Ω	r = 31·7 „
Q im Nebenschluss, ungeschlossen		r = 54·7 „
„ „ „	geschlossen durch 8400 Ω	r = 50·1 „

Bei P beträgt die Differenz 18 % bei Q 9 %.

Wäre der Widerstand von P und Q constant, dann hätte durch die Schliessung des Elements nur eine Widerstandsveränderung von etwa 0·5 % beobachtet werden müssen, wie dies auch der Fall war, als ich statt des Clark'schen Elements einen Drahtwiderstand in den Nebenschluss gab.

Aus diesen Daten folgt also, dass der innere Widerstand des Clark'schen Elements im geschlossenen Zustande kleiner ist als im offenen, eine Thatsache, welche übrigens auch schon an anderen Elementen beobachtet wurde. Dies erklärt zur Genüge die nach den Methoden A und B erhaltenen Differenzen. Wenn auch des Umstand, dass nach Wulf's Beobachtungen die Methode A bei verschiedenen Vergleichswiderständen nahezu gleiche Werthe liefert, dafür spricht, dass sich der Widerstand des stromliefernden Elements nur bis zu einer gewissen Grenze ändert und dass die nach diesem Verfahren bestimmten Werthe sehr nahe richtig sein dürften, so muss doch erst eine spätere Untersuchung entscheiden, wie weit dies thatsächlich zutrifft. Die Untersuchung des Widerstands nach den hier beschriebenen Methoden soll auch auf andere Elemente ausgedehnt werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: 23

Autor(en)/Author(s): Klemencic Ignaz

Artikel/Article: Über den inneren Widerstand Clark'scher Normalelemente. 90-111