
Ueber einen neuen Kompensationsapparat der Firma Siemens & Halske.

Von

Dr. A. Raps in Berlin.

Die grossen Vervollkommnungen, welche die elektrischen Messinstrumente in den letzten Jahren erfuhren, machten immer mehr das Bedürfniss nach solchen Normalapparaten für Spannungs- und Strommessungen fühlbar, die mit der Zeit unveränderlich und von der Temperatur oder Störungen des äusseren Feldes unabhängig waren; dabei muss deren Bedienung so einfach sein, dass sie ohne besondere Rechnungen die Resultate sofort abzulesen gestatten.

Die sogenannten Kompensationsmethoden, wie sie zuerst von Poggendorff und Dubois-Reymond angegeben wurden, haben sich für derartige Messungen seit langem als sehr brauchbar erwiesen.

Schon Dubois-Reymond¹⁾ liess sich von Halske für diese Zwecke ein Instrument mit rund angeordnetem Schleifdraht herstellen, welches er Kompensator nannte. Aus dieser Konstruktion ist das bekannte Universalgalvanometer der Firma Siemens & Halske hervorgegangen.

Auch der Universalkompensator von v. Beetz²⁾ diene zu ähnlichen Zwecken.

Eine durch den Gebrauch zweier Galvanometer umständlichere Methode benutzte Latimer Clark³⁾ bei der Vergleichung von elektromotorischen Kräften. Er giebt auch schon ein Verfahren an, welches die Spannungen direkt abzulesen gestattet. Dieselbe etwas modifizierte Methode verwandte Fleming⁴⁾ zur Untersuchung von Daniell'schen Normalelementen; in England werden zu derartigen Messungen dienende Apparate „Potentiometer“ genannt.

Die Verbesserungen, welche die technischen Widerstandsmessungen durch Anwendung von Legirungen erfuhren, die mit der Temperatur ihren Widerstand nicht ändern, liessen eine grössere Genauigkeit erreichen, als es durch Schleifdrähte möglich war. Eine Konstruktion, die statt der Schleifdrähte zwei Reihen durch Widerstände verbundener Knöpfe anwendet, auf welchen zwei Kurbeln schleifen, wurde in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von Herrn Dr. Feussner⁵⁾ ausgearbeitet und hierdurch ein sehr brauchbarer, bereits vielfach eingeführter Apparat erhalten, der im Unterschied zu den älteren Apparaten die ganze Skale der in der Technik vorkommenden Spannungsdifferenzen und Stromstärken (für Gleichstrom) zu beherrschen gestattet. Die Resultate sind dabei entweder ohne Weiteres an dem Apparate abzulesen oder sie ergeben sich durch eine ganz einfache Rechnung.

Der Apparat besitzt nur zwei Kurbeln; in dem Falle, in welchem die Stromstärke in dem Hilfsstromkreise, an welchem einmal das Normalelement und dann die zu messende Spannung kompensirt wird, unverändert bleiben sollte, musste also zur Erreichung von mehr als zwei Stellen im Resultat entweder unter Verwendung einer sehr grossen Hilfsbatterie ein hoher Ballastwiderstand eingeschaltet werden oder man musste in einem zwischen den beiden Kurbelwiderständen angeordneten Stöpselwiderstandssatz beim Messen ein Umstöpseln vornehmen, welches die schnelle Einstellung etwas erschwert. Hierbei wird nämlich der Widerstand, welchen man zwischen den Kurbeln ausschaltet, ausserhalb derselben wieder in den Hilfsstromkreis eingeschaltet, damit die Summe der Widerstände und damit auch die Stromstärke unverändert bleibt. Dieses Umstöpseln kann zwar automatisch geschehen und dies ist auch in dem Kompensationsapparate von Weston ausgeführt worden. Es führt jedoch zu umständlichen Einrichtungen, welche viele Widerstände erfordern.

Ferner gestattete die Ausbildung des Cadmiumelementes, dessen elektromotorische Kraft nahezu unabhängig von der Temperatur ist, das Normalelement an einen festen Widerstand des Kompensationskreises anzulegen, wodurch eine ungemeine Vereinfachung bei der Messung erzielt wird.

Diese Gesichtspunkte bewogen die Firma Siemens & Halske einen Kompensationsapparat auszuarbeiten, welcher bei einer sehr kleinen Messbatterie die

1) Wiedemann, *Elektriz.* Bd. I. S. 645. 1882.

2) *Wied. Ann.* 1878. S. 1.

3) *Phil. Trans.* 164. S. 1. 1874.

4) *Phil. Mag.* 20. S. 126. 1885.

5) *Diese Zeitschrift* 10. S. 117. 1890.

automatische Vertauschung der Widerstände in der einfachsten Weise umgeht. Der Apparat (D. R. P. Nr. 81421), welcher neben einer sehr bequemen und übersichtlichen Bedienung Messungen gestattet, welche bis auf 0,1% genau sind, soll im Folgenden beschrieben werden.

In Fig. 1 ist der Apparat schematisch dargestellt. Man muss hierbei zwei Stromwege vollständig gesondert betrachten, welche durch starke bzw. schwache Linien angedeutet sind; in den Fällen, in welchen die beiden Stromwege gemeinsame Leitungen haben, sind die Linien doppelt gezeichnet, obschon in Wirklichkeit nur einfache Leitungen vorhanden sind.

Der stark gezeichnete Stromkreis wird benutzt, wenn Spannungen über 1 bzw. 10 Volt zu messen sind, der schwach gezeichnete, wenn Spannungen unter 1 bzw. 10 Volt ermittelt werden sollen. Die zu messende Spannung wird in beiden Fällen an die zwei mit $X(+ -)$ bezeichneten Klemmen angelegt und durch einfaches Umlegen des dreipoligen Umschalters L der betreffende Stromweg eingeschaltet.

Betrachten wir zunächst den stark gezeichneten Stromweg, welcher der Schalterstellung „Hohe Spannung“ entspricht. Der Strom tritt bei $+X$ ein, geht

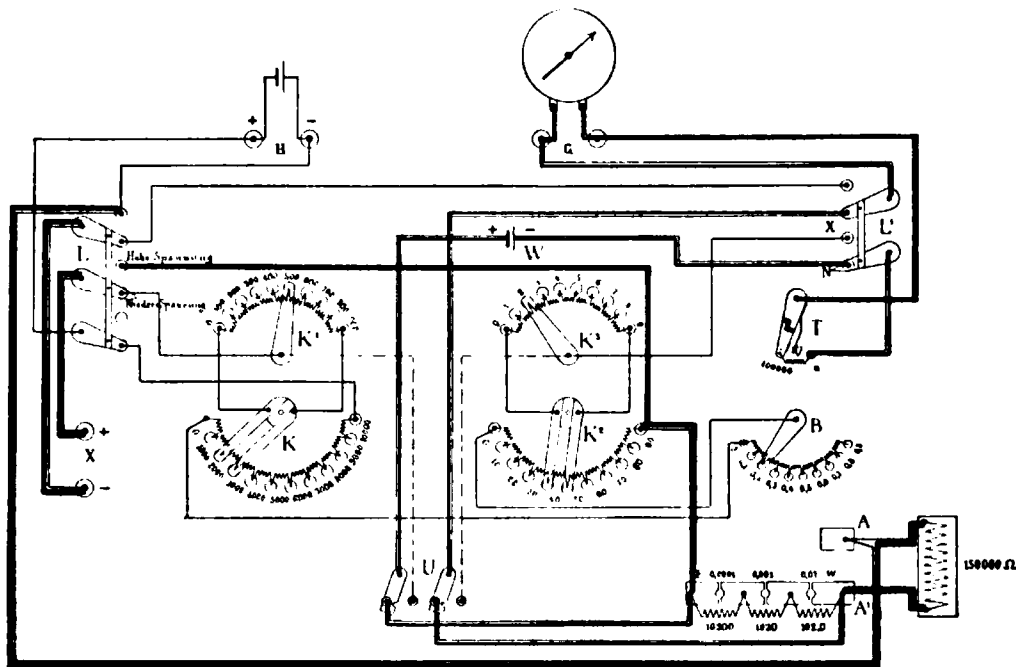


Fig. 1.

durch den mittleren Arm des Umschalters L , durch die Widerstände 10200, 1020, 102,0 Ohm, durch einen Widerstandskasten, welcher bis 150000 Ohm einzuschalten gestattet, dann durch den oberen Arm des Umschalters L zur Klemme $-X$.

Parallel zu einem der durch Stöpsel auszuwählenden Widerstände von 10200, 1020 oder 102,0 Ohm liegt ein Kreis, welcher das Normalelement W , das Galvanometer G und einen Taster T enthält, der diesen Kreis zu schliessen gestattet (Hebel L , liegt auf N , wie Fig. 1 zeigt). Man kann nun den Strom im Hauptstromkreis auf 0,0001, 0,001 oder 0,01 Ampère bringen, indem man den Stöpsel 10200, 1020 oder 102,0 zieht und den Widerstand des zwischen den Klemmen AA_1 eingeschalteten Widerstandskastens so lange ändert, bis das Galvanometer G beim

Drücken des Tasters T keinen Strom anzeigt. Es ist dann die an den Enden des einen der drei Widerstände w herrschende Spannung gleich der des Normalelementes e , also

$$i w = e.$$

Nun ist mit grosser Annäherung

$$e = 1,020 \text{ int. Volt.}$$

Wenn wir also

$$w = \left\{ \begin{array}{l} 10200 \\ 1020 \\ 102,0 \end{array} \right\} \text{ Ohm machen, ist } i = \left\{ \begin{array}{l} 0,0001 \\ 0,001 \\ 0,01 \end{array} \right\} \text{ Amp.}$$

Da die elektromotorische Kraft des Cadmiumelementes praktisch von der Temperatur unabhängig ist, können die Widerstände feste sein.

Da aber die zu bestimmende Spannung

$$E = i w$$

ist, so entspricht den drei Stöpseln die Empfindlichkeit

$$E = 0,0001 \quad 0,001 \quad 0,01 w,$$

wobei der Widerstand des gezogenen Stöpsels selbstverständlich mitzuzählen ist.

Auf diese Weise können Messungen von 1,020 Volt bis 1500 Volt ausgeführt werden, und zwar ist die Genauigkeit dieser Messungen so gross, wie diejenige, mit welcher die elektromotorische Kraft des Normalelementes bekannt ist.

Will man elektromotorische Kräfte messen, welche unter 1 Volt (bis zu 0,00001 Volt) liegen, so wird der Umschalter L auf „Niedere Spannung“ geschoben (Stellung Fig. 1). Hierdurch wird die Hilfsbatterie H eingeschaltet und wir müssen nun den in der Fig. 1 dünn eingezeichneten Stromlauf verfolgen.

Von dem Pole der Hilfsbatterie $+H$ geht der Strom durch den unteren Hebel des Umschalters L durch die 1000 Ohm-Widerstände bei K , dann durch die 0,1 Ohm-Widerstände bei B und durch die 10 Ohm-Widerstände bei K_2 . Er passirt weiter die Widerstände zum Einstellen der Empfindlichkeit 10200, 1020 bzw. 102,0 Ohm, den Regulirwiderstand 150000 Ohm und gelangt zum $-$ Pol der Hilfsbatterie H .

Ganz wie oben beschrieben, kann nun die Stromstärke in diesem Hilfsstromkreise durch Kompensation mit dem Normalelement (Hebel L_1 liegt auf N , wie Fig. 1 zeigt) auf 0,0001, 0,001 bzw. 0,01 Amp. gebracht werden. An diesen Hilfsstromkreis wird nun die zu messende Spannung angelegt durch Umstellen der Kurbel L_1 auf X und Stromlosmachen des Galvanometerkreises G , indem derselbe durch Einstellen der Kurbeln K, K_1, K_2, K_3, B an einen Widerstand w des Hilfsstromkreises angelegt wird.

Wir haben dann wieder, wenn i die Stromstärke im Hilfsstromkreise bedeutet,

$$E = i w,$$

also

$$E = 0,0001 \quad 0,001 \quad 0,01 w.$$

Die Schaltung der Kurbeln ist nun die Folgende:

Die Kurbeln K und K_2 besitzen je zwei Schleiffedern, mittels deren zwischen je zwei Knöpfe der K - bzw. K_2 -Reihe noch eine Reihe von Widerständen der K_1 - bzw. K_3 -Reihe parallel geschaltet werden kann. Von diesen letzteren nehmen dann die Kurbeln K_1 bzw. K_3 das zu messende Potential ab.

Legen wir nämlich zu zwei Punkten eines Stromkreises, zwischen welchen ein Widerstand w liegt, einen Widerstand w_1 parallel an, konstante Stromstärke

im unverzweigten Kreise vorausgesetzt, so sinkt die Spannung zwischen diesen beiden Punkten von e auf

$$\frac{e w_1}{w + w_1}.$$

Besteht nun w , aus n gleichen Unterabtheilungen w_0 , so ist die Spannung

$$e \frac{n w_0}{w + n w_0}.$$

Am a^{ten} dieser n Widerstände ist die Spannung

$$e_a = \frac{e a w_0}{w + n w_0}.$$

Der Widerstand w_0 kann so gross gewählt werden, dass Uebergangswiderstände unschädlich gemacht werden können. Es ist dann unter Umständen noch ein Vorschaltwiderstand vor dem ersten Knopf in den Kurbelreihen K_1 und K_2 nöthig.

In unserem Falle sind nun zwischen zwei Knöpfen des Kurbelkreises K je 1000 *Ohm* eingeschaltet, zwischen den Federn der Kurbel K liegen 9 mal 1000 *Ohm*. Demnach ist

$$e_a = a e \frac{1000}{1000 + 9 \cdot 1000} = a \frac{e}{10}.$$

Am 3. Knopf der Kurbel K_1 herrscht daher nur die Spannung $0,3e$.

Bezeichnen wir die zwischen zwei Knöpfen der K -Reihe herrschende Spannung mit 1000, so herrscht zwischen zwei Knöpfen der K_1 -Reihe nur eine Spannung von 100.

Allerdings sind die Stellen, in welchen die beiden Federn der Kurbeln KK , auf den Knöpfen aufliegen nicht stromlos, so dass der Uebergangswiderstand in Betracht kommt. Dieser kann das Resultat aber in den von uns gesteckten Grenzen (0,1%) nicht beeinflussen, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, umsoweniger, als auf die Ausführung der Kontakte und Schleiffedern grosses Gewicht gelegt ist, was nachher noch näher auseinandergesetzt werden soll. Der Uebergangswiderstand kann übrigens, wie schon eben erwähnt wurde, durch Parallelschalten von genügend hohen Widerständen beliebig klein gemacht werden.

Ebenso verhält es sich mit den beiden anderen Kurbeln. Zwischen je zwei Knöpfe der K_2 -Reihe sind 10 *Ohm* eingeschaltet, es herrscht also eine Spannung von 10 zwischen je zweien. Parallel zu einem dieser Widerstände liegt die Reihe K_3 , welche 9 mal 10 *Ohm* enthält. Es ist also dort analog den Betrachtungen bei der K - und K_1 -Reihe zwischen je zwei Knöpfen nur eine Spannung 1 vorhanden.

Eine ähnliche Schaltung mit einem Kurbelpaar ist übrigens zu anderen Zwecken auch bei der bekannten Thomson-Varley'schen Brücke angewandt.

Auf diese Weise ist es möglich, mit Hülfe von einer verhältnissmässig geringen Anzahl von Widerständen eine Bestimmung der Spannung bis auf die 4. Stelle zu machen, ohne dass man eine Umstöpselung vorzunehmen braucht. Die fünfte Stelle wird durch Verstellen der Kurbel B erhalten. Hierdurch wird allerdings der Gesamtwiderstand des Hilfsstromkreises und somit auch dessen Stromstärke geändert. Diese Aenderung geht aber in das Resultat im äussersten Fall nur mit einem Fehler von 0,1% ein. Man kann diesen Fehler übrigens dadurch auch noch ganz vermeiden, dass man den Widerstand bei AA , entsprechend verändert. Als Hilfsbatterie wurde bisher mit einer grösseren Type von Hellesen-Trockenelementen gearbeitet, welche sich zu diesem Zwecke sehr gut bewährt haben.

Man kann bei diesem Apparate Trockenelemente um so mehr verwenden, als sich die Richtigkeit der Stromstärke im Hilfsstromkreise jeden Augenblick

dadurch kontrollieren lässt, dass man den Hebel L_1 von X nach N wirft und eventuelle kleine Fehler durch Widerstandsänderung bei $A A_1$ verbessert.

Der Apparat lässt sich auch durch eine einfache Vorrichtung mit jedem anderen Normalelement gebrauchen, auch mit solchen, deren elektromotorische Kraft mit der Temperatur variirt. Es ist dann nur nöthig, dieses Element an die

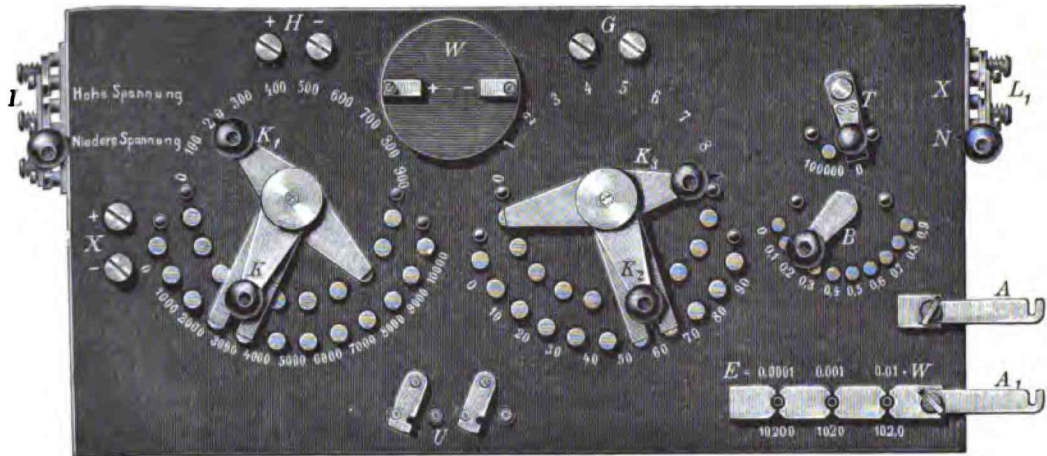


Fig. 2.

Stelle von W hinzubringen, und den doppelpoligen Umschalter U nach rechts umzuschlagen. Dann liegt das Normalelement nicht mehr an den festen Empfindlichkeitswiderständen, sondern es liegt an den Kurbeln K_1 und K_2 , sodass durch Einstellung der Kurbeln wie bei dem Apparate von Feussner der Hilfsstromkreis durch jede beliebige elektromotorische Kraft auf eine bestimmte Stromstärke gebracht werden kann.

Fig. 2 zeigt in Oberansicht die Ausführung des Apparates, dessen einzelne Theile mit denselben Buchstaben bezeichnet sind, wie diejenigen der schematischen Fig. 1. Die Umschalter liegen an den Seiten des Kastens bequem zur Hand, ohne Platz wegzunehmen.

Die Widerstände im Apparat sind aus Manganin hergestellt.

Der Widerstand von 150000 Ω wird an die Laschen $A A_1$ angelegt und kann hierzu ein gewöhnlicher Widerstandskasten Verwendung finden, der im Laboratorium vorhanden ist. Der

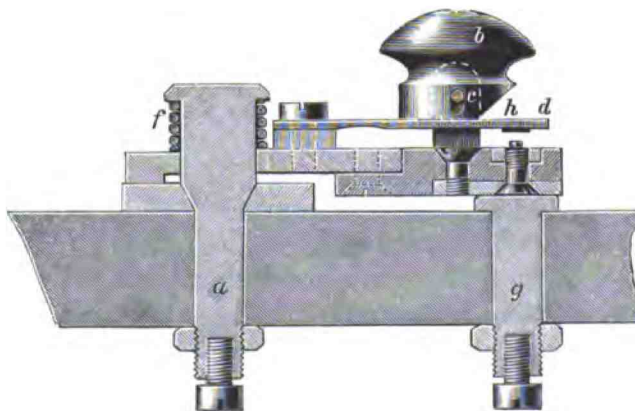


Fig. 3.

Taster T gestattet, den Galvanometerkreis entweder nur für einen Augenblick oder dauernd zu schliessen und das Galvanometer kurz oder mit 100000 Ω als Ballastwiderstand einzuschalten, um dem Normalelement beim Messen unbekannter Spannungen nicht zuviel Strom zuzumuthen. Die Einrichtung dieses Tasters zeigt Fig. 3. Durch einfachen Druck auf den Knopf b wird die Kontaktfeder d heruntergedrückt, indem der Stift c in seinen Führungen abwärts gleitet; nach dem Los-

lassen federt er wieder hoch. Sobald man aber den Knopf etwas nach vorn drückt, sodass die schräge Fläche h horizontal zu liegen kommt, bleibt die Feder dauernd herabgedrückt.

Besondere Sorgfalt wurde den Schleifflächen der Kurbeln K und K_1 zugewendet. Die Konstruktion dieser Doppelkurbeln geht aus Fig. 4 hervor. Die Federn f , f^1 , f^2 werden durch Kupferstreifen gebildet, deren rechtwinklig umgebogene, auf den Knöpfen KK_1 aufliegende Stirnseiten so gebogen sind, dass sie fast die ganze Fläche der Knöpfe KK_1 bestreichen, um Riefenbildungen zu vermeiden. Die Schleiffedern sind zwischen Zylindern und Scheiben passend

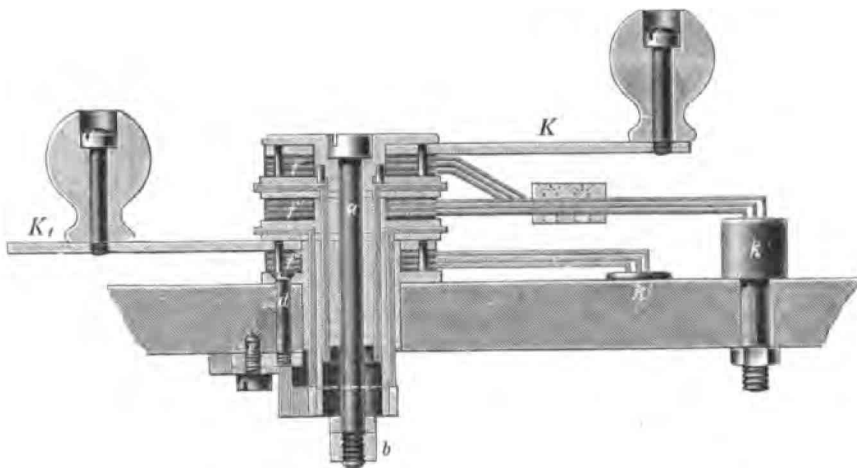


Fig. 4.

isoliert eingeklemmt, welche erstere gleichzeitig die Stromleitung besorgen. Die Zu-
leitung zur Feder f liegt in der Mutter b der Schraube a , die der Feder f^1 in einem
federnden Ring, an welchem die Schraube c befestigt ist, die der Feder f^2 an der
Schraube d . Wie aus der Figur leicht ersichtlich, kann durch Lösung der gemein-
samen Befestigungsschraube das ganze System herausgezogen werden und ist nun
der Reinigung bequem zugänglich.

Selbstverständlich lassen sich mit dem Apparate auch Stromstärken in
Ampère messen, wenn man den zu messenden Strom durch einen Widerstand
leitet, die Spannung an dessen Enden bestimmt und die Angaben des Apparates
in *Volt* durch den Widerstand in *Ohm* theilt.

Die einfache Gebrauchsanweisung für den Apparat würde wie folgt lauten:

1. Spannungen über 1 *Volt*.

Umschalter L auf „Hohe Spannung“. Die zu messende Spannung an X
angelegt, die richtige Empfindlichkeit $E = 0,0001$, $0,001$, bzw. $0,01$ gezogen. Um-
schalter L_1 auf N . Taster (auf 100000 *Ohm*, dann auf 0) gerückt und so lange an
dem Widerstand von 150000 *Ohm* geändert, bis Galvanometer keinen Strom an-
zeigt. Der im Kasten gezogene Widerstand *plus* dem, welcher unter der gewählten
Empfindlichkeit steht (10200 , 1020 , bzw. $102,0$), geteilt durch die Dekade der
Empfindlichkeit ist die gesuchte Spannung.

2. Spannungen unter 1 *Volt*. An H liegen jetzt 4 bzw. 12 *Volt*.

Hebel L auf „Niedere Spannung“, Empfindlichkeit gezogen, Hebel L_1 auf N ,
Taste gedrückt, in dem Widerstandskasten bei $A A_1$ so lange geändert, bis Gal-
vanometer ruhig.

Dann L_1 auf X , an den Kurbeln K, K_1, K_2, K_3, B so lange gedreht, bis Galvanometerkreis wieder stromlos. Dann ergeben die an den Kurbeln stehenden Zahlen, dividirt durch die Empfindlichkeit, die gesuchte Spannung.

Schliesslich habe ich noch die angenehme Pflicht, Herrn Dr. Lindeck, welcher mir bei der Konstruktion des Apparates wesentliche Hilfe geleistet hat, meinen besten Dank auszusprechen.
