

staten — die Widerstände der einzelnen Kupferdrähte bestimmt, deren Kenntniss dann eine Correction der früheren Calibrirungen unseres Rheostaten Nr. 2805 erlaubte. Bezeichnen wir die Widerstände der von den aufeinanderfolgenden Klötzen heruntergehenden Kupferdrähte bis zu den Widerstandsrollen, resp. mit k_1, k_2, k_3 etc., so fand er:

$k_2 = 0,000\,368$ S.-E.	$k_8 = 0,000\,517$ S.-E.
$k_3 = 0,000\,404$ „	$k_7 = 0,000\,491$ „
$k_4 = 0,000\,380$ „	$k_6 = 0,000\,475$ „
$k_5 = 0,000\,443$ „	

Die folgenden Kupferdrahtwiderstände, die noch in Betracht kommen, nämlich k_{11}, k_{12} und k_{13} wurden ihrer gleichen Länge halber gleich dem Mittel von k_6 bis k_8 gesetzt.

Corrigirt man hiernach unsere früheren Calibrirungen des Rheostaten Nr. 2805 und berechnet danach aufs neue die in unseren Formeln auftretenden Widerstandsgrößen, so ergibt sich jetzt als berichtigtes Endresultat meiner Messungen: 1 S.-E. = 0,94315 Ohm,

und danach ist die Länge l einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt, welche bei 0° den Widerstand eines Ohm darstellt: $l = 106,027$ cm.

St. Petersburg, 18. September 1884.

IX. Ein neues Galvanometer; von J. Rosenthal.

(Hierzu Taf. VIII Fig. 4 u. 5.)

Seitdem G. Wiedemann der Tangentenbussole mit Spiegelablesung eine Form gegeben hat, welche sie zu feineren Messungen geeignet machte, hat dieselbe besonders bei Physiologen zur Untersuchung der thierisch-electrischen Erscheinungen allgemeinen Eingang gefunden. Auch hat die von du Bois-Reymond empfohlene Astasirung mittelst des Haüy'schen Stabes und die Aperiodisirung der Schwingungen den Gebrauch des Instrumentes noch bequemer gemacht und die Empfindlichkeit bis zu einem vorher ungeahnten Grade

gesteigert, sodass es allen Anforderungen an Genauigkeit und Empfindlichkeit entspricht.

Neben diesen Tangentenbussolen haben nur noch die verschiedenen Formen des Galvanometers, welche Thomson angegeben hat, Verbreitung gefunden. Die ältere Form des Nobili'schen Galvanometers ist fast ganz durch die neueren verdrängt worden.

So vorzüglich aber auch die erwähnten Instrumente sind, so kann man ihnen doch den Vorwurf machen, dass die Anordnung der Drahtwindungen bei ihnen eine sehr ungünstige ist, sodass ihre Empfindlichkeit nur durch eine unverhältnissmässige Vergrösserung der Windungszahl und dadurch bedingte Vergrösserung des Widerstandes erreicht werden konnte. Eine unmittelbare Folge davon ist es auch, dass zu einer Wiedemann'schen Bussole, wenn sie zu verschiedenen Versuchen dienen soll, mindestens drei Paare von Rollen mit verschiedenem Draht erforderlich sind: ein Paar für Thermoströme, ein Paar für die gewöhnlichen hydroelectrischen Ströme und ein drittes Paar für thierisch-electrische Versuche.

Durch eine neue Art der Anordnung der Windungen ist es mir gelungen, ein Instrument herzustellen, welches bei nur 30 Ohm Widerstand alle bisherigen Instrumente an Empfindlichkeit bei weitem übertrifft und dabei für Thermoströme wie für physiologisch-electrische Versuche brauchbar ist.

Ganz besonders nützlich aber erweist sich diese gesteigerte Empfindlichkeit bei den jetzt so häufig vorkommenden Nullbeobachtungen, also bei Widerstandsmessungen mittelst der Wheatstone'schen Brücke, bei Messung electromotorischer Kräfte nach der Poggendorff-du Bois-Reymond'schen Compensationsmethode u. s. w.

Dabei ist die Handhabung des Instrumentes eine sehr einfache und sein Preis entsprechend der einfachen Einrichtung ein geringer.¹⁾

1) Das Instrument wird unter dem Namen „Rosenthal's Mikrogalvanometer“ von Dr. M. Th. Edelmann in München für 160 Mark geliefert.

Die Einrichtung des Instrumentes ergibt sich aus den beiden Abbildungen Fig. 4 und 5.

Fig. 4 zeigt das Galvanometer in ganzer Ansicht. Auf einem Marmorfuss *f*, welcher durch die drei Stellschrauben *e*, *f*, *g* horizontal gestellt werden kann, erheben sich die verticalen Säulen *m*, *n*, welche zwischen sich die Platten *i* und *k* fassen. An *k* liegt der Dämpfer *d*, festgeklemmt durch die Schraube *q*, welche in eine Nut bei *u* (vgl. Fig. 5) eingreift. Bei *a* und *b* sind Klemmschrauben, die mit den Enden der Drahtrollen in Verbindung stehen.

Zwischen *i* und *k* befindet sich das aus zwei Halbcylindern zusammengesetzte drehbare Spiegelgehäuse. Auf die Platte *i* ist das Suspensionsrohr *A* aufgeschraubt, welches oben den Torsionskopf *t* trägt.

Die Einrichtung des wesentlichen Theiles des Instrumentes ist aus Fig. 5 ersichtlich.

Die Magnetnadel ist ein kleiner, hufeisenförmiger Magnet *h*, an dessen Polenden sich zwei horizontale, gekrümmte Stifte *x* und *y*, ansetzen. Diese Stifte sind mit der Nadel aus einem Stück gearbeitet und bilden die Pole derselben, auf welche die ablenkende Wirkung der Rollen aus nächster Nähe und in kräftigster Weise ausgeübt wird. Die Polstifte sind Quadranten eines Kreises, dessen Mittelpunkt in der Drehaxe der Nadel liegt. Sie gehen frei durch die Höhlungen der beiden Rollen *r* und *s* hindurch. Diese kleinen Rollen sind aus je 200 Windungen eines 0,05 mm dicken, besponnenen Silberdrahts gebildet und auf elfenbeinerne Röllchen gewickelt. Letztere sind zur Hälfte in den elfenbeinerne Rollenträger *w* eingelassen, welcher auch die Klemmen *a* und *b* trägt. Dieser Träger hat die Form eines Parallelepipedums und ist in zwei Längsschlitz des kupfernen Dämpfers *d* eingelassen. Festgehalten wird er in diesen durch die Glasplatte *p*, welche durch drei Schraubchen (wie *c*) festgeklemmt ist und den Dämpfer nach unten abschliesst. Der Dämpfer ist aus einem dicken cylindrischen Kupferstück mit centraler cylindrischer Bohrung hergestellt.

Oben trägt die hufeisenförmige Magnetnadel den Silberspiegel *s* und ist mit demselben an einem Coconfaden aufgehängt.

Um das Instrument aufzustellen, verschraubt man die Säulen auf dem Marmorfussboden und stellt diesen horizontal, schraubt die Suspensionsröhre auf, bringt den Faden in dieselbe, hängt die Magnetnadel an und hebt sie, bis der Spiegel zwischen i und k schwebt. Dann bringt man den Dämpfer (zunächst ohne die Rollen und die untere Verschlussplatte) an seine Stelle und centrirt. Man stellt nun den Dämpfer so, dass der Schlitz für den Rollenträger einen Winkel von 45° mit den Polen bildet, schiebt den Rollenträger ein und verschliesst mit der Glasplatte p . Jetzt dreht man den Dämpfer und mit ihm die Rollen, bis die gekrümmten Polen x und y frei in den Höhlungen der Rollen spielen, wozu man durch Heben und Senken des Suspensionsfadens und durch Verbesserung der Centrirung nachhelfen muss. Diese Manipulationen werden sehr erleichtert, wenn man den Spiegel S unter den Dämpfer legt. Man kann dann in der Richtung von T her durch das ganze Innere des Instrumentes hindurchsehen.

Die Dimensionen des Instrumentes sind folgende:

Gesamthöhe	460 mm
Höhe der Suspensionsröhre	255 „
Höhe des Dämpfers	39 „
Aeusserer Durchmesser desselben	39 „
Lumen desselben	20 „
Höhe des Hufeisenmagnets	27 „
Gewicht desselben mit dem Spiegel	4,300 g
Aeusserer Durchmesser der Drahtrollen	12 mm
Dicke der Drahtrollen	3 „
Lumen derselben	5 „
Widerstand der beiden Rollen	30 Ohm

Um einen vorläufigen Begriff von der Empfindlichkeit des Instrumentes zu geben, dienen folgende Angaben:

Ohne Compensation durch Haüy'schen Stab:

0,1 mm Ausschlag bei 2700 mm Scalenabstand sind
= 0,000 000 005 4 Ampère.

Mit Compensation durch Haüy'schen Stab bei
Erreichung der Aperiodicität:

0,1 mm Ausschlag = 0,000 000 000 12 Ampère.

Ein Neusilber-Eisen-Thermoelement gibt bei 10°C . Temperaturdifferenz unter Einschaltung von 1000 Ohm Widerstand bei 2700 mm Scalenabstand einen Ausschlag von 120 mm.

Es erscheint wohl an und für sich wahrscheinlich, dass innerhalb der Grenzen der kleinen Ablenkungen, welche bei der Spiegelablesung mit Fernrohr und Scala vorkommen, die an der Scala abgelesenen Ablenkungen den Stromstärken proportional sein werden. Doch habe ich es nicht für überflüssig gehalten, mich davon noch durch den Versuch zu überzeugen. Zu diesem Behuf wurde der Strom eines grossen Leclanché'schen Elementes unter Einschaltung eines grossen Widerstandes (6600 S.-E.) durch einen geradlinig ausgespannten Platindraht von 1 m Länge geleitet und die von zwei Punkten dieses Drahtes abgeleiteten Stromtheile durch eine Drahtrolle von 60 S.-E. Widerstand und die Bussole geleitet. Die Ausschläge des fast vollkommen aperiodisch schwingenden Magnets waren:

Abstand der Ableitungspunkte am Rheochord mm	Ausschläge in Scalentheilen in Millimetern		
			Mittel
10	6,0	6,0	6,00
20	13,0	12,0	12,50
30	18,0	17,0	17,50
40	24,0	24,0	24,00
50	29,5	30,0	29,75
100	59,5	61,0	60,25
200	118,0	122,0	120,00
300	176,0	184,0	180,00
400	240,0	245,0	242,50
500	296,0	305,0	300,50
600	355,0	367,0	361,00
700	415,0	432,0	423,50
800	476,0	495,0	485,50

Bedenkt man die Unvollkommenheit des Verfahrens, so ist die Uebereinstimmung hinreichend genau. Die grösste Abweichung, der Werth 13,0 in der einen Reihe beim Rheochordabstand 20, beträgt allerdings 8,33 Proc. des wahren Werthes, aber gerade hier liegt wahrscheinlich ein Ablesungsfehler vor. Alle anderen Fehler liegen innerhalb

derjenigen Grenzen, welche bei der gewählten Versuchsanordnung überhaupt zu erwarten waren.

Die nächste Versuchsreihe bestand darin, dass eine Anzahl von Widerstandsbestimmungen gemacht wurden, um zu sehen, welcher Grad von Genauigkeit zu erreichen war. Die Anordnung war die gewöhnliche mittelst der Wheastone'schen Brücke. Als Vergleichswiderstände dienten die Neusilberrollen eines Rheostaten von Siemens und Halske mit den Widerständen von 0,1 bis 5000, in Summa 10000 S.-E. Diese Widerstände nebst dem zu messenden bildeten den einen, der 1 m lange Platindraht des Rheochords den anderen Theil der Stromcombination. In die „Brücke“ war das Galvanometer eingeschaltet, seine eine Leitung war mit den Enden des zu messenden und des Vergleichswiderstandes fest verbunden; die andere Leitung endete in eine Platinschneide, welche auf den Rheochorddraht aufgesetzt wurde. Bei Gleichheit des zu messenden und des Vergleichswiderstandes musste der Strom in der Brücke = Null werden, wenn die Platinschneide in der Mitte des Rheochorddrahtes, beim Theilstrich 500 stand.

Bei Anwendung eines Leclanché'schen Elementes und kleiner Widerstände war die Empfindlichkeit so gross, dass es ausserordentlich schwer war, vollkommene Ruhe des Magnets zu erhalten, indem kleine Verschiebungen des Rheochordschiebers um 0,1 mm schon starke Ausschläge bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung gaben. Die Messungen wurden bequemer, wenn man den Strom durch Einschaltung eines passenden Widerstandes in die Hauptleitung abschwächte. Handelte es sich um Messung grösserer Widerstände, so wurde der ungeschwächte Strom des Elementes verwandt.

Als Beispiele führe ich folgende Messungen an:

1) Rolle *A*. Ihr Widerstand war früher von mir mittelst der Wiedemann'schen Bussole zu rund 60 S.-E. bestimmt worden. Die Messung mittelst des Mikrogalvanometers ergab 60,1 S.-E.

2) Rolle *B*. Secundäre Rolle eines du Bois-Rey-

mond'schen Inductoriums, verfertigt von Hrn. Krüger in Berlin, bezeichnet 4990 U. Ihr Widerstand ist = 238,2 S.-E.

3) Rolle *C*. Dergleichen von einem grösseren Inductorium derselben Art und von demselben Verfertiger, bezeichnet 10164 W, 734 E. Ich weiss nicht, ob das letztere den Widerstand in Siemens-Einheiten bedeuten soll. Ist dem so, dann ist die Bezeichnung falsch, denn ihr Widerstand ergab sich = 683 S.-E.

4) Die Rollen *B* und *C* zusammen; nach den eben angeführten Messungen = $683 + 238,2 = 921,2$ S.-E. Die Messung ergibt genau 921,2 S.-E.

5) Heberförmiges Glasrohr, mit gesättigter Zinksulfatlösung gefüllt und in Zinksulfatlösung umgestülpt, welche in zwei, innen amalgamirten Zinktrögen enthalten ist.

Widerstand = 7470 S.-E.

6) Ein längeres und engeres Rohr in gleicher Anordnung. Widerstand = 38780,5 S.-E.

Da als Vergleichswiderstand nur 10000 S.-E. zur Verfügung standen, so ist die letztere Messung durch Verschiebung der Platinschneide auf dem Rheochorddraht bis zur Herstellung des Gleichgewichtes in der Brücke gewonnen worden.

Um eine Vorstellung von dem zu erlangenden Grade der Genauigkeit zu geben, theile ich Folgendes mit.

Bei Messung der Rolle *C* (683 S.-E.) verursachte nach Herstellung des Gleichgewichtes die Einschaltung von 0,1 S.-E. einen Ausschlag von 10 mm. Man hätte also eine Widerstandsänderung von 0,01 S.-E. noch sehr gut wahrnehmen können, d. h. 0,0146 Proc. des Werthes.

Bei der Combination der Rollen *B* und *C* (921,2 S.-E.) gibt 0,1 S.-E. einen Ausschlag von 6,3 mm; das ergibt eine Genauigkeitsgrenze von 0,016 S.-E. oder 0,0017 Proc.

Bei der Zinksulfatlösung von 7470 S.-E. gaben 0,1 S.-E. einen Ausschlag von 3 mm, was einer Genauigkeitsgrenze von 0,004 Proc. entspricht.

Bei der Zinksulfatlösung von 38780,5 S.-E. endlich gaben 2,0 S.-E. einen Ausschlag von 1 mm; das ergibt eine Genauigkeitsgrenze von 0,005 Proc.

In Wirklichkeit freilich ist eine derartige Genauigkeit nicht zu erreichen. Das liegt besonders an der Erwärmung der Leiter durch den Strom, welche natürlich in dem zu messenden Leiter und in den Widerstandsrollen des Rheostaten nicht in gleicher Weise verläuft. Man sieht daher, wenn man den Gleichgewichtszustand hergestellt hat, bei dauerndem Stromschluss den Magnet sich wieder in Bewegung setzen, in der einen oder der anderen Richtung, je nachdem die Erwärmung hier oder dort stärker ist. Dieser Fehler hängt nicht von dem Galvanometer ab. Im Gegentheil würde sich dasselbe bei seiner Empfindlichkeit sehr gut zur Temperaturmessung nach der Siemens'schen Methode eignen.

Dagegen ist ein anderer Fehler von der Anordnung des Instrumentes bedingt, das fortwährende Wandern des Nullpunktes nach der Astasirung durch den Haüy'schen Stab. Diesen Fehler theilt das Mikrogalvanometer mit allen auf gleiche Weise astasirten Instrumenten. Bei Nullbeobachtungen, wie die Widerstandsmessungen oder die Messung electromotorischer Kräfte sind, ist dieser Fehler freilich sehr störend.

Wenn man aber auch nur die Genauigkeit bis auf 0,1 Proc. veranschlagt, so ist das schon für die Mehrzahl der nothwendigen Messungen ausreichend.

Handelt es sich um Messungen von Inductionsrollen, so sieht man bei Stromschluss und Stromöffnung eine zuckende Bewegung des Magnets infolge des Extrastromes. Sind die Vergleichswiderstände inductionsfrei gewickelt, so erhält man nach Herstellung des Gleichgewichts diese Ausschläge ganz rein, sodass man also hiermit die Extrastrome in ähnlicher Weise demonstrieren kann, wie ich dies schon früher¹⁾ auseinandergesetzt habe.

Ebenso wie bei Widerstandsmessungen ist das Mikrogalvanometer vorzüglich geeignet für Messungen electromotorischer Kräfte nach der Compensationsmethode von Poggen-dorff und du Bois-Reymond. Für so kleine Potential-

1) Rosenthal, Electrotechn. Zeitschr. 4. p. 147. 1883.

differenzen, wie sie bei electrophysiologischen Untersuchungen zu messen sind, bedarf es sehr empfindlicher Apparate. Da ich das Instrument gerade für solche Zwecke construirt hatte, war ich natürlich sehr gespannt darauf, wie die Vergleichung mit der bisher für solche Versuche allgemein gebrauchten Wiedemann'schen Bussole ausfallen werde.

Der Muskelstrom eines *M. sartorius* von einem kleinen Frosch, von Aequator und Querschnitt abgeleitet, warf den Spiegel weit über den Bereich der Scala. Ein winziger Fetzen dieses Muskels, aus etwa drei Muskelfasern von 1 cm Länge bestehend, gab bei derselben Anordnung etwa 400 mm Ausschlag. Nach diesen Proben war ich sehr überrascht, vom Nervenstrom nur kleine Ausschläge, 20—30 mm bei sogenannter starker Anordnung (Aequator-Querschnitt) zu erhalten, also etwa ebensoviel wie Hr. du Bois-Reymond an seiner Wiedemann'schen Bussole ohne Astasirung.¹⁾ Da die electromotorische Kraft der Nerven nicht so erheblich geringer ist als die der Muskeln²⁾, so kann die geringere Empfindlichkeit unseres Mikrogalvanometers nur in dem grossen Widerstand des Nerven begründet sein. Hrn. du Bois-Reymond's Bussole hat 12000 Windungen feinen Drahtes, unser Mikrogalvanometer nur 400. Ist es bei geringen Widerständen der sonst im Kreise befindlichen Theile trotzdem der Bussole überlegen, so muss diese Ueberlegenheit mehr und mehr schwinden, je grösser diese Widerstände werden. Da bei der ersten Construction alle Anhaltepunkte für die zu wählenden Dimensionen fehlten, so ist das Instrument für die Mehrzahl der Versuche ausreichend ausgefallen, nicht aber für den Nervenstrom.

Diesem Fehler ist leicht abzuhelpfen. Ich habe jetzt bei Hrn. Edelman Rollen mit grösserer Windungszahl bestellt, und zwar sollen zwei zu einem astatischen System verbundene Magnete und vier Rollen Verwendung finden. Die Auswechselung der Magnete und Rollen ist bei der gewählten Construction leicht zu bewerkstelligen, nachdem man das

1) E. du Bois-Reymond, Gesammelte Abh. 1. p. 154. 1875.

2) l. c. 2. p. 250.

Spiegelgehäuse und die untere Verschlussplatte (*p*, Fig. 5) entfernt hat. Man wird also zu einem Universalinstrument zwei Magnete und zwei Rollenpaare nöthig haben, von denen die einen für die grösste Mehrzahl der Versuche ausreichen, die anderen für Versuche über den Nervenstrom dienen werden. Ich werde über den Ausfall dieses Versuches seiner Zeit berichten.

Eines Vorzugs, welchen die Wiedemann'sche Bussole hat, entbehrt unser Mikrogalvanometer. Bei ersterer kann man, wenn stärkere Ströme beobachtet werden sollen, die Empfindlichkeit durch Entfernung der Rollen vermindern. Um denselben Zweck beim Mikrogalvanometer zu erreichen, bleibt nichts übrig, als die Einschaltung passender Nebenschliessungen. Alles in allem gerechnet, glaube ich die neue Form des Galvanometers den Physikern und Physiologen wohl empfehlen zu können. Seine Behandlung ist so einfach, dass es sich gewiss Freunde erwerben wird. Namentlich bei der Verwendung zu Demonstrationen in Vorlesungen ist sein Gebrauch sehr bequem. Man hat dann nur nöthig, ein anderes Spiegelgehäuse anzubringen, welches die Entwerfung eines objectiven Bildes einer seitwärts aufgestellten Lichtquelle auf einem Schirme gestattet.

Erlangen, im October 1884.

**X. Das Quadriplar-Magnetometer,
ein neues Instrument zur Bestimmung der Variationen der verticalen erdmagnetischen Kraft;
von Karl Schering.**

(Aus den Gött. Nachr. Nr. 7. vom 16. Juli 1884 mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

(Hierzu Taf. VIII Fig. 6–11.)

Im Jahre 1878 hatten wir, mein Bruder Ernst Schering, der Director des erdmagnetischen Observatoriums in Göttingen, und ich, durch eine neue Anwendung des dem Weber'schen Erdinductor zu Grunde liegenden Principis,