

Sitzungsberichte

der

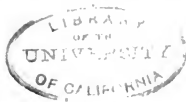
mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XVIII. Jahrgang 1888.



München

Verlag der K. Akademie
1889.

In Commission bei G. Franz.

Sitzungsberichte

der

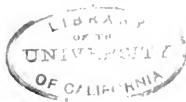
mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XVIII. Jahrgang 1888.



München

Verlag der K. Akademie
1889.

In Commission bei G. Franz.

Ueber den absoluten elektrischen Leitungswiderstand des Quecksilbers.

Von Friedrich Kohlrausch.

(Eingelaufen 27. Dezember 1857.)

Der königlichen Akademie der Wissenschaften beehre ich mich einen Bericht über die mir aufgetragene Bestimmung des Quecksilberwertes des Ohm-Widerstandes vorzulegen.

Das Messungsverfahren, welches ich wählte, ist im Princip die von Wilh. Weber gegebene sogenannte Dämpfungsmethode mit einer von Dorn vorgeschlagenen Abänderung. In der Ausführung habe ich mich bestrebt, verschiedene Schwierigkeiten, welche der Methode anhaften, zu beseitigen. Wenn hierbei auch oftmals, wie dies bei derartigen Arbeiten der Fall zu sein pflegt, eine Charybdis sich nur durch eine Scylla umgehen liess, so glaube ich doch, dass die Anordnungen, insbesondere die zuletzt getroffenen, welche wesentlich von allen bis jetzt gebrauchten abweichen, eine bedeutende Vereinfachung darstellen.

Die vorliegende Aufgabe zerfällt in zwei Teile. Es ist der absolute Leitungswiderstand eines Multiplicators zu ermitteln und derselbe ist dann mit dem Widerstande einer geeigneten Quecksilbersäule zu vergleichen.

Für den zweitgenannten Teil der Arbeit hatte ich schon früher Herrn Strecker veranlasst, Vorstudien und Vorbereitungen zu machen. An seine mit grosser Umsicht ausge-

führte Arbeit habe ich meine Messungen ohne erhebliche Mühe anschliessen können. Ich hatte dabei Gelegenheit zu bestätigen, dass die Schwierigkeiten, welche von einigen Seiten früher in der Verwertung des Quecksilbers zu Normalwiderständen gefunden wurden, den neueren Untersuchungen entsprechend, nicht vorhanden sind. Auf dieser Seite der Arbeit liegen meines Erachtens keine in Betracht kommenden Fehlerquellen.

Der absolute Leitungswiderstand des Multiplicators wird aus der Dämpfung seiner langsam schwingenden Magnetonadel erhalten, wenn ausserdem deren Schwingungsdauer und das Verhältniss ihres Stabmagnetismus zum Erdmagnetismus bekannt sind. Gefordert ist aber endlich noch die Kenntnis der absoluten Galvanometerconstante des Instrumentes. Die letztere bestimmte Weber aus den gemessenen grossen Dimensionen des Multiplicators. Da in diesem Falle die Dämpfung schwach und ihre Bestimmung desswegen mit relativ grossen Fehlern behaftet ist, so schlug Dorn vor, die Galvanometerconstante eines engen Multiplicators empirisch durch Vergleichung mit einer Tangentenbussole zu ermitteln. Da diese beiden Instrumente naturgemäss eine sehr verschiedene Empfindlichkeit besitzen, so wird von dem Strome, welcher die Tangentenbussole durchfliesst, nur ein bekannter kleiner Bruchteil durch den Multiplicator abgezweigt, was mittels bekannter Widerstände nach einem zuerst von Bosscha gebrauchten Verfahren geschieht.

So einleuchtend der Vorteil dieser Anordnung ist, so muss man doch zugeben, dass gerade hier eine Schwierigkeit nur durch die Einführung von anderen, freilich geringeren Schwierigkeiten beseitigt wird. Denn diese empirische Bestimmung der Galvanometerconstante, welche mit besonderer Schärfe ausgeführt werden muss, weil die Constante in das Endresultat im Quadrate eintritt, setzt sich aus folgenden Teilen zusammen.

1. Der Berechnung der Constante der Tangentenbussole.
2. Der Herstellung eines bekannten Stromabzweignungsverhältnisses in Gestalt von zwei genau bekannten Widerständen. Da die Empfindlichkeit des Multiplicators sehr viel grösser ist als diejenige der Tangentenbussole, so muss der eine Widerstand entsprechend grösser sein als der andere. Entweder wird also der eine von ihnen sehr klein oder der andere sehr gross werden. Abgesehen von den Fehlerquellen, die überhaupt die genaue Bestimmung eines sehr von eins abweichenden Widerstandsverhältnisses erschweren, erfordert im ersteren Falle die Zuleitung, im anderen die Isolirung eine besondere Aufmerksamkeit. Auch auf den störenden Temperatureinfluss, der schon wegen der Stromwärme auftreten kann, muss hingewiesen werden.
3. Der Ermittlung des Verhältnisses zweier Skalenausschläge,
 4. des Verhältnisses zweier Skalenabstände,
 5. des Verhältnisses der beiden magnetischen Feldstärken für die beiden Instrumente, wobei die Ortseinflüsse und die Instrumentaleinflüsse gesondert zu bestimmen sind.
6. Da man die Ausschläge hinreichend gross für eine genaue Messung nehmen muss, so wird die Aenderung der Empfindlichkeit mit dem Ausschlage bekannt sein müssen.
7. Beide Instrumente üben einen gegenseitigen Einfluss aus, welcher bekannt sein oder sonst eliminirt werden muss.
8. Die erdmagnetischen Deklinationsschwankungen sind unschädlich zu machen.
9. Dasselbe gilt von den Stromschwankungen.
10. Etwaige zeitliche Aenderungen der Empfindlichkeit selbst sind zu controliren.

Jeder Kundige weiss, wie schwer es ist, jedes der genannten Messungselemente mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{10000}$ auszuführen. Würden aber nur fünf Fehler von diesem

Betrage gemacht, die sich ungünstig summirten, so ist die Galvanometerconstante um ein halbes, und das Resultat also hierdurch allein um ein ganzes Tausendtel unrichtig.

Nachdem ich bei zwei im vorigen Jahre ausgeführten Messungsreihen mich eines Verfahrens wie das eben beschriebene bedient hatte, habe ich mich desswegen noch entschlossen, die Galvanometerconstante in einer äusserlich ganz verschiedenen Weise zu bestimmen, welche die unter Nr. 3 bis 9 genannten Aufgaben fast vollkommen vermeidet.

Hierdurch ist eine grosse Vereinfachung erzielt worden, deren günstiger Einfluss auf das Resultat noch steigt, wenn man einen anderen Punkt berücksichtigt, der ebenfalls als eine Unannehmlichkeit des Verfahrens anzusehen ist.

Das Verhältnis des Nadelmagnetismus zum Erdmagnetismus wird durch die Ablenkung bestimmt, welche eine zweite Magnetnadel aus passender Entfernung durch den Magnet des Galvanometers erfährt. Hier kommt in einem Correctionsgliede der Polabstand dieses Magnets herein¹⁾. Diese Correction beläuft sich auf etwa $\frac{1}{100}$ des Ganzen. Es ist nicht ganz leicht, einen Polabstand genau zu bestimmen. Die gleich zu beschreibende neue Anordnung gestattet, den Einfluss des Polabstandes überhaupt beliebig zu vermindern.

Diese Vorteile wurden durch die Anwendung einer Tangentenbussole in Gestalt eines so grossen Drahringes erreicht, dass die Nadel des Multiplicators, welche 20 cm lang war, zugleich als die Nadel zu dem ersteren dienen konnte. Der grosse von Herrn Siedentopf in Würzburg sehr geschickt und sorgfältig ausgeführte Rahmen hatte nahe 160 cm Durchmesser. Er wurde mit soviel Windungen versehen, dass seine Galvanometerconstante nahe den 100. Teil

1) Oder was dasselbe sagt, die Beobachtung der Ablenkung aus einer zweiten Entfernung.

von derjenigen des Hauptmultiplikators erreichte. Beide Multiplikatoren wurden concentrisch mit der Magnetenadel aufgestellt und der 100. Teil desjenigen Stromes, welcher durch den grossen Multiplikator ging, durch den Hauptmultiplikator abgezweigt. Wäre das Empfindlichkeitsverhältnis genau 1:100, so würde die Nadel, bei entgegengesetzter Stromrichtung in beiden Multiplikatoren, in Ruhe bleiben. Die kleine bestehende Ungleichheit wird durch die Grösse des bestehenden kleinen Ausschlages gemessen. So ist es gelungen, ein einer Nullmethode nahe kommendes Verfahren zur Messung der Galvanometerconstante anzuwenden.

Wählt man nun ferner den Abstand, aus welchem die Ablenkungsbeobachtungen (v. S.) angestellt werden, von passender Grösse, so kann man erreichen, dass die Correction, welche aus der Nadellänge in der Tangentenbussole entsteht, sich gegen die Correction bei der Messung des Verhältnisses des Nadelmagnetismus zum Erdmagnetismus bis auf ganz kleine leicht genügend genau zu ermittelnde Glieder heraushebt. Dadurch entsteht der zweite oben erwähnte Vorteil.

Es mögen hier gleich die sonstigen Anordnungen genannt werden, die von den gebräuchlichen abweichen.

Hierzu gehört zunächst die Herstellung und genaue und rasche Messung des für die Stromabzweigung notwendigen Widerstandsverhältnisses. In dieser Richtung darf ich auf meine frühere der k. Akademie gemachte Mitteilung verweisen.¹⁾

Weiter hatte das Galvanometer eine sonst noch nicht gebrauchte, wie ich glaube zweckmässige Einrichtung. Die Magnetenadel wurde nicht in eine um die Windungen herumgreifende Suspension gelegt, sondern sie war an einem durch

1) Sitz.-Ber. d. k. b. Akad. d. W. 1887, S. 11.

die oberen Windungen frei hindurchgehenden verticalen Stiel befestigt. Zu diesem Zwecke waren die Windungen nicht in gewöhnlicher Weise eben aufgewickelt, sondern sie waren oben in der Mitte etwas auseinandergeführt, wodurch ein Zwischenraum entstand, durch welchen der Stiel der Magnetnadel eingeführt werden konnte. Das Aufwinden des Drahtes war wohl etwas mühsam, liess sich aber mit Sorgfalt gleichmässig ausführen. Der Ablesespiegel, an dem Stiel oberhalb des Magnetes befestigt, befand sich mit dem letzteren innerhalb des Multiplicators. Es genügte also zur Abhaltung des Luftzuges, den Multiplicator durch Deckplatten mit Planglas zu verschliessen.

Der Multiplicator war auf einer Kreisteilung drehbar aufgestellt. Er trug auf der erwähnten Durchlassöffnung der Windungen eine Vorrichtung, durch welche der Magnetstiel festgeklemmt und nun mit dem Multiplicator horizontal gedreht werden konnte. Der Eigenmagnetismus der Nadel wurde dann so bestimmt, dass kleine Magnetometer in passender Entfernung (etwa 1 m) aufgestellt und durch Abwechselung der beiden Ostwestlagen des Magnetes abgelenkt wurden. Dass der geklemmte Stab nach Azimut und Neigung die richtige Stellung hatte, wurde durch zwei Spiegel festgestellt.

Als Vorteile dieser Anordnung sehe ich folgende Punkte an. Der Magnet bildet mit seinem Träger ein festes System. Die Vermeidung der gewöhnlichen um den Rahmen herumgreifenden Suspension ist zugleich eine Vermeidung unnötiger Belastung und Luftreibung. Die Luftdämpfung war klein und ausnehmend constant. Das Gewicht ist nicht grösser, als dass ein Metalldraht von hinreichender Tragkraft noch ein mässiges Torsionsverhältnis gibt. Auch dass nicht ein grösserer Schutzkasten notwendig ist, in welchem störende Luftströmungen entstehen könnten, ist ein Vorteil.

Ferner braucht der Magnet während der ganzen Beobachtungsreihe nicht aus dem Multiplicator entfernt zu werden. Man bleibt dadurch leichter Herr der Temperatur des Magnets und derjenigen des Multiplicators. Endlich braucht man nicht zu befürchten, dass die Galvanometerconstante durch das Herausnehmen und Wiedereinlegen des Magnets kleine Aenderungen erfahre. Die Lage des Stiels gegen die Oeffnung im Multiplicator lässt die unveränderte Stellung leicht controliren. Die Drehung des Multiplicators auf seiner Kreisteilung dient zugleich, um die Abhängigkeit der Galvanometerconstante von der Grösse des Ausschlages zu bestimmen, wobei ich mich der früher von mir beschriebenen Versuchsanordnung bediente.¹⁾

Allerdings kommt bei den Ablenkungen der Magnetometer durch den Magnet an Stelle des magnetischen Feldes im Multiplicator dasjenige der Magnetometer in die Beobachtung und muss also auf das erstere Feld umgerechnet werden.²⁾ Hätte der Multiplicator einen beträchtlichen magnetischen Eigeneinfluss geäussert, so würde ich Bedenken getragen haben, so vorzugehen, wie hier geschehen ist. Derselbe war aber aus elektrolytischem Kupferdraht hergestellt, welcher nach dem von Dorn angegebenen Verfahren von den Herren Hesse Söhne in Heddernheim angefertigt und mit weisser Seide besponnen war. Wie sich sowohl aus Drehungs- wie aus Schwingungsversuchen ergab, erwies sich der magnetische Localeinfluss des Multiplicators als unmerklich. Die stets unterhalb 0,0005 bleibenden Instrumentaleinflüsse der fünf Magnetometer, zwischen denen man wechselte,

1) Wied. Ann. Bd. 26, S. 430, 1885.

2) Wird der Magnet, wie gewöhnlich, zur Bestimmung seines Magnetismus, aus der Suspension herausgenommen, so ist aber auch darauf zu achten, dass die Suspension aus unmagnetischem Material besteht, da sonst hieraus eine Fehlerquelle erwachsen könnte.

wurden in bekannter Weise bestimmt. Zur Messung der kleinen lokalen Aenderungen des Erdmagnetismus diente das von mir beschriebene Variometer.¹⁾

Ich will noch folgende Einzelheiten erwähnen.

Zur Messung der Nadeldämpfung im geschlossenen Multiplier erteilte man dem Magnet mittels eines kleinen Inductors, der gleich nachher ausgeschaltet wurde, Impulse in regelmässiger Folge. Dass auf diese Beobachtungen eine besondere Sorgfalt verwendet wurde, braucht kaum bemerkt zu werden. Die Reduktion der Dämpfung auf kleine Schwingungen geschah nach den von K. Schering angegebenen Regeln.²⁾

Zur Vergleichung mit Quecksilber diente entweder direkt das im Wasserbade stehende Strecker'sche Rohr Nr. 3³⁾ oder ein Neusilberwiderstand, der von Zeit zu Zeit mit dem letzteren verglichen wurde. Die Temperaturänderungen wurden nach der Strecker'schen Formel in Rechnung gesetzt.

Zur Widerstandsvergleichung gebrauchte ich immer das Differentialgalvanometer im übergreifenden Nebenschluss⁴⁾. Der Multiplier- bzw. der Neusilberwiderstand war um ein wenig grösser gehalten als der Quecksilberwiderstand. Der Unterschied wurde mittels eines Rheostaten im Nebenschlusse ermittelt.

Die Selbstinductionsconstante des Galvanometers wurde nach mehreren Methoden bestimmt. Zur Einführung derselben in die Rechnung diente die von Dorn gegebene Formel.⁵⁾

1) Sitz.-Ber. 1883, 1.

2) K. Schering, Wied. Ann. Bd. 9, S. 471. 1880.

3) Strecker, Abh. d. k. Akad. d. W. (2) Bd. 15 II, 1885.

4) Sitz.-Ber. der k. preuss. Akad. d. Wiss. 1883, S. 465. Wied. Ann. Bd. 20, S. 76, 1883.

5) Wied. Ann. Bd. 17 S. 783, 1882.

Ebenso wurde der sorgfältig gemessene magnetische Inductionscoefficient des Stabes einschliesslich des Quermagnetismus nach Formeln von Dorn eingeführt.

Die Galvanometerconstante wurde von Zeit zu Zeit gemessen, wie oben beschrieben worden ist.

Die entscheidenden Beobachtungssätze führte man in der Reihenfolge aus, dass zuerst das Verhältnis des Nadelmagnetismus zum Erdmagnetismus, dann Schwingungsdauer und Dämpfung bei geöffneter Kette beobachtet wurde. Hierauf folgte eine Reihe von abwechselnden Sätzen Dämpfungsbeobachtung mit geschlossener Kette und Vergleichung mit Quecksilber. Dann ein abermaliger Satz Schwingungsdauer und zum Schluss eine zweite Bestimmung des Nadelmagnetismus mit vertauschten Magnetometern.

Die beschriebenen Einrichtungen ermöglichten, alle diese zur absoluten Widerstandsmessung und Quecksilbervergleichung notwendigen Messungen in drei Stunden auszuführen, von welcher Zeit etwa die Hälfte auf die eigentliche Widerstandsbestimmung, d. h. auf alternirende Dämpfungsbeobachtungen und Quecksilbervergleichen verwendet wurde. Da die erdmagnetischen Schwankungen gering waren und die Temperaturänderung ziemlich gleichmässig verlief, so könnte man die Mittelwerte, da alle Beobachtungen der Zeit nach symmetrisch verteilt waren, ohne einen wesentlichen Fehler direct verwenden. Es wurden aber die erdmagnetischen Variationen an einem Ablenkungsvariometer und die Temperatur des Multiplicators und Magnetes an dem Thermometer im Multiplikator abgelesen und danach die stets kleinen Correctionen angebracht.

Die Arbeit wurde in dem eisenfreien Observatorium des physikalischen Instituts in Würzburg ausgeführt.

Für die Munificenz, mit welcher die königliche Staatsregierung und Landesvertretung auf Antrag der k. Akademie die Mittel zur Arbeit besonders bewilligt hatten, glaube ich bei der Veröffentlichung des Resultates den schuldigen Dank aussprechen zu dürfen.

Die Beobachtungen sind zeitlich in vier Gruppen verteilt, je zwei im Jahre 1886 und 1887. In jedem Jahre kamen ausser dem Magnet und dem Quecksilberrohre lauter verschiedene Instrumente zur Anwendung, so dass die beiden Hauptgruppen als zwei selbständige Messungen anzusehen sind. Insbesondere wurde 1886 die bei der Messung des elektrochemischen Aequivalentes mit W. Kohlrausch gebrauchte Tangentenbussole mit dickem Kupferreif¹⁾, 1887 der grosse Rahmen von 160 cm Durchmesser zur Bestimmung der Galvanometerconstante verwendet.

Im zweiten Jahre wurde auch ein neuer Multiplicator gewickelt, und zwar bifilar, um bei der Widerstandsvergleichung mit Quecksilber Extraströme und die Stromwirkung auf die Magnetnadel vermeiden zu können. Das bei der Bestimmung der Galvanometerconstante gebrauchte Widerstands-Zweigverhältnis war zuerst 10:9000 dann 10:1000 Ohm.

Die Ablenkungen fanden 1886 aus der zweiten, 1887 aus der ersten Gauss'schen Hauptlage statt und zwar an fünf verschiedenen Magnetometern.

Eine Abänderung wurde auch mit der Magnetnadel vorgenommen, und zwar schon nach der ersten Gruppe 1886, indem man durch eine Belastung des Magnets mit Messinggewichten die für die Dämpfungsbeobachtungen etwas kleine Schwingungsdauer von 9 auf 14 Secunden brachte. Man überzeugte sich, dass weder die (aufgeschnittenen) Messing-

1) Wied. Ann. Bd. 15, S. 552, 1882.

gewichte noch auch der Magnetstab selbst durch Ströme, welche bei den Schwingungen in ihnen inducirt werden könnten, die Dämpfung in wahrnehmbarer Weise beeinflussen.

Die beiden Hauptgruppen haben Resultate geliefert, die um etwa 1,4 Tausendtel auseinandergehen. Dieser Unterschied ist bei der grossen Anzahl von Elementen, aus denen sich die Messung zusammensetzt, möglicherweise einfach auf Beobachtungsfehler zurückzuführen, wobei die Bestimmung der Galvanometerconstante den Hauptanteil bilden wird und vielleicht auch der Polabstand des Magnets, der in verschiedener Weise in die Resultate eintritt, einen anderen Teil übernimmt.

Nach constanten Fehlerquellen habe ich ohne Erfolg gesucht. Insbesondere habe ich die beiden zur Verwendung gekommenen Tangentenbussolen durch concentrische Aufstellung zu demselben Magnetometer direct mit einander verglichen und dabei in Uebereinstimmung gefunden. Auch der Polabstand ist schliesslich noch einmal bestimmt worden.

Endlich wären für die erste Partialgruppe Isolationsfehler bei der Stromabzweigung in Frage zu ziehen, da man bei Widerständen bis zu 9000 Ohm in dieser Beziehung nicht vorsichtig genug sein kann. Ich halte dieselben für unwahrscheinlich, da zwischen der ersten und zweiten Gruppe im Jahre 1886, wo so grosse Widerstände allein angewandt wurden, eine Paraffinirung der Drähte und eine neue Isolirung des Rheostaten durch Kautschuk liegt und da hierdurch nichts im Resultate geändert worden ist.

Immerhin hat das Resultat 1887 wegen seiner einfacheren Methoden, da ferner der Polabstand sich hier fast vollständig heraushebt, ein grösseres Gewicht zu beanspruchen.

In der Berechnung des Schlusswertes soll das zweite Hauptresultat deswegen mit doppeltem Gewichte eingesetzt werden.

Im Einzelnen wurde der Wert des Ohm in Meter/Quadratmillimeter Quecksilber von 0° gefunden

1886 I	1,0633	1,0647	1,0640
--------	--------	--------	--------

1886 II	1,0644	1,0646	1,0643
---------	--------	--------	--------

1886 Mittel	1,0642
-------------	--------

1887 I	1,0625	1,0629	1,0630
--------	--------	--------	--------

1887 II	1,0627	1,0626
---------	--------	--------

1887 Mittel	1,0627
-------------	--------

Hauptmittel **1,0632.**

Ich glaube nicht, dass bei der ausführlichen Mitteilung der Arbeit, welche ich der k. Akademie der Wissenschaften bald vorzulegen die Ehre haben werde, eine Aenderung dieser Zahlen eintreten wird.

Um die hiesigen Messungen, soweit sie sich auf die Quecksilberwiderstände beziehen, mit anderen zu vergleichen, ist ein Etalon nach England gesandt worden, wo Professor Glazebrook in Cambridge die Güte haben wird, eine Vergleichung mit den Resultaten von seinen und den Arbeiten von Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick auszuführen.

Ich muss noch der wertvollen, ausdauernden Beteiligung der Herren Kreichgauer, Heydweiller und Sheldon an der Arbeit dankbar anerkennend gedenken.