V. Ueber den *electrischen Leitungswiderstand des Quecksilbers*; von *Friedrich Kohlrausch*.

(Hierzu Taf. VIII Fig. 1–11.)

1. Ich gebe hier einen Auszug aus einer zu Würzburg im Auftrage der k. bayrischen Akademie der Wissenschaften ausgeführten und in deren Abhandlungen (II. Classe, Bd. 16. p. 629 bis 737, 1888) veröffentlichten Arbeit. Einzelheiten der Messungen und der Controlen sind hier weggelassen. Die Bezeichnung der Paragraphen und Formeln ist beibehalten worden.

2. Wahl der Methode. — Zur absoluten Widerstandsmessung wählte ich zunächst die Weber'sche sogenannte Dämpfungsmethode mit einer von Dorn vorgeschlagenen Modification. Es wird hier in absolutem Maasse der Widerstand eines empfindlichen Galvanometers mit langsam schwingender Magnetnadel gemessen. Derselbe findet sich in der Hauptsache aus der Schwingungsdauer und der Dämpfung, welche die Nadel durch den geschlossenen Multiplicator erfährt, sowie aus dem Verhältniss des Nadelmagnetismus zu der Stärke ihres magnetischen Feldes.

Gefordert ist ferner die Kenntniss der absoluten Galvanometerconstante des Instrumentes. Weber bestimmte diese aus den gemessenen Dimensionen des Multiplicators selbst; Dorn¹⁾ führte statt dessen das von Bosscha zuerst gebrauchte empirische Verfahren der Vergleichung mit einer Tangentenbussole mittels Stromabzweigung ein. Man erhält dadurch den Vorthail viel stärkerer Dämpfung der Nadel. Nach diesem Verfahren habe ich die ersten Messungsreihen i. J. 1886 ausgeführt. Hinterher sah ich, dass das Verfahren sich bedeutend vereinfachen und verfeinern lässt, indem man die Nadel des Galvanometers zugleich als die Nadel der Tangentenbussole gebraucht. Dies geschah in einer Gruppe von Messungen i. J. 1887, und zwar unter Anwendung von fast lauter neuen Instrumenten. Beide Resultate

1) Dorn, Wied. Ann. 17. p. 775. 1882.

sind daher selbständige. Bei der Berechnung des Mittels gebe ich dem zweiten Resultate wegen der geringeren Fehlerquellen das doppelte Gewicht.

In Bezug auf die Arbeiten mit Quecksilber hat mir die von K. Strecker¹⁾ im Würzburger Laboratorium vor vier Jahren ausgeführte eingehende Untersuchung als Grundlage gedient. Die Leitung, deren absoluter Widerstand gemessen wurde, erhielt zu dem Zweck einen Widerstand von ungefähr 1,4 Q.-E., welcher demjenigen des besten, nur mit geringer Kaliber-correction behafteten Strecker'schen Quecksilberrohres Nr. 3 hinreichend nahe kam, um direct damit verglichen werden zu können. Dies geschah nach dem von mir für diese Zwecke ausgearbeiteten Verfahren des Differentialmultipliers im übergreifenden Nebenschluss¹⁾ (§ 36). Schwierigkeiten haben sich bei den Arbeiten mit Quecksilber nicht ergeben.

3. Die Messungen erfordern grossentheils zwei gleichzeitig arbeitende Beobachter. Die erste Reihe habe ich mit Hrn. Kreichgauer ausgeführt, welcher auch bei den Vorarbeiten, bei der Herstellung des ersten Multipliers und des Verzweigungsreostaten, der Bestimmung der electrischen und magnetischen Temperaturcoëfficienten, der magnetischen Localeinflüsse, des Selbstinductionscoëfficienten, dann der Verification vieler Scalen und der Controle der Quecksilber-röhren eine sehr werthvolle Unterstützung geleistet hat. Bei der zweiten bis vierten Reihe arbeitete ich mit Hrn. Sheldon, welchem ich ausser der Theilnahme an den entscheidenden Messungen gleichfalls die geschickte Ausführung zahlreicher kleinerer Aufgaben, einen Theil der vorbereitenden Rechnungen und manche Controle verdanke. Während der zweijährigen Beobachtungszeit hat endlich Hr. Heydweiller, der bereits in Florenz bei den Arbeiten von Prof. Roiti werthvolle Erfahrungen gesammelt hatte, vielfach an den Messungen Theil genommen, insbesondere so oft drei Beobachter erfordert wurden und dann, was vor allem schätzens-

1) K. Strecker, *Abh. d. Münch. Akad. II. Cl. 15. II. p. 188; Wied. Ann. 25. p. 252. 1885.*

2) Berlin, *Sitzungsber. 1883 März 29; Wied. Ann. 20. p. 76. 1883.*

werth ist, durch die Ausführung derjenigen Rechnungen, welche zur Beurtheilung der Resultate rasch nach den Beobachtungen angestellt werden mussten.

Für diese werthvolle Unterstützung, ohne welche die Arbeit nicht ausführbar gewesen sein würde, spreche ich den Herren meinen aufrichtigen Dank aus.

In mehrfacher Hinsicht ist auch eine Erleichterung der Aufgaben durch die vor einigen Jahren mit W. Kohlrausch ausgeführte Bestimmung des electrochemischen Aequivalents des Silbers¹⁾ entstanden. Ich werde diese Arbeit öfters zu citiren haben.

Die mechanische Herstellung der Hilfsmittel zu der Untersuchung verdanke ich der mechanischen Werkstätte von Hrn. Eugen Hartmann und zum grösseren Theile Hrn. Universitätsmechanicus Siedentopf in Würzburg, der insbesondere den Verzweigungsreostaten und die grosse Tangentenbussole sorgfältig und geschickt ausgeführt hat.

4. Uebersicht über die absolute Widerstandsbestimmung. — Es soll bedeuten:

G die Galvanometerconstante, d. h. das Verhältniss des absolut gemessenen Nadelausschlages zu der Stromstärke für das magnetische Feld Eins,

M den Magnetismus der Nadel,

H die horizontale Feldstärke im Multiplicator,

τ die Schwingungsdauer,

A das natürliche logarithmische Decrement der Nadel.

Von Torsion, Selbstinduction des Stromes, Veränderlichkeit von G und Luftdämpfung, sowie von einigen Correctionsgliedern werde zunächst abgesehen. Dann ist der absolute Widerstand der Multiplicatorleitung bekanntlich:

$$(1) \quad W = \frac{\pi^2}{2} \frac{1}{\tau} G^2 \frac{M}{H} \frac{1}{A} \sqrt{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}.$$

5. Die Galvanometerconstante G soll empirisch durch Vergleichung mit einem anderen ausgemessenen Stromkreise bestimmt werden, den wir uns als Tangentenbussole zunächst mit kurzer Nadel denken. Es bezeichne:

1) F. und W. K. Wied. Ann. 27. p. 1. 1886.

G_0' die durch Rechnung bestimmte von einem Strome Eins auf den Mittelpunkt der Tangentenbussole ausgeübte Kraft, d. h. $G_0' = 2\pi n/r$,

wenn r und n Halbmesser und Windungszahl darstellen.

H' sei das horizontale magnetische Feld der Tangentenbussole.

Es gehen nun die Ströme:

i und i' durch den Multiplicator und die Tangentenbussole;

α und α' seien die bezüglichen Ausschlagswinkel oder

x und x' die bezüglichen Scalenausschläge, wenn

A und A' die Scalenabstände bedeuten.

Dann hat man, wieder vorbehaltlich kleinerer Correctionen:

$$(2) \quad G = G_0' \frac{i'}{i} \frac{H}{H'} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'} = G_0' \frac{i'}{i} \frac{H}{H'} \frac{A'}{A} \frac{x}{x'}.$$

Ist die Nadel der Tangentenbussole nicht sehr kurz, so bedeute: l' ihren Polabstand (die reducirte Nadellänge).

Dann ist bekanntlich statt G_0' einzuführen:

$$(3) \quad G' = G_0' \left(1 + \frac{3}{16} \frac{l'^2}{r^2} \right).$$

6. Die Grösse M/H wird durch Ablenkung einer Magnetnadel bestimmt, deren Feld wir zunächst auch gleich H annehmen. Wir nennen:

φ den Ablenkungswinkel dieser Nadel, wenn

a ihr Abstand von dem Magnete M ist.

Ω sei der „Polabstand“ des Magnetes M .

Man hat dann, wenn die Ablenkung aus der ersten Gauss'schen Hauptlage stattfindet:

$$(4_I) \quad \frac{M}{H} = \frac{1}{2} a^3 \operatorname{tg} \varphi \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Omega^2}{a^2} \right);$$

oder aus zweiter Hauptlage:

$$(4_{II}) \quad \frac{M}{H} = a^3 \operatorname{tg} \varphi \left(1 + \frac{3}{8} \frac{\Omega^2}{a^2} \right).$$

Setzt man die Ausdrücke für G und M/H in (1) ein, so kommt bei erster Hauptlage:

$$(5_I) \quad \begin{cases} W = \frac{\pi^2}{2} \frac{1}{i} G_0'^2 \left(1 + \frac{3}{8} \frac{l'^2}{r^2} \right) \left(\frac{i'}{i} \frac{H}{H'} \frac{A'}{A} \frac{x}{x'} \right)^2 \\ \quad \cdot \frac{1}{2} a^3 \operatorname{tg} \varphi \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Omega^2}{a^2} \right) \frac{1}{A} \sqrt{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}, \end{cases}$$

oder bei zweiter Hauptlage:

$$(5_{II}) \quad W = \frac{\pi^2}{2} \frac{1}{i} G_0'^2 \left(1 + \frac{3}{8} \frac{l'^2}{r^2}\right) \left(\frac{i'}{i} \frac{H}{H} \frac{A'}{A} \frac{x}{x'}\right)^2 a^3 \operatorname{tg} \varphi \left(1 + \frac{3}{8} \frac{\mathfrak{L}^2}{a^2}\right) \frac{1}{A} \sqrt{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}.$$

7. Beobachtungen aus der zweiten Hauptlage. — Ich wünschte, die Galvanometernadel M nicht aus dem Multiplicator entfernen zu müssen. Ihr Ablesespiegel sollte sich ferner innerhalb des Multiplicators befinden, man musste also die Visirlinie ungefähr senkrecht zur Multiplicatoröffnung legen. Man sieht sofort, dass für die Anordnung der Instrumente alsdann die Beobachtungen aus zweiter Hauptlage wesentlich einfacher sind. Deswegen wurde im Anfange (1886) diese Beobachtungsweise gewählt.

8. Concentrische Aufstellung von Multiplicator und Tangentenbusssole. — Construirt man einen so grossen Stromkreis, dass die Galvanometernadel M zugleich die Nadel für den ersteren als Tangentenbusssole bilden kann, stellt man ferner beide Stromkreise concentrisch auf, so entstehen folgende äussere Vortheile, die nicht nur auf die Bequemlichkeit, sondern zugleich auf die Genauigkeit der Messung günstig wirken.

Erstens fällt die Vergleichung der magnetischen Felder fort, und man braucht keinen Scalenabstand genau zu messen, denn man beobachtet mit derselben Scala dieselbe Nadel. Zweitens kann man ja das Verhältniss i'/i dem Verhältnisse G/G' der beiden Empfindlichkeiten ungefähr gleich wählen und kann somit die Bestimmung von x/x' auf eine Nullmethode zurückführen, indem man beide Ströme entgegengesetzt laufen lässt.

8a. Eliminirung des Polabstandes $\mathfrak{L}$ durch die erste Hauptlage. — Würde man so aus zweiter Hauptlage beobachten, so würde der Correctionsfactor von der Nadelnlänge, da nun $l = \mathfrak{L}$ ist, $1 + \frac{3}{8} \mathfrak{L}^2 (1/r^2 + 1/a^2)$ werden, also einen grossen Einfluss erlangen. Bei der ersten Hauptlage aber haben die Correctionsglieder entgegengesetztes Vorzeichen; die Gesammtcorrection wird:

$$1 + \frac{3}{8} \frac{\mathfrak{L}^2}{r^2} - \frac{1}{2} \frac{\mathfrak{L}^2}{a^2}.$$

Die Correction hebt sich also jedenfalls theilweise fort. Wählt man beiläufig $3a^2 = 4r^2$ oder $a/r = 1,15$, so lässt sich die ganze aus der Nadellänge entspringende Correction auf einen beliebigen kleinen Betrag bringen.

In Nr. 8 und 8_a sind die Vereinfachungen der zweiten Beobachtungsgruppe (1887) enthalten.

9. Kritisches. — Es wird nicht überflüssig sein, sich von den Operationen, welche zur Fertigstellung einer Ohmbestimmung gefordert werden, Rechenschaft zu geben, um die Fehlerquellen wenigstens angenähert zu übersehen.

Die Galvanometerconstante G , die im Quadrat in das Resultat eingeht, ist abhängig von der Abmessung der Tangentenbussole und von deren Nadellänge, von dem Verhältniss der Abzweigungswiderstände, dem Verhältniss zweier Scalenausschläge, die von dem wechselnden Erdmagnetismus befreit werden müssen. Bei dem ersten Verfahren kommt noch das Verhältniss zweier Scalenabstände, zweier magnetischer Feldstärken und zweier Torsionscoefficienten hinzu, auch der gegenseitige Einfluss der beiden Stromkreise und die besonders zu bestimmende Veränderlichkeit von G selbst mit dem Ausschlage.

M/H enthält den Wirkungsabstand in dritter Potenz, dann Scalenausschlag und -Abstand, das Torsionsverhältniss des Magnetometers, das Verhältniss des magnetischen Feldes im Multiplicator zu demjenigen im Magnetometer; weiter die Polabstände des Magnets und der Nadel und die beiden magnetischen Inductionscoefficienten des ersteren.

Einfacher ist die Beobachtung der Schwingungsdauer τ , in welcher ausser den Fehlern der Zeitbestimmung nur der Gang des Chronometers und der verschwindende Einfluss der Amplitude steckt. Declinationsschwankungen des Erdmagnetismus bilden hier wohl die versteckte wesentlichste Fehlerquelle.

Zu befreien sind aber sowohl M/H wie τ noch von den Schwankungen der Temperatur und der Stärke des Erdmagnetismus.

Jedes log. Decrement $\mathcal{A}$ enthält drei Umkehrpunkte der schwingenden Nadel, auch die Inconstanz der Galvanometer-

function, und wird von den Declinationsschwankungen beeinflusst. Der Einfluss der Luftdämpfung muss besonders ermittelt werden.

Die genannten Messungsbestandtheile sind aber grösstentheils selbst keine Elementarbeobachtungen. Jeder Scalenabstand setzt sich zusammen aus der directen geometrischen Abmessung, aus zwei Glasdicken, meistens noch einem Abstände des Spiegels vom Aufhängefaden, dann der Neigung und Höhe des Spiegels, auch der Krümmung der Scala. Die Längen, seien es Kreishalbmesser oder Wirkungs- oder Scalenabstände oder Scalenausschläge, sind mit dem Comparator nachzumessen und wegen der Temperatur zu reduciren. Die Aenderungen des magnetischen Feldes bestehen aus localen und instrumentalen Einflüssen, die einzeln zu ermitteln sind, und zwar jeder durch eine grössere Anzahl von Ablesungen. Die zeitlichen erdmagnetischen Schwankungen enthalten ausser den directen Ablesungen die Temperatur und die Constante des Variometers. Der Polabstand, sowie der Inductionscoëfficient des Magnets wird durch eine verwickelte Messungsreihe erhalten.

Endlich sind bei den Quecksilberwiderständen die chemische Beschaffenheit des Quecksilbers, die Vollständigkeit der Rohrfüllung, die Temperaturfehler, die besonders auch den Widerstand des Multiplicators beeinflussen und die Widerstandsvergleiche selbst zu berücksichtigen.

Zu diesen übersehbaren Umständen tritt aber noch eine nicht geringe Summe von Fehlerquellen, z. B. bei der Orientirung und Nivellirung von Instrumenten und Maassstäben, ferner zeitliche Veränderungen, Isolirungsfehler, die Unvollkommenheiten der theoretischen Annahmen und selbst der Zahlenrechnung.

Alles zusammen wird für die in einem Resultat steckenden merklichen elementaren Fehlerquellen die Zahl 100 zu niedrig gegriffen sein.

Man könnte hiernach die Vermuthung aufstellen, das gewählte Messungsverfahren sei vielleicht ein ungünstiges. Aber wenn man andere Methoden analysirt, so findet man eine ähnlich grosse überraschende Anzahl von Fehlerquellen.

Unsere Methode gewährt jedenfalls den Vortheil, dass sie keine einzelnen an sich besonders schwierigen Bestandtheile enthält, was man nicht von allen übrigen sagen kann.

Einer grossen Anzahl kleiner Fehler kommt der Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu gute, dass mit wachsender Anzahl die Fälle ungünstiger Summirung relativ selten werden. Man darf sich aber nicht wundern, wenn bei einer solchen Anzahl von Fehlern, bei denen mancher 1/10000 erreichen mag, die Resultate um Tausendstel auseinandergehen, wie das sich bei den besten absoluten Widerstandsbestimmungen gezeigt hat.

Beschreibungen.

Das Galvanometer (Fig. 1 und 2).

10. Die Form des Galvanometers unterscheidet sich von anderen Galvanometern mit langer Nadel dadurch, dass Nadel und Spiegel sich innerhalb des Multipliers befinden und der Luftabschluss also durch zwei Deckel auf der Multiplieröffnung gebildet werden kann, während die gebräuchliche, um den Multiplier herumgreifende Suspension einen weiten Kasten mit der grösseren Gefahr von Luftströmungen nöthig macht.

Der Rahmen besteht aus Mahagoniholz. Die verticalen Wände sind 1,4 cm stark, 35 cm lang und 16 cm hoch. Der 24 cm lange Ausschnitt ist in dem mittleren Theile 6 cm hoch; die Enden bilden zwei Halbellipsen von 12 cm grosser und 6 cm kleiner Axe. Das eingeleimte Verbindungsstück hat einen äusseren Durchschnitt von 25 cm Länge, 6,8 cm Höhe und 57 cm Umfang. Die lichte Breite des Multipliers beträgt 12,0 cm.

Um den Magnet mit einem einfachen Stiel versehen zu können, der durch die Drahtwindungen hindurchtritt, ist auf die in der Mitte durchbohrte obere Horizontalfläche des Verbindungsstückes ein 6 cm langes und 4,5 cm hohes, in der Mitte 1 cm dickes und nach den Enden etwas verjüngtes Klötzchen aufgeleimt, welches eine Verticaldurchbohrung von 9 mm Durchmesser hat. Die Drahtwindungen weichen also

oben nach der Mitte zu um 3 mm aus ihrer sonstigen Windungsebene nach aussen. Die verticalen Wände sind, um Platz hierzu zu bieten, oben entsprechend ausgeschweift.

Luftabschluss. — Um die Abwesenheit magnetischer Einflüsse zu prüfen, sollte die Schwingungsdauer der Nadel in verschiedenen Stellungen des Multiplicators beobachtet werden können. Die Bretter, welche mit $1\frac{1}{2}$ cm Vorsprung die Oeffnung bedecken, sind deswegen ausgeschnitten und tragen aufgeleimte Kästchen, von denen das vordere eine durch ein Planglas geschlossene, 4,5 cm weite Oeffnung besitzt. Sind die Deckel mit den Kästchen nach aussen aufgesetzt wie in Fig. 2, so ist der innere Spielraum ausreichend gross, um den Multiplicator um die Nadel beliebig drehen zu können. Bei der absoluten Widerstandsbestimmung sassen die Kästchen aber nach innen, damit der Luftraum eng und sicher frei von Luftströmungen war.

Drahtwindungen. — Den Draht von 2 mm Stärke hatte Hr. Dorn die Güte, aus electrolytischem Kupfer selbst fertigen zu lassen. Er wurde von Hrn. Obermaier in Nürnberg mit weisser Seide doppelt besponnen. Der Draht hatte im allgemeinen eine kleine Spur von Diamagnetismus. Es wurden 372 Windungen in 7 Lagen aufgewunden.

11. Um den Extrastrom bei der Widerstandsvergleichung zu vermeiden, wurde 1887 ein zweiter Multiplicator congruent mit dem ersten hergestellt, der bifilar gewunden war. Ein kleiner Commutator aus Kupferklötzen auf Hartkautschuk sass auf dem Rahmen und liess die gewöhnlich hintereinander geschalteten Windungen bei der Widerstandsvergleichung gegeneinander schalten. Eine jetzt auftretende Wirkung der electrostatischen Capacität war nicht so gross, um die Widerstandsvergleichung zu stören.

12. Temperatur. — Die Drahtwindungen wurden mit einer Schicht starken Filzes umhüllt, welcher, um etwaige darauf gefallene fremde Körper leicht zu bemerken, noch mit weissem Zeichenpapier umgeben wurde. Eine aus dem Verbindungsstück ausgestemte Vertiefung liess durch eine Oeffnung der Seitenwand ein in $1/5^0$ getheiltes Thermometer

einführen, welches also mit der untersten Drahtlage in Berührung stand.

13. Magnet. — Der kreiscylindrische Magnet ist 20 cm lang und 1,5 cm dick. Mittels einer conischen Querbohrung in der Mitte wurde derselbe an einem 4 mm starken, 16 cm langen kupfernen Stiel mit conischem Ende durch eine Mutter unten befestigt (Fig. 1 und 2).

Derselbe Stiel trägt den äquilibrirten Glasspiegel von 4 cm Durchmesser. Die Hülse, mit welcher der Spiegel an den Stiel angeschraubt wird, ist aufgeschnitten und kann also im Hohlraum des Multiplicators über den Stiel geschoben werden. Der Spiegel sitzt mit seinem horizontalen Durchmesser ungefähr in der mittleren Höhe des Magnets, dem letzteren parallel.

Der Magnetismus des gekochten Stabes betrug etwa 7000 [cm, g] und hielt sich sehr constant. Die Schwingungsdauer des mit dem Spiegel belasteten Magnets war ungefähr = 8,2 sec., das Dämpfungsverhältniss = 4.

Der messingene 260 m lange Aufhängedraht war zuerst 0,09 mm dick. Nach der Belastung des Magnets (s. unten) wurde 0,12 mm dicker Draht gewählt.

Belastungsgewichte. — Um die Schwingungsdauer zu vergrößern, wurde nach der ersten Gruppe von Messungen auf die Enden des Magnets ein Paar messingener Gewichte von je 87 g aufgeschraubt. Um Inductionsströme in den letzteren, die durch Rückwirkung der im Multiplicator inducirten Ströme entstehen könnten, zu vermeiden, waren die Gewichte aufgeschnitten und wurden mit untergelegten Papiercylindern auf die Magnetenden aufgeschoben (vgl. § 53). Schwingungsdauer und Dämpfungsverhältniss waren jetzt 13,6 sec und 2,2.

14. Drehung des Multiplicators. — Derselbe ist auf eine starke hölzerne horizontale Kreisscheibe mit drei kleinen Zapfen concentrisch aufgesetzt. Die Kreisscheibe ist mit einem kupfernen conischen Zapfen auf einer verleimten Holzplatte mit einer Kreistheilung von 42 cm Durchmesser drehbar. Zwei Alhidaden lassen die Stellung auf $0,1^\circ$ sicher ablesen.

Drehung des Magnets mit dem Multiplicator. — Auf dem Multiplicator sitzt eine kupferne Hülse mit je drei Klemmschrauben oben und unten. Mittels der letzteren kann der durchgehende Stiel des Magnets gefasst und dann also mit dem Multiplicator um gemessene Winkel gedreht werden. Die sechs Schrauben gestatten eine beliebige Einstellung des Stiels. Die Neigung nach vorn und das Azimut werden durch das Fernrohr des grossen Ablesespiegels controlirt, die seitliche Neigung durch einen kleinen Hülffspiegel an der Fassung, mittels deren der Stiel an den in die Fassung gelötheten Aufhängedraht befestigt wird (Fig. 1 und 2).

So konnte man für die Ablenkungsversuche zu M/H dem Magnet immer genau die Lage geben, welche er bei den Schwingungen inne hatte.

Zugleich hat der Stiel eine mm-Theilung, an welcher die Höhe des Magnets im Multiplicator controlirt wird, während Verschiebungen gegen die centrische Stellung des Stiels in der Hülse sich ebenfalls dem Auge leicht merklich machen. Damit Höhenverschiebungen, welche mit der Temperaturänderung des Aufhängedrahtes verbunden sind, unberücksichtigt bleiben konnten, wurde die Höhe maximaler Wirkung gewählt. Von hier aus durfte der Magnet sich um $\pm 1,5$ mm verschieben, bis eine Aenderungsconstante um $1/10000$ eintrat.

Alle zum Multiplicator verwendeten Theile wurden vorher auf die Abwesenheit von Magnetismus untersucht, der Leim in eisenfreien Gefässen zubereitet.

Das Galvanometer stammt aus den Werkstätten von Hartmann und Braun in Bockenheim und Siedentopf in Würzburg.

Einrichtungen zur Bestimmung der Galvanometer-
constante G . Fig. 3 und 4.

15. Ein Strom i' geht ungetheilt durch die Tangentenbussole. Ein Zweigstrom i wird von i' abgenommen und durch den Multiplicator geführt. C dient als Commutator

für die Tangentenbussole allein; C_1 (in Fig. 4 nicht gezeichnet) lässt den Strom in beiden Instrumenten umkehren.

Der gewöhnliche Rheostat *Rh* ist im ungetheilten Strom und dient zu dessen Regulirung bez. auch zur Beruhigung der Nadel.

Die Abzweigung des Stromes i von bekanntem Verhältniss zum Stammstrom i' geschieht mittels bekannter Widerstände des Verzweigungsreostaten.

16. Der Verzweigungsreostat (Fig. 3). — Die getroffene Einrichtung, um die Abzweigungswiderstände genau verbürgen können, ist schon früher erläutert worden.¹⁾ In einem Hartkautschukdeckel befinden sich zweimal zwei Reihen von je zehn stählernen, amalgamirten Quecksilbernäpfen, welche die Endpunkte von je zehn Widerständen von 10000, bez. 100 S.-E. bilden, die sich in einem Holzkasten befinden. Diese Widerstände sind in Fig. 4 und 5 durch die schrägen Verbindungsstriche zwischen den durch Punkte angezeigten Näpfen angedeutet. Durch kurze, dicke, gut amalgamirte Kupferbügel von $1/20000$ S.-E. Widerstand lassen die Widerstände sich beliebig hinter- oder nebenschalten. Die Zehntausender bestehen aus 0,1 mm, die Hunderter aus 0,5 mm dickem Neusilberdraht vom Temperaturcoefficienten 0,00030.

Eine dritte Doppelreihe von Quecksilbernäpfen war noch nicht mit Widerständen versehen. Dieselbe wurde zur Herstellung der nothwendigen Stromverbindungen verwendet.

17. Isolirungen. — Zuerst waren die Isolirungsmaassregeln die gebräuchlichen. Später wurden die Drähte sämmtlich paraffinirt, die Klemmen auf paraffinirtes Holz aufgesetzt, die Galvanometer alle auf Hartkautschukplatten gestellt.

18. Stromabzweigungsverhältniss. — Die zehn Hunderter werden durch Nebenschaltung zu einem Zehner vereinigt, welcher etwa 2,5 kg Neusilber enthält und daher durch den Strom nur wenig erwärmt wird. Ein viertelstündiger Strom von 0,2 Amp. änderte den Widerstand um höchstens $1/10000$.

1) F. K., Sitzungsber. d. Münch. Akademie 1887. p. 11. Wied. Ann. 31. p. 600. 1887.

Durch diesen Zehner geht der Hauptstrom. Von der Eintritts- und Austrittsstelle wird der Zweigstrom durch den Multiplicator und einen zugefügten aus den Zehntausendern gebildeten Widerstand abgeleitet. In Fig. 4 ist angenommen, dass das Abzweignungsverhältniss ungefähr 1:100 betragen soll: die Zehntausender sind zu diesem Behufe ebenfalls alle nebeneinander geschaltet.

Für das Verhältniss 1:1000, welches bei den ersten beiden Bestimmungen gebraucht wurde, wird selbstverständlich in den Zweigstrom einfach ein Zehntausender geschaltet. Für 1:900 setzt sich der Widerstand im Zweigstrom zusammen aus einem Zehntausender und der neben denselben geschalteten Summe der übrigen neun Zehntausender.

Der Inductor N , welcher während der Dämpfungsbeobachtungen die Nadelbewegung bewirkt (§ 76), ist durch den Quecksilber-Nebenschluss S hier überall ausgeschaltet.

Um das Verzweignungsverhältniss genau zu bestimmen, ist für die Verbindung Fig. 4 nur nöthig, die hintergeschalteten Hunderter mit den nebengeschalteten Zehntausendern zu vergleichen. Für die anderen Verbindungen wird noch die Vergleichung der Zehntausender untereinander verlangt.

Widerstandsvergleichung. Dieselbe geschah in der gewöhnlichen Differentialverzweigung, und zwar um Unsymmetrien zu eliminiren so, dass mit einem ungefähr gleichen Rheostatenwiderstand zuerst die nebengeschalteten Zehntausender verglichen wurden, wie Fig. 5 zeigt. Dies geschehen, nimmt man die Bügel von den Zehntausendern fort, verbindet mittelst der ersteren die Hunderter hintereinander und vergleicht diese Summe mit demselben Stück des Rheostaten. Die kleine Ungleichheit wird durch Interpolation zwischen bekannten Veränderungen bestimmt.

Das Verhältniss der einzelnen Zehntausender zu einander wurde, wo es nöthig war, ebenso ermittelt, indem man jedes Stück mit demselben Stücke von Rh verglich.

Durch ein einfaches Interpolationsverfahren wurde die ganze Arbeit mit jeder wünschenswerthen Genauigkeit in wenigen Minuten ausführbar gemacht. Man verglich die Widerstände entweder vor und nach der correspondirenden

Strommessung mit Multiplicator und Tangentenbussole oder schob die Vergleichung umgekehrt mitten ein. Die Resultate gibt § 68.

19. 1886 wurde die von W. Kohlrausch und mir zur Bestimmung des electrochemischen Aequivalents gebrauchte Tangentenbussole mit dickem Kupferreif¹⁾ benutzt. Die Anordnungen sind die gewöhnlichen. Ueber den gegenseitigen Einfluss beider Instrumente vgl. § 67.

20. Grosse Tangentenbussole 1887. Fig. 7. Um die § 8 und 8a hervorgehobenen Vortheile zu geniessen, wurde ein kreisförmiger Holzrahmen von nahe 160 cm Durchmesser hergestellt. Der Ring, 3 cm dick, 5,5 cm breit, ist aus 48 Stücken von altem Mahagoni-Langholz verschraubt, welche lange in Paraffin gekocht worden waren.²⁾

Den Kern bilden 16 Stücke von 1,4 cm Dicke, welche mit den kurzen Seiten zusammenstossen. Sie sind verbunden durch je 16 halb so dicke Bretter von jeder Seite, welche mit je acht Messingschrauben aufgesetzt sind (Fig. 6). Der so zusammengesetzte Ring zeigte schon eine ziemliche Festigkeit. Versteift wurde derselbe dann durch drei ein gleichseitiges Dreieck bildende Sehnen, ebenfalls aus paraffinirtem Mahagoniholz von $3 \times 2,5$ qcm Querschnitt. Sechs gleich vertheilte weitere Punkte des Ringes sind durch drei Stäbe mit diesen Sehnen verbunden. Die Verbindungspunkte stützen sich gegenseitig durch drei kleinere Sehnen *ab* in dem gleichseitigen Dreiecke (Fig. 7).

Geleimt wurde nichts. Da wo die Verbindungen nur auf Druck beansprucht werden, sind gewöhnliche messingene Holzschrauben verwendet. Wo Zug eintreten könnte, bestehen die Verbindungen aus messingenen Platten.

Alle Materialien waren auf Abwesenheit von Magnetismus geprüft.

Hr. Siedentopf hatte die Gefälligkeit, die Herstellung des Rahmens eigenhändig auszuführen.

1) F. K., Wied. Ann. 15. p. 552. 1882 u. F. u. W. Kohlrausch 27. p. 19. 1886.

2) Tränken mit Schellacklösung würde ich hinterher vorziehen. Vgl. § 60.

Nach Fertigstellung aller Verbindungen, welche auf einem grossen Brette geschah, wurde der Ring, an diesem Brette befestigt, auf die Drehbank gebracht und nun auf seine Aussenfläche eine cylindrische Nut von etwa 1 mm Tiefe eingedreht und mit 34 Windungen seidebesponnenen Kupferdrahtes, welche eine Lage von 2,4 cm Breite bilden, bewickelt. Dadurch wurden die Empfindlichkeitsconstanten des Multiplicators und der Tangentenbussole nahe in das Verhältniss 100:1 gesetzt.

Die Kreisform der Windungen hat sich binnen Jahresfrist sehr gut erhalten (§ 60).

Als Tangentenbussole aufgestellt, ruht der grosse Ring an den Enden *a* und *b* des Mittelstückes der oberen horizontalen Sehne mit zwei übergeschobenen Messingrähmchen auf einem 4 cm dicken verleimten dreieckigen Brette mit Stellschrauben. Damit keine Spannung eintritt, bildet die eine der messingenen Unterlagen eine Wiege.

Ein 140 cm hohes starkes Stativ trägt das genannte dreieckige Brett. Die Versteifung der Stativbeine wird durch ein dreieckiges Querbrett bewirkt (zum Tragen des Multiplicators bestimmt) und durch ein Kreuz und zwei schräge Verbindungsleisten, die zur Uebersicht in der Figur weggelassen sind. Ausschnitte in dem Brett und der Stativplatte lassen Platz für den Aufhängefaden des Magnets.

Zwei Schraubzwingen, deren mit Filz belegte Schraubenspitzen die untere Sehne des grossen Rahmens fassen, dienen zur Richtigstellung.

Excentricität und Neigung der Tangentenbussole. Um dem Aufhängedraht des Multiplicatormagnetes Platz zu geben, musste man den grossen Ring excentrisch stellen oder neigen. Die daraus entspringenden Correctionen für seine eigene Wirkung auf die Nadel sind dem Quadrate der Abweichungen proportional. Es war offenbar vorthellhaft, um die Correctionen beide thunlichst zu vermindern, das Ausweichen gegen den Aufhängedraht durch Excentricität und durch Neigung zu bewirken. Jede Correction wurde dadurch auf etwa 2/10000 reducirt, indem die Excentricität auf etwa 0,8 cm, die Neigung auf 1/50 kam. (Vgl. § 62.)

Aufstellung des Multiplicators 1887. Das Brett zwischen den Stativbeinen trug den mit drei Zapfen eingesetzten und durch kleine Unterlagen nivellirten getheilten Kreis (§ 14), auf welchem der Multiplicator mit seiner Drehscheibe aufgestellt wurde.

21. Beobachtungen 1887. — Man sendet den Strom i' durch den grossen Ring, den Strom i gleichzeitig durch den Multiplicator in entgegengesetzter Richtung. Der kleine Nadelausschlag, positiv in derjenigen Richtung gerechnet, welche dem Multiplicatorstrom entspricht, sei $= x_0$. Man sendet den Strom i' allein durch den grossen Ring; der Ausschlag sei $= x'$. Dann ist, wenn G und G' die beiden Empfindlichkeitsconstanten vorstellen, vorbehaltlich kleiner Correctionen:

$$x_0 = C(Gi - G'i'), \quad x' = C \cdot G' i', \quad \text{woraus:}$$

$$(6) \quad G = G' \frac{i'}{i} \left(1 + \frac{x_0}{x'} \right).$$

x' wurde wegen der kleinen Stromschwankungen vor und nach x_0 bestimmt und mit dem Mittelwerthe eingesetzt. Die beobachteten Werthe s. § 70.

Vorrichtungen zur Messung von M/H .

22. Magnetometer. Von den angewandten fünf Magnetometern sind vier bereits beschrieben, nämlich:

I) ein Magnetometer mit Holzgehäuse und Stahlspiegel, mit einem sehr guten Kupferdämpfer¹⁾;

II) und III) zwei Magnetometer mit Elfenbeingehäuse und luftgedämpftem Spiegel mit aufgekitteter Magnetnadel²⁾;

IV) Das Gehäuse von Nr. I, aber mit kurzer Magnetnadel mit Luftdämpferflügel. Der Spiegel ist gegen die Nadel verstellbar. Neu war das

23. Cylindermagnetometer, Nr. V (Fig. 8 und 9). Die widerwärtigen magnetischen Eigeneinflüsse der Instrumente lassen sich offenbar am ehesten durch einen ganz symmetrischen Bau vermeiden. Zu diesem Zwecke ist sowohl

1) F. K., Wied. Ann. 15. Taf. 8. Fig. 1, 1882.

2) F. und W. Kohlrausch, 27. p. 28. 1886.

das Mahagonigehäuse wie der aus electrolytischem Kupfer hergestellte Dämpfer cylindrisch gearbeitet. Der Dämpfer besteht aus einem 11 mm dicken Tiegel, in welchem der Ringmagnet schwingt. Der Ring ist 2 mm dick und hat 18 und 22 mm inneren und äusseren Durchmesser. Die Dämpfung ist vorzüglich; von magnetischem Einfluss war kaum etwas zu bemerken (§ 49). Der Magnet ist gegen den Spiegel beliebig stellbar, indem der Stahlring durch zwei Muttern auf dem Gewinde am Stiel des Spiegels festgeklemmt wird.

Hr. Siedentopf hat das Magnetometer angefertigt.

24. Aufstellung und Abstand der Magnetometer.

— Auf jedes Magnetometer wirkt der ablenkende Magnet zweimal, nämlich in den Aufstellungen links und rechts. Die eine Ablenkung geschah gewöhnlich vor, die andere nach der absoluten Widerstandsbestimmung. Meist wurden zwei Magnetometer zugleich aufgestellt.

Der Wirkungsabstand des Magnets wird als die Hälfte des Abstandes des Magnetometercocons in der Stellung links und rechts bestimmt. Dies geschieht mit einem etwa 4 mm hinter dem Aufhängedrahte des Hauptmagnets befestigten horizontalen verificirten Zweimeterstabe. Die Einstellung der ebenfalls 4 mm vor den Theilstrichen befindlichen Cocons wurde mit den zum Maassstabe senkrecht gerichteten Ablesefernrohren, oder unter Anwendung der Lupe mit einem an den Maassstab gelegten kleinen Spiegel, oder endlich mit Visirmarken an der etwa 1 m hinter dem Maassstabe befindlichen Wand beurtheilt.

Die Anordnung 1887 zeigt Fig. 7.

25. 1886 fanden die Ablenkungen in zweiter Hauptlage aus nahe $a = 100$ cm Abstand statt.

1887 in erster Hauptlage meistens aus 105 cm Abstand. Um solche Verhältnisse zu haben, bei denen die Magnetlänge sich ganz heraushebt, wurde zum Schluss noch einmal eine Messung mit $a = 93$ cm ausgeführt. Hier wurden die Ausschläge aber grösser als 5° , also für Scalenablesungen schon etwas unbequem gross.

In der Richtung von Ost nach West, in welcher also 1887 die Apparate angeordnet werden mussten, hat der Be-

obachtungsraum nur 5 m Länge. Dieser Umstand brachte es mit sich, dass man die Visirlinie der Fernrohre für M/H vortheilhaft nicht nordsüdlich, sondern schräg wählte. Die Spiegel standen hier also nicht senkrecht zu den Nadeln. Da die Scalen an demselben Horizontalbalken sassen, so wird der eine (westliche) Scalenabstand also grösser als der andere.

26. Scalenabstände. — Dieselben wurden mit den Contactmaassstäben grossentheils im wesentlichen so bestimmt, wie früher beschrieben wurde.¹⁾

Zuletzt wurde auch ein etwas bequemerer Verfahren gebraucht. Unter den Scalenmitten einerseits und unter den kleinen Maassstäben an dem Zweimeterstabe befanden sich auf den steinernen Fussböden mm-Theilungen, deren Abstand von einander mit dem Glaszweimeterstabe bestimmt worden war. Nach diesen Theilungen wurde von den Maassstäbchen und von der Scala herabgesenkt. Die langstieligen Senkelgewichte hatten unten Nähnadelspitzen, deren Stellung dicht über den Theilungen scharf abgelesen werden konnte. Torsionsschwingungen der Senkel sicherten gegen Fehler der Excentricität.

Sämmtliche Scalen waren aus Glas und auf der Vorderfläche getheilt.

Die Scalenabstände selbst s. § 54 ff.

Die Berechnungsweise von M/H s. § 72.

Die Quecksilbervergleichung.

Bezüglich der angewandten Methoden und Instrumente kann ich mich hier meist auf die genannte Arbeit von Strecker beziehen.

27. Quecksilberrohr. — Es wurde immer das von Strecker mit Nr. 3 bezeichnete Rohr benutzt. Dasselbe hat bei 10° eine Länge (Strecker § 17):

$$L = 1,23409 \text{ m.}$$

1) F. u. W. Kohlrausch, Wied. Ann. 27. p. 8. 1886.

Die Endhalbmesser r_1 und r_2 betragen nach Strecker ungefähr:

$$r_1 = 0,000\,544\text{ m} \qquad r_2 = 0,000\,525\text{ m}.$$

Die Rohrenden mündeten in seitlich tubulirte kleine Bechergläser, welche die Electroden enthielten (Fig. 10 und Strecker § 12).

28. Ausbreitungswiderstand. — Nach den Näherungsrechnungen von Maxwell und Lord Rayleigh setzte Strecker für den Widerstand, welcher der Ausbreitung des Stromes aus einem Rohrende vom Halbmesser r entspricht:

$$(7) \qquad \Delta w = 0,80 \cdot \sigma / r \pi,$$

wo σ den specifischen Leitungswiderstand der Flüssigkeit bedeutet.

29. Messung des Ausbreitungswiderstandes. — Da zur Zeit des Beginnes meiner Arbeit eine empirische Bestätigung des Factors 0,80 nicht vorlag, so hat Hr. Kreichgauer eine solche nach einer hier genügenden Methode ausgeführt. Hierzu dienten zwei Bechergläser mit Electroden und mit seitlichen Ansatzröhren von $r = 4,28$ mm Halbmesser. Auf die Enden der Röhren waren senkrecht zu denselben Glasplatten von beiläufig quadratischem Querschnitt mit 12 cm Seite aufge kittet und mit den Rohrenden eben geschliffen. Diese Glasplatten konnten dicht passend zusammengeschoben oder auseinandergezogen werden. Beide Gefäße standen in demselben parallel-epipedischen Trog in sehr verdünnter Schwefelsäure. Die Flüssigkeitssäule hatte denselben Querschnitt wie die Glasplatten.

Man bestimmte mit Wechselströmen den Leitungswiderstand zwischen den Electroden bei zusammengeschobenen Glasplatten und dann, nachdem die letzteren auf 12 cm Abstand auseinandergezogen worden waren. Der Zuwachs des Widerstandes im zweiten Falle kann gleich dem doppelten Ausbreitungswiderstande gesetzt werden. Man fand diesen Zuwachs = 17,6 S.-E.

Der specifische Leitungswiderstand der Schwefelsäure war anderweitig = 150 000 bestimmt worden, d. h. 1 cmm Schwefelsäure hat (bei der Beobachtungstemperatur) einen

Widerstand = 150,0 S.-E. Hieraus berechnet sich der doppelte Ausbreitungswiderstand nach obiger Formel:

$$= 2 \cdot 0,80 \cdot 150 / 4,28 \cdot \pi = 17,86 \text{ S.-E.}$$

Die Uebereinstimmung beider Werthe ist so genau, wie sie zu erwarten war, und bestätigt die Formel für unsere Correction hinreichend.

Die Herren Mascart, de Nerville und Benoit finden bei ihren Versuchen mit der durchbrochenen Quecksilber-
röhre fast genau dasselbe.¹⁾

30. Kalibrirung des Rohres. — Der Querschnitt des Rohres verläuft in unbedeutenden Wellen ziemlich gleichmässig schwach conisch (vgl. die Zeichnung Strecker § 17). Setzt man die Rohrlänge = L , das Rohrvolumen = V und schreibt die Widerstandscapacität des Rohres:

$$C \frac{L^2}{V},$$

so hat der Kaliberfactor C nach Strecker den Werth 1,00051. Hr. Kreichgauer wiederholte die Kalibrirung und Berechnung und fand $C = 1,00048$. Ich setze:

$$C = 1,00050.$$

31. Quecksilberwägung. — Nach der bei Strecker's Messungen adoptirten Einrichtung konnte der Quecksilberinhalt m des Rohres, der zur Widerstandsbestimmung gedient hatte, stets nachher abgesperrt und gewogen werden. Da meine Wägungen eine ähnliche grosse Constanz wie diejenigen von Strecker zeigten, so habe ich mir die Mühe nicht jedesmal gemacht, aber doch hinreichend oft, um diese Constanz zu prüfen.

Ich fand bei achtmaliger Auswägung, stets auf 10⁰ reducirt (cf. § 39, Tab. 1), den Inhalt m zwischen 15,2121 und 15,2133 g, im Mittel $m = 15,2125$ g. Strecker hatte 15,2109 gefunden. Ich setze das Mittel:

$$m = 15,2117 \text{ g.}$$

32. Electroden. — Mit dem Quecksilber kam nur Glas, Platin und Kork in Berührung (Fig. 10). Die Zu-

1) Mascart, de Nerville und Benoit, Détermination de l'Ohm. p. 66. Paris 1884.

leitung des Stromes geschah durch Platinbleche von etwa 24×10 qmm Fläche.¹⁾ Der Widerstand wurde gemessen zwischen zwei Punkten, die etwa 8 mm vor den Rohrmündungen im Quecksilber lagen. Als Verbindungselectroden mit dem Differentialgalvanometer dienten die kurzen Enden von Platindrähten, die aus Glasröhren hervorragten.

33. Herstellung des Quecksilbers. — Gewaschenes und bei etwa 100 bis 150° getrocknetes Quecksilber wurde nach der von Leonhard Weber angegebenen Weise im Vacuum destillirt.²⁾ Ob dasselbe einmal oder zweimal destillirt war, hatte keinen merklichen Einfluss (cf. Tab. 1).

34. Temperatur. — Das Quecksilberrohr stand im bedeckten und mit Filz umhüllten Wasserbade. Die Korke, durch welche die Rohrenden in die Gefäße mit den Electroden eingeführt waren, wurden mit Collodium oder besser Guttapercha gedichtet. Die beiden in $\frac{1}{100}$ getheilten Thermometer hatte Hr. Strecker auf das Luftthermometer zurückgeführt. Die Nullpunkte wurden frisch bestimmt.

Die Temperatur t des Quecksilbers wurde nach der Strecker'schen Formel in Rechnung gesetzt (Str. § 15):

$$(8) \quad \sigma_t = \sigma_0 [1 + 0,0,900 t + 0,0,645 t^2].$$

wo σ_t den Leitungswiderstand des Quecksilbers bei der Temperatur t bezeichnet.

35. Widerstand γ der Quecksilbernormale. — Nach den im vorigen gegebenen Daten ist bei 10° unser Widerstand, wenn $s = 13,5713$ die Dichtigkeit des Quecksilbers bei 10° bedeutet:

$$(9) \quad \left\{ \begin{aligned} \gamma_{10} &= \frac{\sigma_{10}}{\sigma_0} C_m^s L [L + 0,80 (r_1 + r_2)] \\ &= 1,00904 \cdot 1,0,350 \cdot \frac{13,5713}{15,2117} 1,23409 [1,23409 \\ &\quad + 0,80 (0,0,54 + 0,0,53)] \\ &= 1,37268 \text{ m/qmm Quecksilber } 0^\circ \text{ oder S.-E.} \end{aligned} \right.$$

1) Diese Platten nach dem Reinigen und Ausglühen ins Quecksilber gebracht, amalgamirten sich von selbst sehr vollkommen.

2) Leonh. Weber, Carl Rep. 15. p. 52. 1879.

Für eine andere Temperatur t gilt mit Rücksicht auf die Glasausdehnung¹⁾:

$$(9a) \quad \gamma_t = \gamma_{10} [1 + 0,03884(t - 10) + 0,0645(t^2 - 100)].$$

36. Die Widerstandsvergleichung mit Quecksilber geschah immer nach der früher von mir beschriebenen²⁾ Methode des Differentialmultipliers im übergreifenden Nebenschlusse. Ich habe gezeigt, dass dieses Verfahren Uebergangswiderstände ganz ausschliesst, und habe das bequeme und genaue Arbeiten der Methode auch jetzt wieder schätzen gelernt.

Fig. 11 stellt den Multiplier Mu in der Verbindung mit dem Quecksilberrohr Hg bei dieser Vergleichung dar. Vgl. auch § 80.

Der mit dem Quecksilber zu vergleichende Widerstand w war stets ein wenig grösser als der Quecksilberwiderstand. Durch Nebenschaltung eines Rheostaten neben den ersteren wurde der Unterschied ausgeglichen. Fand man, dass der Widerstand R des Rheostaten neben dem Widerstande w nothwendig war, um beide zusammen dem Quecksilberwiderstande γ gleich zu machen, so ist:

$$(10) \quad w = \frac{R\gamma}{R - \gamma}.$$

Der Differentialmultiplier war der von Strecker hergestellte von zweimal 700 Ohm Widerstand.

Bei einigen Versuchen verglich man den Multiplier, dessen absoluter Widerstand bestimmt worden war, direct mit dem Quecksilber. Dies geschah aber nur bei dem zweiten, bifilar gewickelten Multiplier. Man stöpselte in diesem Falle den kleinen Commutator, der sich auf diesem Multiplier (Fig. 1) befand, von derjenigen Stellung, welche die beiden Drahtlagen „hintereinander“ verbunden hatte, in die Verbindung „gegeneinander“ um. Dass der Commutator widerstandsfrei war, zeigte eine besondere Versuchsreihe.

1) Strecker's Zahl 0,03892 ist durch 0,03884 zu ersetzen. Seine Resultate werden hierdurch nicht merklich beeinflusst.

2) F. K., Wied. Ann. 20, p. 76. 1883.

Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXXV.

37. Neusilbernormalen. — Der Multiplicator Nr. I, den man nicht so umschalten konnte, gab bei dem Stromschluss einen bedeutenden Selbstinductionsstoss, dessen Beruhigung man abwarten musste. Da man hier also nicht mit kurzem Stromschluss arbeiten konnte, erschien die Stromwärme im Quecksilber bedenklich. Aus diesem Grunde wurde der Quecksilberwiderstand in einem 1,2 mm dicken, seidebesponnenen Neusilberdraht copirt, welchen man von Zeit zu Zeit mit dem Quecksilber verglich. Es waren zwei solche Neusilberetalons vorhanden. Dieselben waren auf eine offene hohle Holzrolle bifilar aufgewunden und befanden sich die ganze Zeit der Messungen hindurch nebeneinander in einem mit Filz umhüllten, 5 bis 6 l haltenden Petroleumbade mit einem in $\frac{1}{10}$ getheilten Thermometer. Durch oben in den Holzrollen angebrachte Löcher circulirte das Petroleum.

Diese mit dem Petroleum in unmittelbarer Verbindung stehenden Drähte von grosser Masse wurden auch durch längeren Schluss¹⁾ der schwachen Ströme nicht merklich beeinflusst.

Da das Arbeiten mit den Neusilberwiderständen bequemer war als mit dem Quecksilber, und da auch bei dem bifilar gewundenen, gegengeschalteten Multiplicator im ersten Augenblicke des Stromschlusses eine von der Capacität des Multiplicators herrührende kleine Schwankung der Galvanometernadel auftrat, so ersetzte man das Quecksilber fast immer (nämlich ausser 1887 Juli 22 und 30) durch das Neusilber.

Bei den Vergleichen des Multiplicators mit den Neusilbernormalen erhielt der erstere den Nebenschluss (zwischen 60 und 250 S.-E.) durch den ausgleichenden Rheostaten, da man den Multiplicatorwiderstand eventuell durch Hinzufügung von etwas Ballast B (Fig. 3), stets etwas grösser hielt als den Neusilberwiderstand.

1) Es ist kaum nöthig, zu bemerken, dass im Multiplicator Nr. I der Magnet während dieser Bestimmungen mit den Klemmschrauben an seinem Stiel festgelegt wurde.

Es zeigte sich, dass der Widerstand der Neusilberdrähte nach ihrer Herstellung (30. Jan. 1886, aus Draht, welcher vor einem halben Jahre bezogen worden war) zuerst rascher, später sehr langsam anwuchs, im ganzen um nahe 1,5 pro mille in fast zwei Jahren. Beide Drähte verhielten sich hierbei fast gleich (vgl. § 39).

38. Temperaturcoefficient der Neusilbernormalen. — Derselbe wurde für beide Normalen übereinstimmend zu:

$$\beta = 0,000323$$

bestimmt.¹⁾

39. Quecksilberwerth der Neusilbernormalen. — Ich lasse in Tab. 1 einen Auszug aus den Vergleichen der Neusilberwiderstände mit dem Quecksilber folgen, wobei zur Uebersicht alle Bestimmungen auf 18° des Neusilbers umgerechnet worden sind (§ 38). Das Quecksilber ist immer mit 0° in die Rechnung gekommen. Es wird genügen, um die hierbei angewandten Temperaturcorrectionen (§ 34) einer möglichen späteren Neubestimmung des Quecksilbertemperaturcoefficienten anzupassen, wenn in runder Zahl die jedesmalige Temperatur des Quecksilberbades, von welcher diejenige des Neusilberbades niemals erheblich abwich, zuge setzt wird.

In der letzten Spalte stehen die auf 10° reducirten Quecksilbermassen m in Grammen, welche das Rohr füllten (§ 31). Tab. I siehe folgende Seite.

40. Zeitliche Aenderungen der Neusilbernormalen. — Tab. I zeigt, wie die beiden Widerstände, fast genau gleich, verzögert anwachsen, im ganzen um beinahe 0,002 S.-E. oder 0,14 $\frac{1}{100}$.²⁾ Der Gang lässt sich bis auf weniger als 1/10000 durch die Formel darstellen:

$$(11) \quad w = w_0(1 - a \cdot 10^{-bt}).$$

1) Ueber das Verfahren s. F. K., Leitf. d. prakt. Phys. 6. Aufl. p. 241. 1887.

2) Aenderungen von nahe gleichem Betrage fand Hr. Himstedt bei mehreren Neusilberwiderständen. Wied. Ann. 31. p. 617. 1887.

Tabelle I.

Widerstand der Neusilbernormalen bei 18°
in Siemens'schen Einheiten, d. h. in Quadratmillimetern
Quecksilber bei 0°.

(Ueber die Berechnung der klein gedruckten Werthe s. § 40.)

		Quecksilber	Temp.	Neusilber- normale		Rohrfüllung mit Hg 10°; <i>m</i> =
				Nr. I	Nr. II	
				S.-E. 1,3880	S.-E. 1,3843	^g 15,2123
1886.	Feb. 11	1 mal destillirt 1884 . . .	11°	1,3880	1,3843	15,2123
	—	2 mal dest. 29. Jan. 1886	11	1,3880	1,3842	15,2122
	Feb. 12—15	dasselbe, neue Füllung . .	11	1,3880 1,3880	1,3843 1,3842	15,2121
1886.	Feb. 16	2 mal dest. 27. Jan. . . .	11°	—	1,3843	15,2126
	Juni 28	2 mal dest. 29. Jan. . . .	18	1,3892 1,3892	1,3853 1,3853	15,2124
	—	2 mal dest. 30. Jan. Glas- rohr vorher gereinigt . .	18	1,3891	1,3853	
	Aug. 17	dasselbe, gefüllt seit Juni	17	1,3893	—	
	—	2 mal dest. 30. Jan. . . .	17	1,3893 1,3893	1,3854 1,3855	
1887.	Juni 28	dasselbe, stehen geblieben	18	1,3896	1,3857	
	—	2 mal dest. 29. Jan. 1886	18	1,3896	1,3858	
	Juli 1	nur gewaschen u. getrockn.	18	1,3895	1,3857	
	—	1 mal dest. 27. Juni 1887	18	1,3896 1,3897	1,3858 1,3859	
	Juli 19	dasselbe, stehen geblieben	20	1,3896	1,3858	15,2133
	—	dasselbe, neue Füllung . .	20	1,3895	1,3857	
	Aug. 3	dasselbe, stehen geblieben	19	1,3895	1,3857	
	Aug. 4	dasselbe, neue Füllung . .	18	1,3896	1,3858	
	Oct. 17	dasselbe, stehen geblieben	15	1,3897	1,3859	
	Nov. 2	desgleichen	11	1,3898 1,3897	1,3860 1,3859	
	—	2 mal dest. 1884	11	—	1,3859	
	—	1 mal dest. 30. Oct. 1887	12	—	1,3859	15,2126
	—	dasselbe, frische Füllung .	15	—	1,3860	

w_0 ist der schliessliche Widerstand. Drückt man die Zeit t seit der Wickelung in Monaten aus, so erhalten die Constanten den Werth:

Neusilber Nr. I	Nr. II
$w_0 = 1,38975,$	1,38596,
$a = 0,00138,$	0,00137,
$b = 0,102,$	0,093.

Einige hiernach berechnete Werthe sind in Tab. 1 mit kleinen Ziffern aufgeführt.

Die Formel (11) ist im Folgenden gebraucht worden, um von der ersten, etwa eine Woche nach der ersten absoluten Messung angestellten Quecksilbervergleichung auf jene zurückzurechnen. Sonst ist für jede Gruppe der Ohmbestimmung der Mittelwerth aus den um dieselbe Zeit angestellten Beobachtungen eingesetzt worden nämlich in S.-E.:

		Nr. I	Nr. II
		bei 18°	
1886.	Feb. 3	---	1,38410
	Feb. 6	---	1,38414
	Feb. 10	---	1,38418
1886.	Aug. 12-14	1,38925	---
1887.	Juli 15-30	1,38955	1,38575
1887.	Oct. 21-27	---	1,38595.

Absolute Widerstandsbestimmung.

Selbstinductionscoëfficient II des Multiplicators.

41. II ist der Factor, welcher, mit der Geschwindigkeit der Stromänderung multiplicirt, die electromotorische Kraft des Extrastromes gibt. II braucht nur genähert bekannt zu sein.

Es wurde zur Bestimmung die von mir beschriebene¹⁾ Methode der plötzlichen Verschiebung einer Galvanometer-nadel durch den Stoss eines Differentialinductors gebraucht.

Die Messung ergab für den Multiplicator Nr. I mit seiner den Windungen parallel festgelegten Magnetnadel:

$$II = 171 \cdot 10^5 \text{ cm.}$$

Das verwandte Verfahren in der Wheatstone-Kirchhoff'schen Verzweigung gab $II = 166 \cdot 10^5 \text{ cm}$, wenn die Magnetnadel entfernt war.

1) F. K., Sitzungsber. d. Münch. Akad. 1887. p. 3; Wied. Ann. 31. p. 595. 1887.

Hr. Kreichgauer erhielt nach der Dorn'schen Anordnung des unterbrochenen Hydrostromes in der Wheatstone'schen Verzweigung¹⁾ mit Nadel $II = 168.10^5$, ohne Nadel 164.10^5 .

Ich setze: $II = 168.10^5$ cm.

Denselben Werth kann man ohne weiteres für den congruenten und mit derselben Windungszahl versehenen Multiplicator Nr. II nehmen.

Bei den Ohmbestimmungen 1886 Februar befand sich zum Multiplicator der kleine Inductor zugeschaltet, mit welchem die Nadel in Schwingung versetzt wurde. Der Inductionscoefficient wurde für die beiden Instrumente zusammengekommen gefunden:

$$II_1 = 178.10^5.$$

Magnet.

42. Polabstand $\mathfrak{L}$ des Magnets. — Das Verfahren ist dasselbe, wie früher beschrieben wurde²⁾, nur dass zuweilen zwei Magnetometer gleichzeitig gebraucht wurden.³⁾

Die Ablenkungen fanden aus der Gauss'schen zweiten Hauptlage statt.

Die Resultate sind nach den von mir gegebenen bequemen Formeln⁴⁾ berechnet worden. Die ersten Sätze mit der Beobachtung aus drei Abständen liefern zugleich eine Prüfung dieser Formeln, welche durch die nahe Uebereinstimmung der beiden berechneten Werthe zu ihren Gunsten ausfällt.

Sind a_1 und a_2 zwei Abstände, aus denen der Magnet die Ablenkungswinkel φ_1 und φ_2 bewirkt, $\mathfrak{L}$ und $\mathfrak{l}$ die Polabstände (magnetischen Längen) des Stabes und der Magnetometernadel, so hat man:

$$(13) \quad \mathfrak{L}^2 - 4\mathfrak{l}^2 = 4 \frac{a_1^2 \operatorname{tg} \varphi_1^{2/3} - a_2^2 \operatorname{tg} \varphi_2^{2/3}}{\operatorname{tg} \varphi_2^{2/3} - \operatorname{tg} \varphi_1^{2/3}}.$$

1) Dorn, Wied. Ann. 17. p. 783. 1882.

2) F. u. W. Kohlrausch, Wied. Ann. 27. p. 45. 1886.

3) F. K. u. Hallock, Wied. Ann. 22. p. 412. 1884.

4) F. K., Sitzungsber. d. Münch. Akad. 1887. p. 29; Wied. Ann. 31. p. 614. 1887.

Man fand am 10. December 1885 bei 13° aus Abständen von nahe:

$$a_1 = 75 \qquad a_2 = 95 \qquad a_3 = 115 \text{ cm,}$$

paarweise verwendet:

$$\mathfrak{L} = 16,0 \qquad 16,2 \text{ cm.}$$

Ebenso am 24. December 1885 bei 13°

$$\mathfrak{L} = 16,4 \qquad 16,2 \text{ cm.}$$

Ebenso am 21. Mai 1886 bei 22°

$$a_1 = 80 \qquad a_2 = 110$$

$$\mathfrak{L} = 15,9 \text{ cm.}$$

Ebenso am 22. December 1887 bei 16°

$$\mathfrak{L} = 15,8 \text{ cm.}$$

Im Mittel aus allen Bestimmungen kommt der Polabstand:

$$\mathfrak{L} = 16,08 \text{ cm.}$$

43. Temperaturcoefficient c des Magnets. — Der Magnetismus des Stabes bei der Temperatur t sei:

$$(14) \qquad M = M_0 (1 - c.t)$$

Bestimmungen der Hrn. Kreichgauer und Klupaty nach verschiedenen Methoden ergaben sehr nahe übereinstimmende Werthe mit dem Mittelwerth:

$$c = 0,00046.$$

44. Magnetischer Inductionscoefficient μ . — μ bezeichnet den durch das magnetische Feld Eins nach der Axe des Stabes inducirten Magnetismus.

1) Die Hrn. Kreichgauer und Sack drehten nach dem Weber'schen Verfahren eine 40 cm lange Spule, in welcher der Magnet steckte, um 180° .

Sie fanden: $\mu = 71,8.$

Hr. Kreichgauer fand bei anderer Gelegenheit $\mu = 68,8.$

2) Dieselben Beobachter fanden in einer Spule vom electromagnetischen Felde ungefähr $= 0,2$ [cm, g], und zwar in Uebereinstimmung mit meiner früheren Beobachtung¹⁾ für verstärkende und abschwächende Kraft merklich gleich:

$$\mu = 69,4.$$

Zu anderer Zeit fand Hr. Kreichgauer ebenso $\mu = 68,5.$

1) F. K., Gött. Nachr. p. 407. 1883; Wied. Ann. 32. p. 415. 1884.

Ebenso erhielt Hr. Klupaty im magnetischen Felde $0,2 \mu = 69,4$, im Felde $0,35 \mu = 69,8$, im Felde $0,49 \mu = 70,7$.

Wir setzen¹⁾: $\mu = 69,6$.

44a. Ueber die Plötzlichkeit des Entstehens und Verschwindens des inducirten Magnetismus. — Die vorigen Bestimmungsweisen des magnetischen Inductionscoefficienten setzen voraus, dass der inducirte Magnetismus in einer Zeit entsteht und verschwindet, welche gegen die Schwingungsdauer der Nadel (etwa 20 sec) kurz ist. Hr. Kreichgauer hat einige Versuche hierüber angestellt, welche die Voraussetzung bestätigen.

Er schloss die inducirte Spule und das Galvanometer etwa 0,2 Sec. nach dem Stromschluss oder der Oeffnung der magnetisirenden Spule. Nach Eliminirung des Thermostromes zeigte das Galvanometer keinen von dem Magnet herrührenden Ausschlag, während der gesammte Ausschlag durch den inducirten Magnetismus etwa 70 mm betrug.

Man könnte der Meinung sein, dass bei einer langsamer abnehmenden magnetisirenden Kraft leichter ein vorübergehender Rest von Magnetismus bleibe. Deswegen drehte Hr. Kreichgauer bei einer anderen Versuchsreihe den Magnet, welcher einige Zeit mit dem Nordpol nach Norden gelegen hatte, in etwa 1,5 Sec. in eine Lage, in welcher derselbe die Nadel eines kleinen Magnetometers nahe ostwestlich dirigierte. Der Magnet stand hierbei mit dem Nordpol fast nach Süden. Die Magnetometernadel war durch einen Anschlag in einer der ostwestlichen nahe gelegenen Stellung gehalten worden, machte also nur kleine Schwingungen. Die aus den beiden ersten Umkehrpunkten berechnete Ruhelage der Nadel stimmte im Mittel auf weniger als $\frac{1}{20}$ Scalenth. mit der nachher beobachteten. 1 Scalenth. aber bedeutete eine Aenderung des Stabmagnetismus um 0,25 [cm, g], wonach also die obige Differenz etwa 0,01 [cm, g] entsprechen würde.

Die aus den beiden Umkehrpunkten erhaltene Ruhelage

1) Da die Masse des Magnets 279,9 g betrug, so ist der specifische Inductionscoefficient für 1 g also $\Delta s = 69,6/279,9 = 0,249$.

gilt für einen Augenblick, der etwa 4 sec nach der Drehung des Magnets liegt. Innerhalb dieser, wahrscheinlich aber schon innerhalb einer viel kürzeren Zeit, scheint also der inducirte Magnetismus merklich vollkommen verschwunden zu sein.

Für unsere und ähnliche Zwecke kommen also die etwaigen magnetischen Nachwirkungen nicht in Betracht.

45. Quermagnetisirung. — Nach den Entwicklungen von Dorn¹⁾ hat man, wenn das magnetische Feld Eins in einem cylindrischen Stabe von dem Volumen V , der Länge l und der Dicke l' der Länge nach das Moment μ , der Quere nach das Moment μ' inducirt:

$$(15) \quad \mu = \frac{zF}{1 + zN} \quad \text{und} \quad \mu' = \frac{zF}{1 + zL}.$$

Hier haben N und L die Bedeutung, wenn man noch $e^2 = 1 - (l'/l)^2$ setzt:

$$(16) \quad \begin{cases} N = 4\pi \left(\frac{1}{e^2} - 1 \right) \left(\frac{1}{2e} \log \frac{1+e}{1-e} - 1 \right); \\ L = 2\pi \left(\frac{1}{e^2} - \frac{1-e^2}{2e^3} \log \frac{1+e}{1-e} \right). \end{cases}$$

Aus den Dimensionen $l = 20,0$, $l' = 1,5$ cm, und aus $\mu = 69,6$ ergibt sich $z = 2,9$ und $\mu' = 5,4$.

Nadellängen l der Magnetometer.

46. l bezeichnet die in die Formeln eintretende Nadelnänge oder den Polabstand der Nadeln.

Magnetometer I. 2 mm dicker Stahlspiegel vom Durchmesser $2\rho = 2,08$ cm. Also $l = 0,66 \cdot 2\rho = 1,37$ cm für zweite Hauptlage und $0,8 \cdot 2,08 = 1,66$ cm für die Tangentenbussole.²⁾

Magnetometer II. Nadellänge = 1,88 cm, also $l = \frac{5}{6} \cdot 1,88 = 1,57$ cm.

„ III. „ = 1,87 „ „ $l = \frac{5}{6} \cdot 1,87 = 1,56$ „

„ IV. „ = 1,50 „ „ $l = \frac{5}{6} \cdot 1,50 = 1,25$ „

Magnetometer V. 2 mm dicker Stahlring vom inneren Durchmesser = 1,80, dem äusseren 2,20 cm. $l = 0,9 \cdot 2,20 = 1,98$ cm für erste Hauptlage und $0,8 \cdot 2,20 = 1,76$ cm für zweite Hauptlage (§ 42) gesetzt.

1) Dorn, Wied. Ann. 17. p. 776. 1882.

2) Vgl. F. K., Wied. Ann. 22. p. 415. 1884 und 31. p. 617. 1887.

Die Zahlen haben keinen erheblichen Einfluss auf das Resultat.

47. Torsionsverhältnisse Θ und ϑ . Dieselben betragen:

Hauptmagnet (Multiplier):

$\Theta = 0,00097$ 1886 I und $0,00320$ 1886 II und 1887 I, letzteres mit dickerem Aufhängedraht. Ferner:

$$\Theta = 0,00325 \quad 1887 \text{ II}$$

mit demselben, etwas verkürzten Drahte.

Magnetometer:

Nr. I	$\vartheta = 0,0_322$	1886 I,	$0,0_312$	1886 II
„ II	$\vartheta = 0,0_307$	1886 I und II		
„ III	$\vartheta = 0,0_305$	1886 I,	$0,0_304$	1886 II
„ IV	$\vartheta = 0,0_339$	1887 I,	$0,0_350$	1887 II
„ V	$\vartheta = 0,0_313$	1887 I,	$0,0_320$	1887 II.

Correctionen $\S$ der magnetischen Felder.

48. Magnetischer Instrumentaleinfluss des Multipliers. — Wenn das magnetische Feld an dem Aufhängeorte der frei aufgehängenen Magnetnadel $= H$ sein würde, so kommt durch den Einfluss der festen Theile des Instrumentes im allgemeinen noch ein kleiner negativer oder positiver Zuwachs ΔH hinzu, den wir durch Drehung des Instrumentes im Verhältnisse zu H bestimmen. Es werde bezeichnet:

$$\frac{\Delta H}{H} = \S.$$

Multiplier I; 1886. Der Multiplier wurde auf seinem Theilkreise gedreht, während die Magnetnadel unberührt blieb. Man fand nach Abrechnung eines kleinen optischen Einflusses des Deckglases:

$$\frac{\Delta H}{H} = \S = -0,0_46.$$

Auch durch Schwingungsbeobachtungen bei paralleler und gekreuzter Stellung des Multipliers wurde constatirt, dass der letztere fast unmagnetisch war.

Multiplier II; 1887. Derselbe zeigte einen ähnlichen sehr kleinen diamagnetischen Einfluss:

$$\S = -0,0_45.$$

49. Magnetischer Instrumentaleinfluss der Magnetometer. — Das zu untersuchende Magnetometer wurde auf ein drehbares Tischchen mit Kreistheilung gesetzt und um einige Grade ($\pm 5^\circ$ oder $\pm 10^\circ$) nach rechts und links gedreht. Von der beobachteten Mitdrehung der Nadel wurde der Theil abgerechnet oder, wenn die Nadel sich entgegengesetzt dem Instrumente drehte, hinzugefügt, welcher von der Fadentorsion herrührte. Der Rest, wie oben durch den in dieselbe Einheit umgerechneten Drehungswinkel getheilt, gibt den Instrumentaleinfluss $\mathfrak{H}$.

I. Magnetometer aus Holz mit Stahlspiegel und Kupferdämpfer.¹⁾ Man fand:

$$\mathfrak{H}_1 = -0,0_336 \text{ 1886 Febr. und } \mathfrak{H}_1 = -0,0_341 \text{ 1886 Aug.}$$

II. Magnetometer mit engem Elfenbeingehäuse und Luftdämpfung am Spiegel.

$$\mathfrak{H}_2 = -0,0_350 \text{ 1886 Febr. und } -0,0_355 \text{ Aug.}$$

III. Ein Instrument wie Nr. II.

$$\mathfrak{H}_3 = +0,0_343 \text{ 1886 Febr. und } +0,0_353 \text{ 1886 Aug.}$$

Nr. II und III waren äusserlich ganz gleich; woher das eine diamagnetisch, das andere paramagnetisch erscheint, ist mir unbekannt.

V. Magnetometer mit weitem Holzgehäuse und Luftdämpfungsflügel unten. Verschwindender Einfluss:

$$\mathfrak{H}_4 = -0,0_45.$$

V. Magnetometer mit ringförmigem Magnet in Kupfergefäss (§ 23). Ebenfalls verschwindend:

$$\mathfrak{H}_5 = +0,0_43.$$

IV und V kommen 1887 zur Verwendung.

1) Dieser Dämpfer war kurz zuvor abgedreht worden und zeigte sich danach erheblich magnetisch. Abkochen in 5procentiger Schwefelsäure stellte dann die schwach diamagnetische Beschaffenheit her, welche sich in den obigen Zahlen ausspricht. — Es hat Interesse, zu untersuchen, ob electriche Spannungsdifferenzen merklich werden können. Nachdem der Stahlspiegel durch Neigen des Instrumentes einige mal mit dem Dämpfer in Contact gebracht worden war, wurde $\mathfrak{H} = -0,0_332$ gefunden. Der Unterschied fällt in die Beobachtungsfehler.

Von Einfluss auf das Endresultat sind fast nur I und III, die in der Tangentenbussole gebraucht worden sind, wobei § doppelt in den Werth des Ohm eingeht. Die übrigen sind immer nur paarweise für M/H gebraucht worden, kommen also jedes nur mit $\frac{1}{2}$ § in das zugehörige Endresultat.

Ueber eine Controle dieser Werthe vgl. § 75.

50. Locale magnetische Variationen. — Dieselben wurden mittelst des von mir beschriebenen Localvariometers mit vier Ablenkungsstäben¹⁾ bestimmt, indem man dasselbe alternirend in gleichen Zeitintervallen von 6 min an den zu vergleichenden Punkten aufstellte. Ein gleiches feststehendes Instrument gab die zeitlichen Schwankungen der Horizontalintensität. Die Temperaturänderung gleicht sich durch das Abwechseln aus; die ablenkenden Magnete waren durch Umhüllung mit schlechten Wärmeleitern vor ungleichmässiger Aenderung geschützt.

Aus solchen Vergleichen ergab sich am Orte des Multiplicators der horizontale Erdmagnetismus relativ grösser als am Orte

der Tangentenbussole 1886 um	— 0,0 ₃ 25,
der beiden Magnetometer 1886 im Mittel um	— 0,0 ₃ 11,
der beiden Magnetometer 1887 im Mittel um	— 0,0 ₃ 10.

51. Gesammtcorrection der magnetischen Felder. — Wir wollen gleich durch Hinzunahme der instrumentellen Einflüsse (§ 48, 49) die für die Rechnungen nothwendigen Gesammtcorrectionen bilden. H sei das magnetische Feld der Multiplicatornadel, H' dasjenige der anderen Nadel. Die anzugebenden Zahlen bedeuten alsdann den Werth $(H - H')/H$.

An der Tangentenbussole 1886 ist noch zu berücksichtigen, dass der Multiplicatormagnet an deren Orte eine Abschwächung des Erdmagnetismus um 0,0₄6 hervorbrachte.

¹⁾ F. K., Sitzungsber. d. Münch. Akad. 1883 p. 1; Wied. Ann. 19. p. 130. 1883.

Es ist also für die Tangentenbussole 1886 I (Magnetometer Nr. I):

$$(H - H')/H = -0,0_325 - 0,0_306 + 0,0_306 + 0,0_336 = +0,0_311.$$

Tangentenbussole 1886 II (Magn. Nr. III):

$$-0,0_325 - 0,0_305 + 0,0_306 - 0,0_353 = -0,0_377.$$

Für die Magnetometer haben wir einfach zu den Zahlen von p. 732 die Instrumentaleinflüsse § Multiplicator minus § Magnetometer hinzuzufügen, also:

1886 Febr. Magn. Nr. II und III: $(H - H')/H = -0,0_313,$

1886 Aug. Magn. Nr. I und II: $(H - H')/H = +0,0_331,$

1887 Mag. Nr. IV und V: $(H - H')/H = -0,0_314,$

nur Nr. V: $(H - H')/H = -0,0_318.$

52. Zeitliche Aenderungen der erdmagnetischen Horizontalintensität. — Wachsende Einstellung um 1 Scalentheil bedeutet die relative Zunahme des horizontalen Erdmagnetismus um E :

$$1886 \ E = 0,0_363 \text{ und } 1887 \ E = 0,0_362.$$

Das Variometer befand sich mit einem in $\frac{1}{5}^\circ$ getheilten Thermometer unter einem Pappkasten, aus welchem nur Fernrohr und Scala hervorragte. Die zusammengehörenden Beobachtungen werden bereits auf gleiche Temperatur reducirt mitgetheilt.

Controlen für die Dämpfungsbeobachtungen.

53. Der Magnet und die auf denselben gesteckten Belastungsgewichte sind Stromleiter. Die letzteren sind allerdings zur Vermeidung von Circularströmen aufgeschnitten. Immerhin war zu constatiren, ob nicht die Ströme, welche von dem Strome im Multiplicator rückwärts in diesen Leitern inducirt werden, einen merklichen Theil der Dämpfung bewirken. Zu dem Zwecke wurde der Magnet durch einen ebenso gestalteten Stab aus electrolytischem Kupfer ersetzt, den man nun, mit Belastungsgewichten oder ohne dieselben, im Multiplicator schwingen liess. Man bestimmte seine

Dämpfung, wenn der Multiplicator stromfrei war, oder wenn er von einem kräftigen Strom durchflossen wurde. Würden die in dem Leiter inducirten Ströme merklich dämpfen, so würde also die Dämpfung mit Strom grösser ausfallen müssen als ohne Strom. Man erhielt von der Stromstärke 0 bis 0,01 [cm, g] (welche letztere eine in den Multiplicator gestellte Bussole um mehr als 80° ablenkte) keinen merklichen Unterschied der Dämpfung.

Ein merklicher störender Einfluss im schwingenden Systeme ist hiernach ausgeschlossen.

Scalenabstände A.

54. Correctionen der gemessenen Scalenabstände.¹⁾ — Diese setzen sich zusammen aus:

1) dem Abstände der Spiegelfläche von dem Aufhängefaden, wenn nämlich der Abstand von dem Faden an gemessen ist, wie meistens geschah. Dieser Abstand wurde mit den zugeschärften Glasmaassstäben gemessen (§ 26),

2) der Dicke eines Glasspiegels,

3) der Krümmung eines Spiegels, aber nur, wenn die Spiegelfläche excentrisch gegen den Faden liegt, was nur bei dem Multiplicator der Fall war,

4) der Dicke des Deckglases,

5) dessen Krümmung, die aber bei den Magnetometern schon in der Bestimmung von ξ (§ 49) enthalten ist,

6) der Spiegelneigung gegen die Verticale,

7) einer schiefen Stellung der Scala, die aber nur bei einigen Messungen 1887 eine auch hier sehr kleine Correction verursachte,

8) einer Krümmung der Scala, welche auch immer geringfügig war und meistens direct an den gemessenen Scalenabständen gleich in Rechnung gesetzt worden ist.

Alle diese Correctionen sind berücksichtigt worden.

55. Scalenabstände des Multiplicators und der Tangentenbussole.

1) Vgl. F. K., Wied. Ann. 31. p. 95. 1887.

Scalenabstände des Multipliers und der Tangentenbussole 1886.

1886 I	Jan. 31	Feb. 1	2	9
Multiplier A	= 2994,29	2994,22	2994,21	2993,88 mm
Tangentenbussole A'	= 3000,89	3000,90	3000,79	3001,49 mm
1886 II	Aug. 6	11	16	
Multiplier A	= 2989,11	2989,17	2989,00 mm	
Tangentenbussole A'	= 2990,40	2990,56	2990,17 mm	

56. Scalenabstände der Magnetometer für M/H .

— Der Magnet wirkte immer auf zwei Magnetometer gleichzeitig. Die letzteren wurden dann für eine zweite Beobachtungsreihe so miteinander vertauscht, dass die Cocons genau dieselben Plätze einnahmen (vgl. § 24). Die Scalenabstände waren 1886, bei den Ablenkungen aus „zweiter Hauptlage“, im Norden und Süden so nahe gleich, dass man alles mit Mittelwerthen rechnen kann.

Es ist:

1886	Feb. 3	6	10	Aug. 12	13	14
A	= 3008,1	3007,6	3007,7	3004,0	3003,9	3004,2 mm

Bei den Beobachtungen aus 1. Hauptlage 1887 konnten des Raumes wegen die Scalenabstände östlich und westlich nicht gleich gemacht werden (vgl. § 25), müssen also einzeln aufgeführt werden.

1887	Juli 15	16	23	30	Oct. 21	30
Ost A	= 2427,0	2427,2	2427,4	2427,4	2427,3	1926,0 mm
West A	= 2659,8	2659,8	2659,6	2659,6	2660,1	2117,7 mm

Galvanometerconstante G .

G bedeutet das Verhältniss eines kleinen Nadelausschlages zu der Stromstärke für das magnetische Feld Eins und ohne Fadentorsion.

57. Multiplierconstante G' der Tangentenbussole 1886. — Das Verfahren bei der Bestimmung des mittleren Halbmessers r ist früher beschrieben worden.¹⁾

Halbmesser r . Derselbe beträgt für die Beobachtungstemperaturen:

13°	1886 Feb.	$r = 20,1417$ cm
20°	1886 Aug.	$r = 20,1442$ cm.

1) F. u. W. Kohlrausch, Wied. Ann. 27. p. 19. 1886.

Magnetometer. Es wurde gebraucht (§ 22) 1886 Febr. das Magnetometer Nr. I mit Stahlspiegel von 2,08 cm Durchmesser, d. h. $l = 1,66$ cm äquivalenter Nadellänge (§ 46).

1886 Aug. stand in der Tangentenbussole das Magnetometer Nr. III mit Elfenbeingehäuse und Luftdämpfer; $l = 1,56$ cm. Ueber den magnetischen Localeinfluss vgl. § 51.

Die Constante G' wird berechnet, wenn b die Breite, h die Dicke des Kupferstreifens, l die Länge, a den mittleren Abstand der zur Zuleitung dienenden geradlinigen Kupferstreifen, l die Nadellänge bedeutet¹⁾:

$$(17) \quad G' = \frac{2\pi}{r} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h^2}{r^2} - \frac{1}{8} \frac{b^2}{r^2} - \frac{al}{2\pi r} \frac{r + \frac{1}{2}l}{(r + l)^2} + \frac{3}{16} \frac{l^2}{r^2} \right).$$

Ausser obigen Werthen noch $h = 0,41$, $b = 0,86$, $a = 0,52$, $l = 13$ cm eingesetzt, erhält man für die beiden Magnetometer und die Temperaturen 13 und 20°:

für 1886 I $G' = 0,31189$,

für 1886 II $G' = 0,31181$.

58. Constante G'' der grossen Tangentenbussole 1887. — Der Kupferdraht, welcher in 34 Windungen auf den grossen Rahmen aufgewunden war (§ 20), ist nackt 0,060 und mit der Bespinnung 0,066 cm dick. Die Breite der Windungslage beträgt $b = 2,40$ cm.

Der Gesamtwiderstand beträgt etwa 12 Ohm. Zur Sicherung gegen Isolationsfehler war der Draht bifilar aufgewunden, sodass jeder Stromübergang zwischen benachbarten Windungen bemerkt werden konnte.

Die Kreisgestalt des Rahmens hat sich sehr gut erhalten. An acht Punkten durch die Abmessung von vier Durchmessern controlirt, ergeben sich noch jetzt die grössten Abweichungen eines Durchmessers vom Mittel = 0,03 cm. Da der Halbmesser aus dem Umfang abgeleitet wird, so ist dies mehr als genügend. Die Abweichungen von der ebenen Gestalt wurden zu verschiedenen Zeiten immer kleiner als 1 mm gefunden.

59. Halbmesser r . — Das Stahlbandmaass, 0,018 cm dick, 1,3 cm breit, ist von seinem Ende bis zu den bei der

1) l. c. p. 21.

Messung verwendeten Millimetertheilstrichen mit dem Comparator, sowie auch mittels des gläsernen Zweimeterstabes verificirt.

Nach dem letzten Abdrehen des Rahmens wurde der Umfang gemessen und nach dem Aufwinden des Drahtes sogleich dessen äusserer Umfang. Der Zuwachs wurde = 0,40 cm gefunden. Es ist $0.40 / 2\pi = 0,064$ cm, also wie es der Fall sein muss, merklich der Drahtdicke gleich.

Die massgebenden Messungen des Halbmessers geschahen immer oberhalb der Drahtwindungen. Die mit dem Bandmaass gefundene Länge wurde durch 2π getheilt und dann die halbe Dicke 0,009 des Bandmaasses und die halbe Drahtdicke 0,033 cm, zusammen also 0,042 cm, abgezogen.

Der aus lauter Stücken von in Paraffin gekochten Mahagonilangholzes verschraubte Rahmen erwies sich nicht ganz so constant, wie ich erwartet hatte. Hätten die Resultate der von Hrn. Hildebrand¹⁾ im hiesigen Laboratorium ausgeführten Untersuchung über hygroskopische Eigenschaften der Hölzer bereits vorgelegen, so würde ich das Holz anders behandelt haben. Denn nach Hildebrand schützt das Paraffiniren gegen hygroskopische Einflüsse nicht genügend.

Der anfängliche Halbmesser von 79,81 cm wuchs in den zwei Monaten bis zu der Verwendung der Tangentenbussole allmählich auf 79,85 und in abermals drei Monaten auf 79,87 cm, worauf er in den nächsten Wochen wieder auf 79,86 sank. Ich will hieraus nicht entscheiden, ob es langsam eindringende hygroskopische Einflüsse sind, welche in Uebereinstimmung mit Hrn. Hildebrand's Beobachtung dieses Wachsthum hervorgebracht haben, oder ob eine andere Nachwirkung nach dem Kochen in Paraffin vorliegt.

Von Einfluss sind diese kleinen Aenderungen natürlich nur insofern, als man den Umfang von Zeit zu Zeit neu messen muss, was übrigens je in fünf Minuten auszuführen ist.

An den Tagen, in denen die Galvanometerconstante bestimmt wurde, wurde der Halbmesser r gefunden:

1887 Juli 13	18	21	29	Oct. 19	29
$r = 79,847$	79,850	79,852	79,857	79,872	79,856 cm.

1) R. Hildebrand, Wied. Ann. **34**. p. 393. 1888.

61. Breite der Windungslage. — Dieselbe beträgt $b = 2,4$ cm. Daraus entsteht ein Correctionsfactor für die Multiplicatorconstante G' gleich:

$$1 - \frac{1}{8} \frac{b^2}{r^2} = 0,99989.$$

62. Neigung und Excentricität des Rahmens. Vgl. hierüber § 20.

Neigung ν . — Dieselbe wurde mittels Senkel, welche von dem oberen Rande des Rahmens herabhingen, bestimmt, jedesmal an zwei Stellen. Die Neigung war nahe constant $\nu = 0,0196$ und $\cos \nu = 1 - \frac{1}{2} \nu^2 = 0,99981$.

Excentricität e . — Man spannte einen dünnen Faden von dem nördlichen zum südlichen Rande des Rahmens in der Höhe des ostwestlichen horizontalen Holzmaassstabes (Fig. 7) und projecirte so unter Einrechnung der Breite des Holzrandes und der halben Breite der Windungslage die Mitte der letzteren auf diesen Maassstab. Der Aufhänge draht der Nadel, welcher sich dicht vor demselben Maassstabe befand, wurde ebenfalls auf dessen Theilung projecirt, von dem Unterschiede noch die Neigung des Rahmens von der gemessenen Höhe bis zur Nadelmitte abgerechnet. Der Rest ist die Excentricität e .

Der Correctionsfactor für Excentricität beträgt:

$$\left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right)^{-3/2} = 1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2}.$$

Es war ($r = 80$ cm):

1887 Juli 13 bis 21 _I	Juli 21 _{II} und 29	Oct. 19	Oct. 29
$e = 0,89$	0,65	0,75	0,66 cm
$1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2} = 0,99981$	0,99990	0,99987	0,99990.

63. Nadellänge $\mathfrak{L}$. — Da die Multiplicatornadel, welche zugleich für die grosse Tangentenbussole dient, eine magnetische Länge gleich etwa dem fünften Theile des Durchmessers hat, so wird die hieraus entspringende Correction beträchtlich, nämlich etwa gleich $\frac{1}{130}$. Anstatt Bedenken zu erregen, ist dies aber im Gegentheil vortheilhaft, denn die Correction hat im Gesammtresultate das entgegengesetzte Vorzeichen wie diejenige Correction, welche aus der Nadellänge entspringt, wenn deren Eigenmagnetismus bestimmt

wird, und man kann durch passende Wahl der Abstände die Correctionen zur gegenseitigen ganzen oder theilweisen Aufhebung bringen (§ 8_a).

Unsere Nadel von der magnetischen Länge $\mathfrak{L}$ befindet sich symmetrisch neben dem Kreisstrome i' vom Halbmesser r . Nach der von Kinkelin gegebenen Formel¹⁾ beträgt das Drehungsmoment:

$$(18) \quad 2\pi \cdot Mi' \frac{r^2}{(r^2 + e^2)^{3/2}} \left[1 + \frac{3}{16} \frac{\mathfrak{L}^2}{r^2} \frac{r^2 - 4e^2}{(r^2 + e^2)^2} + \frac{45}{1024} \frac{\mathfrak{L}^4}{r^4} \frac{r^4 - 12r^2e^2 + 8e^4}{(r^2 + e^2)^4} \right].$$

Entwickelt man die Brüche in Reihen und vernachlässigt e^4/r^4 , sowie $\mathfrak{L}^4 e^2/r^6 \dots$, so kommt:

$$(19) \quad \frac{2\pi}{r} Mi' \left(1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2} \right) \left[1 + \frac{3}{16} \frac{\mathfrak{L}^2}{r^2} - \frac{9}{8} \frac{\mathfrak{L}^2 e^2}{r^4} + \frac{45}{1024} \frac{\mathfrak{L}^4}{r^4} \right].$$

e und $1 - \frac{3}{2} e^2/r^2$ siehe oben. Es ist (§ 42) $\mathfrak{L} = 16,08$, r nahe = 79,8 cm, und der Correctionsfactor in der steilen Klammer erhält den Werth:

1,00769.

64. Zahlenwerth der Galvanometerconstante des grossen Rahmens. — In der Formel:

$$(20) \quad G'' = \frac{2\pi n}{r} \cos \nu \cdot \left(1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2} \right) \left[1 + \frac{3}{16} \frac{\mathfrak{L}^2}{r^2} - \frac{9}{8} \frac{\mathfrak{L}^2 e^2}{r^4} + \frac{45}{1024} \frac{\mathfrak{L}^4}{r^4} \right] \left(1 - \frac{1}{8} \frac{b^2}{r^2} \right)$$

die unter § 60 bis 63 gegebenen Werthe eingesetzt, erhält man:

1887 Juli 13	18	21 _I	21 _{II}	29	Oct. 19	29
$G'' = 2,6947$	2,6946	2,6945	2,6947	2,6946	2,6940	2,6950.

65. Vergleichung der beiden als Tangentenbussolen gebrauchten Stromkreise. — Die Tangentenbussole bildet die Grundlage der ganzen Messung. Da die beiden Hauptresultate um 12/10000 auseinander gehen, so hielt ich für gut, noch eine directe Vergleichung beider Stromkreise vorzunehmen. Denn es genügt ein Fehler von 6/10000 in der Galvanometerconstante, um diesen Unterschied zu erklären, und da der erste Stromkreis aus einem 4 mm dicken Kupferkreis besteht, bei welchem, wenn auch eine ungleichmässige Stromvertheilung von dieser Wirkung

1) G. Wiedemann, Electricität 3. Aufl. 3. p. 204. 1883. Unser $\mathfrak{L}$ ist dort = $2l$ gesetzt. Wegen der durch die Nullmethode bedingten Symmetriestellung fallen die Glieder mit $\sin \alpha$ fort.

äusserst unwahrscheinlich ist, dieselbe doch nicht mit unbedingter Sicherheit verneint werden kann, so erschien dies um so mehr geboten.

Es wurde mit Hülfe der Herren Heydweiller und Sheldon über die bei der Ohmbestimmung gebrauchten Windungen des grossen Rahmens vier neue Windungen von brutto 0,26 mm dickem, besponnenem Draht gelegt, die, weil sie sich in die Vertiefungen des bifilar gewundenen unteren Drahtes einlegten, eine Breite von reichlich 4 mm einnahmen und daher mit dem Bandmaass gut ausgemessen werden konnten. Der Isolirwiderstand zwischen den alten und neuen Windungen betrug mehr als $4 \cdot 10^9$ Ohm.

Der kleinere dicke Stromring (§ 58) und der aus den obigen vier Windungen gebildete Ring wurde nun genau gegen eine kurze Magnetometernadel centrirt vertical nordsüdlich aufgestellt und derselbe Strom durch beide erst entgegengesetzt gesandt und dann gleich gerichtet, indem man den Strom im kleineren Ringe commutirte. Bei ersterer Schaltung werde der (Doppel-)Ausschlag $= x$, bei letzterer $= X$ gefunden, letzterer Werth der Tangente des einfachen Ausschlages proportional corrigirt. Dann ist, wenn i die Stromstärke vorstellt:

$$(21) \quad \frac{G_2}{G'} = \frac{X + x}{X - x}.$$

Das so beobachtete und das aus den Dimensionen berechnete Verhältniss stimmten so gut wie vollkommen überein.

Angenehm ist diese Uebereinstimmung auch deswegen, weil der dicke Kupfering bei der Bestimmung des electrochemischen Aequivalentes mit W. Kohlrausch gebraucht worden war. Zugleich findet sich also wenigstens für das vorliegende Exemplar des Kupferinges keine Bestätigung des mir freilich von vornherein unwahrscheinlichen Bedenkens, dass der Strom sich wegen Structurverschiedenheiten merklich ungleich in einem solchen Ringe verteilen möge. Für manche Zwecke sind doch solche dicke Ringe nicht gut zu entbehren.

66. Inconstanz der Galvanometerfunction. — Bildet die Galvanometernadel mit der Windungsebene des

Multiplicators den Richtungswinkel φ , so ist das Drehungsmoment des Stromes auf die Nadel kleiner als in der maximalen Parallelstellung, um einen Betrag, welcher dem Quadrate von φ proportional ist. Diese Correction kann man in zwei Theile trennen, nämlich erstens in das Heraustreten der Nadelpole aus dem Bereich der Maximalwirkung des Stromes und zweitens in den Umstand, dass die electromagnetischen Kräfte nicht mehr rechtwinklig am Magnet angreifen. Wir wollen vorläufig beides zusammenfassen und setzen:

$$(22) \quad G_{\varphi} = G(1 - g \cdot \varphi^2).$$

66 a. Multiplicator I, 1886. — Die Constante g wurde so bestimmt, wie ich früher angegeben habe.¹⁾ Derselbe constante Strom durchläuft den Hauptmultiplicator und eine Wiedemann'sche Bussole, deren Empfindlichkeit man durch Regulirung des Rollenabstandes derjenigen des Multiplicators nahe gleich gemacht hat. Man dreht nun den Multiplicator auf seiner horizontalen Kreistheilung um gemessene Winkel und beobachtet gleichzeitig die Einstellungen seiner Nadel und derjenigen des Hülfsgalvanometers. Die kleinen Schwankungen des letzteren zieht man von der Einstellung der Hauptnadel ab und befreit so die letztere von den Aenderungen der Stromstärke und des Erdmagnetismus. Diese Correctionen sind an den unten gegebenen Zahlen bereits angebracht.

Ist nun bei einer Beobachtung die Ablenkung x der Nadel aus ihrer Ruhelage an einer Scala vom Abstände A beobachtet worden, stellt also:

$$\alpha = 57,3^{\circ} \cdot \frac{x}{2A}$$

den vorläufig in Bogengraden gemessenen Ablenkungswinkel vor, ist ferner hierbei der Multiplicator aus seiner dem magnetischen Meridiane parallelen Stellung um Φ -Grade gedreht worden, so ist der Richtungswinkel:

$$\varphi = \Phi \pm \alpha.$$

Man hat alsdann:

$$(23) \quad g = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{x_0 - x}{x_0} \left(1 - \frac{3}{4} \frac{x_0^2}{A^2} \right). ^2)$$

1) F. K., Wied. Ann. 26. p. 431. 1885.

2) Die Drehung des Multiplicators wird im allgemeinen an sich

Ein Beobachtungssatz ergab:

Ablenkungen nach kleinen Zahlen:					nach grossen Zahlen:				
Kreis	φ	x mm	$x_0 - x$ mm	g	Kreis	φ	x mm	$x_0 - x$ mm	g
77,9 ⁰	+8,1 ⁰	408,96	11,88	0,0 ₃ 43	85,9 ⁰	+8,1 ⁰	412,53	11,26	0,0 ₃ 40
79,9	+6,1	414,14	6,70	42	87,9	+6,1	417,30	6,49	41
81,9	+4,1	417,82	3,02	42	89,9	+4,1	420,89	2,90	40
83,9	+2,1	420,05	0,79	42	91,9	+2,1	422,95	0,84	44
85,9	+0,1	420,83			93,9	+0,1	423,78		
87,9	-1,9	420,28	0,56	36	95,9	-1,9	423,07	0,72	46
89,9	-3,9	418,19	2,65	41	97,9	-3,9	420,94	2,85	44
91,9	-5,9	414,83	6,01	40	99,9	-5,9	417,76	6,03	40
93,9	-7,9	410,19	10,65	40	101,9	-7,9	412,36	11,43	43
Mittel = 0,0 ₃ 408					Mittel = 0,0 ₃ 422				
Hauptmittel = 0,000415.									

Zwischen den aus kleineren und grösseren Richtungswinkeln erhaltenen Resultaten ist bis $\varphi = 8^0$ noch kein Unterschied zu erkennen. Die Maximalstellung ist nach obigen Zahlen bei $90,0^0$.

Einige andere Beobachtungen, von denen die letzte nach dem gleich zu beschreibenden Verfahren mit dem concentrisch aufgestellten grossen Drahtringe erhalten wurde, ergaben 0,0₃409, 426, 411, 410. Im Mittel also ist zu setzen: 0,000 414.

Der Werth ist bis jetzt auf den in Bogengraden gemessenen Richtungswinkel φ bezogen. Rechnen wir für unsere Zwecke in absolutem Winkelmaass, so wird φ im Verhältniss 57,3 kleiner, g also im Verhältniss $57,3^2 = 3283$ grösser. Also ist zu setzen:

$$g = 0,0_3414 \cdot 3283 = 1,360, \quad \text{und:} \\ (24) \quad G_\varphi = G(1 - 1,360 \cdot \varphi^2).$$

66b. Inconstanz des Multipliers II, 1887. — Einfacher noch als das vorige Verfahren wird die Bestimmung der Inconstanz der Multiplierfunction, indem man die Stromwirkung des Multipliers auf seine Nadel durch den-

schon, theils durch Deckglasverschiebung, theils durch magnetischen Einfluss eine kleine Verschiebung des Scalenbildes verursachen, die man leicht bestimmen und in Rechnung setzen kann. Sie betrug hier nur 0,1 Scalenth. auf 9^0 Drehung. Bei Drehversuchen nach beiden Seiten, wie hier, hebt sich der Einfluss von selbst heraus.

selben Strom oder einen Zweig desselben, welcher in einer constant stehenden Leitung fliesst, compensirt.

Der grosse Ring (§ 20) liefert hierzu von selbst das Mittel. Der Strom wurde so, wie bei der Bestimmung der Multiplikatorfunction selbst (§ 21), verzweigt, nun der Multiplikator gedreht und die Einstellung der Nadel aus einigen Umkehrpunkten abgeleitet. Sodann führte man denselben Strom, unter Ausschaltung des Multiplikators (dessen eigener Widerstand nicht in Betracht kommt), durch die Tangentenbussole allein und beobachtete den Nadelausschlag.

Jedesmal wurden die Ausschläge nach beiden Seiten gemessen, indem man commutirte.

Ist wieder der Ausschlag bei der Parallelstellung der Nadel $= x_0$, bei dem Richtungswinkel φ aber $= x$, während X den (auf tg corrigirten) Ausschlag der Tangentenbussole allein bedeutet, so hat man:

$$(25) \quad g = \frac{1}{\varphi^2} \frac{x - x_0}{X - x_0}.$$

Beobachtet wurde für $\varphi = \pm 3^\circ$ bis $\pm 6^\circ$ übereinstimmend:

$$g = 0,0_3416.$$

Ein anderer Satz von Beobachtungen gab für $\varphi = \pm 2^\circ$ und $\pm 4^\circ$ die Zahlen 0,0₃429 und 0,0₃418, im Mittel also 0,0₃424.

Als Hauptresultat also setzen wir das Mittel 0,0₃420 und endlich, durch Multiplication mit 3283 (vor. S.) für φ in absolutem Winkelmaasse: $g = 1,378$;

$$(26) \quad G_\varphi = G(1 - 1,378 \cdot \varphi^2).$$

Da die Multiplikatoren I und II nahe gleich gestaltet sind, so controliren die beiden ebenfalls nahe gleichen Zahlen für g sich gegenseitig.

Den Correctionsfactor g kann man natürlich aus zwei Theilen zusammengesetzt ansehen, nämlich erstens aus der Verminderung des Drehungsmomentes infolge des Drehungswinkels φ , die für eine sehr kurze Nadel auftreten würde, und zweitens infolge des Heraustretens der Pole aus der Maximalstellung zum Multiplikator. Ersterer Umstand bringt für sich den Correctionsfactor $\cos \varphi = 1 - \frac{1}{2}\varphi^2$. Was man gewöhnlich Inconstanz wegen der Nadellänge nennt, ist also

für die beiden Multiplicatoren durch die um 0,5 verminderten g , d. h. durch die Zahlen $g_0 = 0,860$ und $0,878$ gegeben.

67. Der kleine gegenseitige Einfluss des Multiplicators und der Tangentenbussole 1886 wurde sorgfältig bestimmt.

Den Haupteinfluss übt der Multiplicator auf die Tangentenbussole, nicht sowohl durch den Strom selbst, als durch den (dem Strom proportionalen) Ausschlag des starken Magnets. Ein Ausschlag $+x$ der Multiplicatornadel bewirkte eine Ablenkung an der Tangentenbussole:

$$\Delta x' = +0,037 \cdot x.$$

Ein Strom in der Tangentenbussole vom Ausschlage x' bewirkte an dem Multiplicator die Ablenkung:

$$\Delta x = +0,002 \cdot x.$$

Einen kleinen Einfluss übten 1886 auch die festliegenden Leitungen auf dem Tische auf die Tangentenbussole. Derselbe kann gesetzt werden $\Delta_1 x' = +0,0315 \cdot x'$.

Wenn nun, wie gewöhnlich, Multiplicator und Tangentenbussole nach derselben Seite ausschlagen, ersterer um α , letztere um α' , so hat man wegen der äusseren Einwirkungen für $\operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \alpha'$ in der Rechnung zu setzen:

$$(27) \quad \frac{\operatorname{tg} \alpha - 0,042 \operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha' - 0,037 \operatorname{tg} \alpha - 0,0315 \operatorname{tg} \alpha'}.$$

Nun war 1886 Jan. 30 und 31 Febr. bis Aug.

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha} = 1,14, \quad = 1,03.$$

Daher kann man mit Rücksicht auf die Kleinheit der Correctionen für den Ausdruck (27) schreiben:

$$(27_a) \quad 1,045 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'}, \quad \text{bez. } 1,049 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'}.$$

Aug. 11 und 16 wurde auch mit entgegengerichteten Ausschlägen beider Instrumente beobachtet, indem nur die Tangentenbussole mit ihrer directen, selbst wirkungslosen Zuleitung commutirt wurde. Dann hat man also zu schreiben statt $\operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg} \alpha'$:

$$(27_b) \quad \frac{1}{1,049} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'}.$$

Eine Controle dieses Ausdrucks ergab sich aus einigen ad hoc angestellten Vergleichen einer gleich- oder entgegengesetzt gerichteter Ausschläge beider Instrumente.

68. Galvanometerconstante; Stromabzweignungsverhältniss i'/i . — Der Strom i' gehe ungetheilt durch die Tangentenbussole (Fig. 4, auch § 15 ff.). In diesem Stromkreis befindet sich ein Stück von 10 S.-E., bestehend aus zehn nebeneinandergeschalteten Widerständen von je 100 S.-E. Von den Enden desselben ist eine Abzweigung durch den Multiplicator w und einen diesem zugefügten grossen Widerstand R geführt. Der Stromzweig im Multiplicator sei i . Es ist dann das Abzweignungsverhältniss:

$$(28) \quad \frac{i'}{i} = \frac{R + w + 10}{10}.$$

Ueber die Vergleichung von R mit 10 s. § 18. Die Bestimmungen vor und nach dem Stromdurchgange differirten um höchstens $\frac{1}{10000}$. Man setzt das arithmetische Mittel.

Es wurde gefunden:

Tab. 2. Stromverhältniss i'/i .

	i'/i		i'/i		i'/i
1886 Jan. 30	1000,71	Aug. 6	900,73	1887 Juli 13	101,038
„ 31	1000,82	„ 11 I	900,65	„ 18	101,054
Febr. 1	901,01	„ 11 II	900,51	„ 21	101,048
„ 2	900,94	„ 16 I	900,67	„ 29	101,032
„ 9	901,05	„ 16 II	900,60	Oct. 19	101,107
				„ 29	101,108

69a. Formel zur Berechnung der Galvanometerconstante G . — 1886 bedeute für den Multiplicator:

G die Galvanometerconstante (§ 58),

i die Stromstärke,

H die Horizontalcomponente des magnetischen Feldes,

Θ das Torsionsverhältniss,

A den Scalenabstand,

x bez. α den Scalenausschlag, bez. Ablenkungswinkel, während für die Tangentenbussole dieselben Bezeichnungen mit einem Index dienen.

Der Coëfficient der Inconstanz von G mit dem Aus-

schlage ist für den Multiplicator $g_0 = 0,860$ (§ 66_a am Schluss) und für die Tangentenbussole $g_0' = \frac{15}{16} l^2 / r^2 = 0,006$, da $l = 1,6$ cm (§ 46) und $r = 20$ cm.

Hiernach besteht die Gleichung, indem man zugleich die Correction wegen des Localeinflusses der Zuleitung und wegen des Wechseleinflusses ganz in den Ausschlag α' der Tangentenbussole aufnimmt (§ 67):

$$(36) \quad G = G' \frac{i'}{i} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha \frac{1 - 0,006 \alpha'^2}{1 - 0,860 \alpha^2} \frac{H}{H'} \frac{1 + \Theta}{1 + \Theta'}}{1} \cdot 1,0_3 49$$

bez. 1,0₃45 für 1886 Jan. 30 und 31 und 1/1,0₃49 für die entgegengerichteten Ausschläge Aug. 11 und 16.

69b. Bei der grossen Tangentenbussole 1887 fallen die Correctionen weg. Grosse Ausschläge werden auf eine Grösse proportional der Tangente corrigirt. Scalenabstand $A = 2600$ mm. Vgl. § 21:

x_0 ist der kleine Ausschlag bei entgegengerichtetem Strom,

x' derjenige, wenn derselbe Strom nur durch die Tangentenbussole fliesst,

X , wenn er durch beide Instrumente gleichgerichtet fliesst (nur Juli 13 II).

Man hat dann, wenn G'' die Constante des grossen Stromkreises ist:

$$(37) \quad G = G'' \frac{i'}{i} \left(1 + \frac{x_0}{x'} \right) \quad \text{bez. Juli 13 II}^* \quad G = G'' \frac{i'}{i} \cdot \frac{X + x_0}{X - x_0}.$$

70. Galvanometerconstante G ; Beobachtungen. — Ueber die Verbindungen s. § 15 ff., über die Ausführung der Beobachtungen § 19 und 21. G' und G'' findet sich in § 58 und 64; i'/i in § 68; über die Rechnung s. § 69 a und b.

Tab. 3 enthält die Resultate. Der obere Theil gibt erst die beobachteten Doppelausschläge $2x$ und $2x'$ für Multiplicator und Tangentenbussole, an jedem Tage mindestens zwei Bestimmungen.

Tabelle 3
Galvanometerconstante G in $[\text{cm}^{-1}]$.

1886	$2x$	$2x'$	G		$2x$	$2x'$	G
	mm	mm	cm^{-1}		mm	mm	cm^{-1}
Jan. 30	180,56	206,05	274,53	Aug. 6	371,03	381,54	274,26
	333,66	381,28	274,34	gleich-	244,47	251,32	274,21
Jan. 31	335,15	382,79	274,51	gerichtet	534,26	549,79	274,33
	455,52	520,61	274,54	Aug. 11	383,00	393,68	274,09
Febr. 1	374,64	385,38	274,41	entgegen	554,05	569,95	274,15
	543,78	559,72	274,51				
Febr. 2	494,34	508,66	274,49	gleich	387,37	398,50	274,11
	358,05	368,23	274,42		561,98	578,59	274,19
				Aug. 16	383,68	394,14	274,26
Febr. 9	359,22	369,41	274,56	entgegen	547,07	562,54	274,26
	500,79	515,35	274,59				
	502,29	516,90	274,58	gleich	388,97	400,05	274,19
					553,58	569,95	274,18

1887	$2x$	$2x'$	G
	mm	mm	cm^{-1}
Juli 13	2,423	750,1	273,15
Juli 13 II*	1,578	970,2	273,16
Juli 18	2,367	747,7	273,16
Juli 21	2,409	766,4	273,13
	2,328	761,1	273,14
Juli 29	2,380	757,7	273,09
Oct. 19	1,982	769,9	273,09
Oct. 29	2,292	767,8	273,31

Eine Messung Juli 13 mit hintergeschalteten Hunderten und Zehntausendern, also mit hundertmal grösseren Widerständen, ergab merklich dasselbe Resultat, wodurch die vollkommene Isolation bewiesen wird.

70b. Mittelwerthe der Multiplicatorconstante G . — Die Zahlen zerfallen in vier Gruppen. 1886 Jan. 30 bis Febr. 2, dann Febr. 9 für sich, da der Magnet hier frisch aufgehängt wurde. Weiter 1886 August, wo der Magnet mit den Gewichten beschwert war, und 1887 der Multiplicator Nr. II mit constant aufgehangenem Magnet.

Innerhalb der einzelnen Gruppen stimmen die Resultate, so gut man erwarten darf, überein. Nur der letzte Werth 1887 Oct. 29 weicht um 0,0355 von dem Mittelwerthe ab,

also um einen grösseren Betrag, als die einfache Versuchs-anordnung hier erwarten lässt.¹⁾

Die Stellung des Magnets zum Multiplicator wurde immer nach Höhe und Seitenverschiebung controlirt. Besondere Versuche hatten gezeigt, dass innerhalb der vorkommenden Aenderungen die Galvanometerconstante auf $\frac{1}{10000}$ constant war.

Hygroskopische Aenderungen des Multiplicatorrahmens könnten die Constante etwas beeinflussen, doch ist dies schwer festzustellen.

Ich setze für G in jeder Gruppe den Mittelwerth:

1886 bis Feb. 2	Feb. 9	August	1887 ²⁾
$G = 274,472$	274,58	274,207	273,153.

Verhältniss des Stabmagnetismus zum Erdmagnetismus M/H .

Die Beschreibung der Instrumente und deren Handhabung s. § 22 ff.; Scalenabstände § 57, Torsionscoefficienten § 47, magnetische Localeinflüsse § 51, Polabstand des Magnets § 42, der Magnetometer § 46.

1886 geschahen die Ablenkungen aus der zweiten, 1887 aus der ersten Gauss'schen Hauptlage.

71. Abstand a des Magnets von den Magnetometern. — Gemessen wurde der Abstand $2a$ der beiden Theilstriche des Zweimeterstabes, vor denen die Magnetometercocons aufgestellt wurden (§ 24). Der Abstand beträgt:

1886 Feb.	Aug.	1887 Aug.	Oct. 21	Oct. 30
$a = 99,982$	100,005	104,702	104,703	93,003 cm.

72. Formeln zur Berechnung von M/H . — M' sei zunächst der Eigenmagnetismus des Stabes in der Ostwestlage, H' die Horizontalintensität im Magnetometer, a der Wirkungsabstand, ϱ der Polabstand des Stabes, l derjenige der Nadel, ϑ das Torsionsverhältniss des letzteren; φ end-

1) Vor dieser Bestimmung waren die Instrumente durch Unvorsichtigkeit verschoben worden. Ein Verschieben bei der Neuorientirung ist freilich unwahrscheinlich, aber nicht undenkbar.

2) Nur 1887 Juli 16, wo der Multiplicator während der Dämpfungsbeobachtungen um $0,35^\circ$ gegen die Maximalstellung verdreht war, ist zu setzen $273,153 \cdot \cos 0,35^\circ = 273,148$.

lich ihr Ablenkungswinkel. Kommen zwei Nadeln gleichzeitig zur Beobachtung, so gilt für H' , φ und ϑ das arithmetische Mittel, während l berechnet wird aus $l^2 = \frac{1}{2}(l_1^2 + l_2^2)$

Dann ist nach den vereinfachten, von mir gegebenen Formeln¹⁾:

1886 in 1. Hauptlage

$$(38) \quad \frac{M'}{H'} = \frac{1}{2} a^3 (1 + \vartheta) \left(1 - \frac{1}{4} \frac{l^2 - \frac{3}{2} l'^2}{a^2} \right)^2 \left(1 - \frac{0,96}{a^2} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

1887 in 2. Hauptlage

$$(39) \quad \frac{M'}{H'} = a^3 (1 + \vartheta) \left(1 + \frac{1}{4} \frac{l^2 - 4 l'^2}{a^2} \right)^{3/2} \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

M/H für die Schlussrechnung. 1) An Stelle von M' ist zu setzen der wegen der Induction durch den Erdmagnetismus corrigirte Werth M_0 ²⁾:

$$(40) \quad M_0 = M' + (\mu - \mu') H = M' \left[1 + (\mu - \mu') \frac{H}{M'} \right],$$

worin μ und μ' den Längs- und Querinductionscoefficienten des Stabes bezeichnen (§ 45).

2) An Stelle von H' , welches für den Ort und den Instrumentaleinfluss der Magnetometer gilt, ist einzuführen der für den Multiplicator geltende Werth H_0 . Zu diesem Zwecke muss also M'/H' noch multiplicirt werden mit:

$$\frac{H'}{H_0} = 1 - \frac{H_0 - H'}{H_0}.$$

$(H_0 - H')/H_0$ s. § 51, wo H_0 mit H bezeichnet ist.

73. Schlusswerthe M/H . — M_0/H_0 gilt für den mittleren Stand t_0 des Thermometers und n_0 des Intensitätsvariometers. Sind die Dämpfungsbeobachtungen bei t und n angestellt, so ist anstatt M_0/H_0 in die Schlussrechnung einzuführen (§ 43 und 52):

$$(42) \quad \frac{M}{H} = \frac{M_0}{H_0} [1 + 0,046 (t_0 - t) + 0,063 (n_0 - n)].$$

In Tab. 4 ist x der in richtigen mm angegebene halbe

1) F. K., Sitzungsber. d. Münch. Akad. 1887. p. 29: Wied. Ann. 31. d. 614. 1887. Der Correctionsfactor $1 - 0,96/a^2$ enthält eine kleine Unsymmetrie des Magnetismus im Stabe M .

2) Dorn, Wied. Ann. 17. p. 777. 1882.

Doppelausschlag der Magnetometer, im Mittel aus den Beobachtungen beider Instrumente; 1886 gleich als Mittel auf beiden Seiten, 1887 dagegen wegen des ungleichen Scalenabstandes einzeln aufgeführt. Ueber den Scalenabstand A vgl. § 57.

1887 Juli 15. 16 und 22. 23 wurde M/H zu anderen Zeiten bestimmt als die Dämpfung. Zur Ohmbestimmung Juli 16 gehören die beiden M/H Juli 15 und 16, aus denen später das Mittel genommen werden soll; M/H Juli 23 gehört zu Ohm Juli 22.

Tabelle 4. Beobachtete Werthe von M/H .

	Temp. t_0	In- tens. n_0	Mittl. Aus- schlag x	Scalen- abstand A	M H'	M_0 H_0	Temp. t	In- tens. n	$\frac{M}{H}$
1886	o	p	mm				o	p	
Feb. 3	14,05	91,95	220,13	3008,1	36864	36933	14,00	91,49	36944
Feb. 6	11,40	92,11	220,33	3007,6	36905	36974	11,46	91,58	36985
Feb. 10	13,87	90,86	220,15	3007,7	36874	36943	13,95	90,98	36939
Aug. 12	20,41	97,87	219,20	3004,0	36787	36839	20,37	97,00	36860
Aug. 13	18,89	99,54	219,13	3003,9	36777	36830	18,91	99,73	36825
Aug. 14	19,63	98,85	219,13	3004,2	36773	36826	19,70	99,29	36814
1887			$x \begin{cases} \text{West} \\ \text{Ost} \end{cases}$	$A \begin{cases} \text{West} \\ \text{Ost} \end{cases}$					
Juli 15	22,93	100,29	343,45 315,42	2659,8 2427,0	36593	36664	22,55	99,32	36694
Juli 16	22,95	101,05	343,19 315,35	2659,8 2427,2	36577	36645	22,55	99,32	36691
Juli 23	21,29	99,41	343,86 315,75	2659,6 2427,4	36636	36705	21,03	100,24	36690
Juli 30	23,52	99,03	343,36 315,67	2659,6 2427,4	36602	36673	23,53	98,61	36682
Oct. 21	15,09	104,53	344,40 316,41	2660,1 2427,3	36704	36773	15,17	104,11	36781
Oct. 27	13,38	102,58	395,71 361,14	2117,7 1926,0	36782	36851	13,46	103,08	36838

Schwingungsdauer τ und logarithmisches Decrement A' bei offener Kette.

74. Die Zeitbestimmung geschah nach einem Chronometer, dessen Gang schon angebracht worden ist.

Fast immer wurde eine Bestimmung vor, eine zweite nach der Dämpfungsbeobachtung ausgeführt. In Tab. 5 wird gleich das Mittel gegeben, schon auf kleine Schwingungswerthe reducirt.

Die ersten Spalten enthalten wieder die Temperatur t_0 und den mittleren Stand n_0 des Intensitätsvariometers.

t und n sind wieder die aus Tab. 6 zu entnehmende Temperatur und Intensität während der Dämpfungsbeobachtungen. Diesen Ständen entspricht also die Schwingungsdauer τ (§ 43 und 52):

$$(43) \quad \tau = \tau_0 [1 + \frac{1}{2} 0,0346 (t - t_0) + \frac{1}{2} 0,0363 (n_0 - n)].$$

τ ist die in die Schlussrechnung einzuführende Schwingungsdauer.

Die letzte Spalte enthält das in gewöhnlicher Weise während der Schwingungen gewonnene natürliche log. Decrement $\mathcal{A}'$ bei offener Kette. Die Zahlen stimmen durchweg so gut überein, dass ich die Angabe von Einzelheiten unterlassen darf.

Tabelle 5.

	Temp. t_0	Intens. n_0	τ_0	Temp. t	Intens. n	τ	$\mathcal{A}'$
1886	^o	^p	^{sec}	^o	^p	^{sec}	
Feb. 3	13,97	91,78	8,2117	14,00	91,49	8,2125	0,00184
Feb. 6	11,45	91,76	8,2099	11,46	91,58	8,2104	0,00189
Feb. 10	13,91	90,95	8,2144	13,95	90,98	8,2144	0,00196
Aug. 12	20,33	96,88	13,6222	20,37	97,00	13,6218	0,00210
Aug. 13	18,90	100,00	13,6057	18,91	99,73	13,6069	0,00210
Aug. 14	19,68	99,65	13,6066	19,70	99,29	13,6083	0,00209
1887							
Juli 16	22,55	99,25	13,5709	22,55	99,32	13,5714	0,00199
Juli 22	21,02	100,27	13,5614	21,03	100,24	13,5622	0,00203
Juli 30	23,50	98,69	13,5786	23,53	98,61	13,5790	0,00201
Oct. 21	15,11	104,21	13,5484	15,17	104,11	13,5491	0,00198
Oct. 27	13,42	102,61	13,5471	13,46	103,08	13,5452	0,00200

75. Controlen für M/H und τ . — Innerhalb jeder Gruppe blieb der Magnet¹⁾ und das Intensitätsvariometer

1) Nur am 8. Februar 1888 wurde der Magnet neu aufgehängt.

ungeändert; in jeder Gruppe ist das letztere auf eine constante Temperatur reducirt. Führt man die einzelnen Bestimmungen von M/H und τ auf gleiche Temperatur und gleichen Erdmagnetismus zurück, so halten sich die Abweichungen vom Mittelwerth für M/H innerhalb $\pm 1/5000$ und für τ innerhalb $\pm 1/9000$ des Ganzen.

Eine nicht unwichtige Frage betrifft ferner die Berechtigung der an M/H angebrachten Correctionen wegen der magnetischen Instrumentaleinflüsse. Eine Probe für dieselben kann man darin suchen, dass man die Ausschläge x der einzelnen Magnetometer, die ja paarweise unter ganz gleichen Bedingungen gebraucht worden sind, miteinander vergleicht. Dabei findet sich, dass das Vorzeichen von Rechnung und Beobachtung stets übereinstimmt; die Fehler bleiben unter 0,1 mm. Die berechneten Differenzen sind durchschnittlich um 0,05 mm grösser, was einem Fehler von etwa $1/6000$ in dem Unterschied der angenommenen Instrumentaleinflüsse entsprechen würde.¹⁾ Mit Rücksicht auf die Verwendung von fünf verschiedenen und recht ungleichen Magnetometern kann man als ziemlich sicher annehmen, dass kein merklicher von den magnetischen Einflüssen herführender Fehler in dem Resultat steckt.

Doch wird man den Messungen 1887, weil sie Magnetometer benutzen, die überhaupt so gut wie keinen magnetischen Einfluss zeigen, einen Vorzug einräumen müssen.

Logarithmisches Decrement A bei geschlossener Kette.

76. Allgemeines. — Die Schwingungen wurden in regelmässiger Aufeinanderfolge mit einem kleinen Magnetinductor N (Fig. 3 und 4) hervorgebracht. Dessen Spule ist 4,5 cm lang, hat 270 Windungen (bei der ersten Gruppe 160) von 2 mm dickem Draht, und der inducirende Magnet besteht in der von W. Weber angegebenen Weise aus zwei gleichen, mit gleichnamigen Polen gegeneinander gerichteten Magneten von 0,9 cm Dicke, 9 cm Länge und dem Magnetismus von je etwa 600 [cm, g]. Seine Fernwirkung auf den Multiplicator oder das Variometer war stets unmerklich.

1) Vgl. die ausführlichen Mittheilungen in d. Münch. Abh. § 74.

Die Anschläge sind so regulirt, dass in der Nachbarschaft der äussersten Stellungen die Induction verschwindet.

Ich will noch bemerken, dass vor dem Beginn eines Satzes von Dämpfungsbeobachtungen sorgfältig beachtet wurde, dass die Nadel keine Pendel- oder Vibrationsbewegungen besass, die sich in Drehbewegung umsetzen könnten.

1886 Februar blieb die Inductorspule immer eingeschaltet. Von da an habe ich, um gegen Aenderungen des Magnetismus ganz gesichert zu sein, immer den Inductor, nachdem der Stoss gegeben war, ausgeschaltet. Hierzu diente der Quecksilbernebenschluss *S* (Fig. 3 und 4) am Inductor. Die Contactvorrichtung war mit Watte bewickelt und befand sich ausserdem unter Glas, um wechselnde Thermoströme sicher zu vermeiden.

77. Um die unausbleibliche kleine Unsymmetrie zu eliminiren, müssen Dämpfungsbeobachtungen immer die positiven und die negativen Ausschläge gleichmässig benutzen. Dies ist überall geschehen.

1886 Februar. Es wurden nach dem Inductionsstoss drei Umkehrpunkte beobachtet. Die erste Elongation betrug zwischen 310 und 390 mm, die letzte 21 bis 23 mm. Bei dem nächsten Durchgang durch die Ruhelage erfolgte ein Inductionsstoss nach der entgegengesetzten Seite. Jeder Umkehrpunkt wurde etwa zehnmal beobachtet; die Mittel werden von den Theilfehlern befreit, die Elongationen auf Bogenwerth reducirt. Auf jeder Seite der Scala liegen also eine grösste, eine mittlere und eine kleinste Elongation. Nennen wir die Umkehrpunkte a_1 und a_2 , b_1 und b_2 , c_1 und c_2 , so lassen sich drei Dämpfungsverhältnisse berechnen, nämlich:

$$(45) \quad \left\{ \begin{array}{l} k_1 = \frac{a_1 - a_2}{b_1 - b_2}, \quad k_2 = \frac{b_1 - b_2}{c_1 - c_2} \\ \text{und } k_3 \text{ als Mittelwerth aus } \frac{a_1 - b_2}{c_1 - b_2} \text{ oder } \frac{b_1 - a_2}{b_1 - c_2}. \end{array} \right.$$

k_1 bietet den Vortheil der grössten Bögen, k_3 den Vortheil, dass die zusammengehörigen Umkehrpunkte nur um die einfache Schwingungsdauer auseinanderliegen, während zwischen a_1 und a_2 etc. je die dreifache Schwingungsdauer

(zusammen 25 Sec.) liegt, sodass Schwankungen des Erdmagnetismus also auf k_1 und k_2 stärker wirken können.

k_1 und k_3 sind bei der Mittelnahme gleich berücksichtigt worden; k_2 wird aus zwei Bögen berechnet, von denen der kleinere nur 42 bis 46 mm beträgt, und hat deswegen nur das Gewicht $\frac{1}{2}$ erhalten.

1886 August und 1887. Nach jedem Stoss werden fünf Umkehrpunkte d. h. vier Schwingungsbögen beobachtet. Der grösste Bogen betrug 1886 August etwa 570 mm an 2990 mm weiter Scala, 1887 etwa 450 mm an 2580 mm weiter Scala. Die kleinsten Bögen waren etwa 55, resp. 44 mm. Man gab mindestens 12 Inductionsstösse bei jedem Satze, nahm das Mittel zusammengehöriger Umkehrpunkte und reducirte wie oben.

Nach Zusammenfassung der (nahe gleichen) ansteigenden und abfallenden Bögen erhält man so drei Dämpfungsverhältnisse. Denselben ist bei der Mittelnahme folgeweise das Gewicht 3, 2, 1 beigelegt worden.

Constanz des Dämpfungsverhältnisses. Bei der Reduction der ersten Reihen wurde ich stutzig darüber, dass, auch nach der Correction des § 78, das Dämpfungsverhältniss aus den kleinen Bögen fast regelmässig etwas grösser ausfiel als aus den anderen. Ich habe nach Fehlerquellen gesucht, die in der Constante g oder in den Schering'schen Formeln liegen könnten. Aber ich kam zu der Ansicht, dass die Ursache in der Neigung des Beobachters liegt, den Umkehrpunkt der Nadel zu niedrig zu schätzen. Besonders bei den rascheren Schwingungen von Gruppe 1 mag das der Fall sein. Es genügen, um die grössten Abweichungen zu erklären, constante Ablesungsfehler von 0,1 mm.

Man könnte hiernach versucht sein, die kleinen Schwingungen besonders in der ersten Gruppe gar nicht zu benutzen. In der That würden die beiden Hauptresultate einander dadurch näher gerückt werden, und das ganze Resultat würde für den Werth des Ohm etwa 0,2 mm Quecksilber weniger ergeben. Indessen würde ich die Maassregel doch nicht für hinreichend gerechtfertigt halten.

In den späteren Beobachtungen ist diese regelmässige Abweichung grösstentheils verschwunden.

78. Reduction des logarithmischen Decrements auf kleine Schwingungsweite nach K. Schering.¹⁾ — Schwingt der Magnet nach der Gleichung:

$$(46) \quad \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + m \left(1 - m' \varphi^2 \right) \frac{d\varphi}{dt} + n \left(1 - n' \varphi^2 \right) \varphi = 0,$$

und ist $\mathcal{A}$ das aus zwei aufeinanderfolgenden Elongationen α_1 und α_2 als $\mathcal{A} = \log \text{nat } \alpha_1 / \alpha_2$ abgeleitete Decrement, so findet man den Grenzwert $\mathcal{A}_0$ für kleine Schwingungsweite in der Schering'schen Bezeichnung aus:

$$(47) \quad \mathcal{A}_0 = \mathcal{A} + \mathcal{A}_0 S_2 \alpha_1^2.$$

S_2 hat den Werth:

$$(48) \quad S_2 = \frac{1 - e^{-2\mathcal{A}_0}}{\mathcal{A}_0} \cdot \frac{\frac{1}{8} m' \left(1 + 7 \frac{\mathcal{A}_0^2}{\pi^2} \right) - \frac{1}{32} n' \left(1 + \frac{23}{11} \frac{\mathcal{A}_0^2}{\pi^2} \right)}{1 + \frac{1}{4} \frac{\mathcal{A}_0^2}{\pi^2}}.$$

Zum Einsetzen von $\mathcal{A}_0$ in S_2 und in die Correction $\mathcal{A}_0 S_2 \alpha^2$ genügt ein den Beobachtungen mit kleinerer Schwingungsweite entnommener vorläufiger Werth.

Da der Coefficient von $d\varphi/dt$ dem Quadrate der Multiplicatorfunction proportional ist, und da $G_{\varphi}^2 = G^2 (1 - 2g \varphi^2)$ ist, so hat man $m' = 2g$, d. h. für Multiplicator Nr. I $m' = 2,720$, für Nr. II (1887) $m' = 2,756$. Vgl. § 66 a und b. Ferner ergibt sich aus der Beziehung $(1 - n' \varphi^2) \varphi = \sin \varphi$ noch $n' = 1/6$.

Die zwei Decremente λ_1 und λ_2 1886 Februar (Tab. 6a) werden, wie die Formel 48 voraussetzt, aus zwei aufeinanderfolgenden Elongationen abgeleitet. Die übrigen Decremente aber sind alle aus zwei ganzen Bögen β_1 und β_2 als $\mathcal{A} = \log \beta_1 / \beta_2$ gewonnen worden. Man findet leicht für diesen Fall, wenn $\varkappa = e^{\mathcal{A}} = 10^{\lambda}$ das Dämpfungsverhältniss bedeutet:

$$(49) \quad \mathcal{A}_0 = \mathcal{A} + \mathcal{A}_0 S_2 \frac{\varkappa^2 + 1}{(\varkappa + 1)^3} \beta_1^2.$$

79. Zahlenresultate für die logarithmischen Decremente $\mathcal{A}$. — Tab. 6a und b gibt die Temperatur des Multiplicators, welche auch für den Magnet gilt (§ 12), ferner

1) K. Schering, Wied. Ann. 9. p. 471. 1880.

Tabelle 6_a. Brigg. und natürl. log. Decremente λ und λ' bei geschlossenem Multiplikator und Widerstand w des letzteren in m/mm^2 Quecksilber von 0° .

1886	Zeit	Temp.	Intens.- Var.	λ_1	λ_2	λ_3	λ Mittel	λ'	Zeit	Temp.	Quecks.- Widerst. w
Febr. 3	10 ^h 3 ^m	13,85 ⁰	92,04 ²	0,59909	0,59941	0,59915	0,59918	1,3797	10 ^h 40 ^m	14,00 ⁰	1,4118
	11 12	14,15	90,95	0,59869	0,59980	0,59894	0,59901	1,3793	11 0	14,15	1,4122
		14,00	91,49					1,3795		14,07	1,4120
Febr. 6	12 40	11,51	91,43	0,60815	0,60944	0,60841	0,60851	1,4011	12 52	11,52	1,3969
	1 20	11,49	91,65	0,60838	0,60938	0,60858	0,60866	1,4015	1 32	11,47	1,3964
	1 43	11,46	91,50	0,60839	0,61007	0,60872	0,60883	1,4019	2 0	11,42	1,3960
	2 15	11,40	91,73	0,60858	0,61025	0,60890	0,60904	1,4024			
		11,46	91,58					1,4017		11,47	1,3964
Febr. 10	11 26	13,82	90,10	0,60056	0,60121	0,60070	0,60075	1,3833	11 45	13,85	1,4104
	12 0	14,00	91,28	0,60025	0,59999	0,60020	0,60018	1,3820	12 10	14,00	1,4109
	12 26	14,02	91,56	0,59997	0,60027	0,60003	0,60005	1,3817			
		13,95	90,98					1,3823		13,98	1,4106
Aug. 12	—	20,35	96,68	0,38746	0,38759	0,38803	0,38760	0,77785	—	20,36	1,4166
	—	20,39	97,83	0,33730	0,33738	0,33806	0,33746	0,77703	—	20,36	1,4166
		20,37	97,00					0,77719		20,36	1,4166
Aug. 13	3 14	18,82	99,64	0,33969	0,34015	0,334043	0,33979	0,78281	—	18,86	1,4093
	3 47	18,91	99,49	0,33962	0,33960	0,33976	0,33965	0,78207	—	18,96	1,4087
	4 16	19,00	100,05	0,33949	0,33987	0,33970	0,33949	0,78170			
		18,91	99,73					0,78219		18,91	1,4085
Aug. 14	3 15	19,62	99,03	0,33845	0,33834	0,33876	0,33846	0,77034	3 30	19,64	1,4126
	3 50	19,71	99,05	0,33830	0,33837	0,33853	0,33836	0,77910	4 3	19,75	1,4130
	4 20	19,78	99,80	0,33802	0,33818	0,33837	0,33818	0,77858			
		19,70	99,29					0,77901		19,69	1,4128

den mittleren Stand des Intensitätsvariometers (§ 52) auf dieselbe Temperatur reducirt wie bei M/H und τ .¹⁾ In den meisten Fällen ist auch die mittlere Beobachtungszeit angegeben.

Es folgen dann die beobachteten briggischen log. Decremente $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$, nach § 78 auf kleine Schwingungsweite reducirt und ihr Mittelwerth λ (vgl. § 77). Weiter das natürliche log. Decrement $A = 2,3026 \cdot \lambda$.

Ueber den Quecksilberwiderstand w vgl. § 80.

Quecksilberwiderstand w des Multiplicators.

80. In geeigneter alternirender Weise gegen die absoluten Widerstandsbestimmungen (Dämpfungsbeobachtungen) wurde der Multiplicator mit dem Quecksilberrohre oder den Neusilbernormalen verglichen (§ 35, 37). Dies geschieht durch blosses Umlegen eines Quecksilberbügels, in der durch Fig. 11 angegebenen Verbindung mit dem Differentialgalvanometer im übergreifenden Nebenschluss (§ 36). Der Strom von einer Säule E , gewöhnlich einem kleinen Daniell, geht durch das Quecksilberrohr Hg , resp. den an derselben Stelle zu denkenden Neusilberwiderstand und die Multiplicatorleitung Mu hintereinander.²⁾ Von den Eintritts- und Austrittsstellen sind Abzweigungen nach dem Differentialgalvanometer $D_1 D_2$ geführt. Aus dem Rheostaten Rh , der zu der Multiplicatorleitung im Nebenschluss sitzt, wird so viel Widerstand R eingeschaltet, dass das Differentialgalvanometer bei dem Stromschluss ruhig bleibt (vgl. auch § 36). Man wechselt nun zur Eliminirung der Uebergangswiderstände die Verbindungen in dem sechsnäpfigen Commutator C so aus, dass die vorher nicht verbundenen Näpfe jetzt miteinander verbunden werden, sucht wieder das zugehörige, dem früheren nahe gleiche R , nimmt das Mittel aus beiden und berechnet den Multiplicatorwiderstand w in Quecksilbereinheiten aus dem in sol-

1) Nämlich 1886 Febr. + 13,0°, 1886 Aug. + 20,0°, 1887 Juli + 23,0°, 1887 Oct. + 14,0°.

2) Der Inductor N ist in der Figur ausgeschaltet. 1886 Febr. ist er natürlich, wie damals bei den Dämpfungsbeobachtungen, eingeschaltet geblieben.

chen ausgedrückten Widerstände γ von *Hg* nach Gleichung (10) § 36.

Es ist ganz unnöthig, hier Einzelheiten mitzutheilen; der Werth w ist in der letzten Spalte von Tab. 6a und b gleich fertig gegeben. Hinzugefügt ist die gleichzeitig abgelesene Temperatur im Multiplicator und in den meisten Fällen auch die Beobachtungszeit.

81. Mittelwerthe von $\mathcal{A}$ und w . — Man könnte aus den Beobachtungen eines jeden Tages durch Zusammenstellung zusammengehöriger Werthe von $\mathcal{A}$ und w mehrere Quecksilberwerthe des Ohm berechnen. Indessen wird dies umständlich, weil die M/H und τ dann auch immer auf die Temperatur und die erdmagnetische Intensität bei dem betr. einzelnen $\mathcal{A}$ reducirt werden müssen.

Ich habe mir diese Mühe gespart. Man sieht fast ausnahmslos, wie die Temperaturänderung des Multiplicatorwiderstands sich in den einzelnen $\mathcal{A}$ und w im richtigen Sinne äussert. Steigt die Temperatur, so wächst w und $\mathcal{A}$ nimmt ab und umgekehrt.

Es sind also gleich die Hauptmittel von $\mathcal{A}$ und w gebildet, die sich am Schluss jeder Tagestabelle befinden. Darunter steht die zugehörige Mitteltemperatur des Multiplicators. Mit Ausnahme des ersten Satzes 1886 Febr. 3, wo die zeitliche Symmetrie der Beobachtungen nicht innegehalten worden war, stimmen diese Temperaturen für $\mathcal{A}$ und für w immer bis auf höchstens $0,02^\circ$ überein. Diese kleinen Differenzen sind dann schliesslich in Rechnung gesetzt, indem die Quecksilberwiderstände w des Multiplicators unter Zugrundelegung des Temperaturcoefficienten 0,004 für den Kupferdraht auf die für $\mathcal{A}$ geltende Temperatur corrigirt worden sind. Nur für 1886 Febr. 3 übersteigt diese Correction $\frac{1}{10000}$.

Tab. 7 enthält diese corrigirten Werthe.

Schlussrechnung für den absoluten Widerstand.

82. Es ist nur noch nothwendig, die im § 4 gegebene übersichtliche Formel (1) durch Einführung 1) der Selbstinductionsconstante II des Multiplicators, 2) der Luftdämpfung,

3) der Fadentorsion zu vervollständigen. Die Formel für die erste Correction ist von Dorn entwickelt worden.¹⁾

Die Zeichen stellen wieder vor

G die Empfindlichkeitsconstante des Multiplicators,

τ die Schwingungsdauer der Magnetonadel bei offener Kette für kleine Schwingungen,

M/H das Verhältniss ihres Stabmagnetismus zum horizontalen Erdmagnetismus im Multiplicator, corrigirt nach § 72 und 73,

Θ ihr Torsionsverhältniss,

A ihr natürliches log. Decrement bei geschlossener Kette bei kleiner Schwingungsweite,

A' dasselbe bei offener Kette.

Dann ist nach Dorn in dem Ausdrucke 1, § 4 für den absoluten Widerstand anstatt A im Nenner wegen der Selbstinduction einzusetzen:

$$A = \frac{H}{W} \frac{\pi}{\tau} \frac{A^2}{\sqrt{\pi^2 + A^2}}.$$

Nehmen wir die Torsion und die kleine Luftdämpfung A' hinzu, so wird also der absolute Widerstand der Kette W berechnet aus:

$$(50) \quad W = \frac{\pi^2}{2} G^2 \frac{1}{\tau} \frac{M}{H} \frac{1}{1 + \Theta} \frac{A}{\sqrt{\left(1 + \frac{A^2}{\pi^2}\right)}} = \frac{1}{\frac{H}{W} \frac{1}{\tau} \frac{A^2}{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}} A'.$$

H hat 1886 Febr., den Werth 17 800 000, später, ohne Inductor 16 800 000 cm (§ 41). Die ganze von der Selbstinduction herrührende Correction beläuft sich 1886 Febr. auf etwa 2/1000, in den anderen Gruppen auf etwa 1/1000. Für das W im Correctionsgliede des Nenners genügt also ein Näherungswerth, den man aus der Quecksilbervergleichung herleiten kann.

R e s u l t a t e.

83. Tab. 7 stellt die zur Rechnung gehörigen Werthe G § 70, τ und A' § 74 Tab. 5, M/H § 73 Tab. 4, Θ § 47,

1) Dorn, Wied. Ann. 17. p. 783. 1882 u. 22. p. 265. 1884.

A § 81 Tab. 6 zusammen und darunter den nach Formel (50) in [cm/sec] berechneten absoluten Widerstand W der Kette, mit 10^5 dividirt. Der Quecksilberwiderstand w derselben Kette ist gegen § 81 Tab. 6, wo derselbe in Siemenseinheiten ausgedrückt war, hier 10000 mal grösser, d. h. also in cm/qcm Quecksilber 0^0 gegeben.

W/w stellt also den absoluten Widerstand eines Centimeter = Würfels Quecksilber von 0^0 dar.

Unten steht das zur Uebersicht bequemste jedesmal gefundene Verhältniss für Ohm/Siemens, mit anderen Worten, die in Metern ausgedrückte Länge einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt, welche bei 0^0 den Widerstand 1 Ohm hat.

Tabelle 7_a. Schlussrechnung.

	1886	Febr. 3	Febr. 6	Febr. 10	Aug. 12	Aug. 13	Aug. 14	
	G	= 274,472	274,472	274,58	274,207	274,207	274,207	[cm ⁻¹]
	τ	= 8,2125	8,2104	8,2144	13,6218	13,6069	13,6083	sec
	M/H	= 36944	36985	36939	36860	36825	36814	[cm ³]
	Θ	= 0,00097	0,00097	0,00097	0,00320	0,00320	0,00320	
	A	= 1,3795	1,4017	1,3823	0,77719	0,78219	0,77901	
	A'	= 0,00184	0,00189	0,00196	0,00210	0,00210	0,00209	
10^{-5}	W	= 13274	13117	13259	13312	13234	13279	[$\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$]
	w	= 14116	13964	14107	14166	14085	14128	$\frac{\text{cm}}{\text{qcm}}$ Hg 0^0

Also beträgt der absolute Widerstand W/w eines Centimeterwürfels Quecksilber bei 0^0 in [cm/sec]:

	W/w	= 94040	93930	93990	93970	93960	93990
und $\frac{\text{Ohm}}{\text{Siemens}}$		= 1,0634	1,0646	1,0640	1,0641	1,0643	1,0639

Tabelle 7_b.

	1887	Juli 16	Juli 22	Juli 30	Oct. 21	Oct. 27	
	G	= 273,148	273,153	273,153	273,153	273,153	[cm ⁻¹]
	τ	= 13,5714	13,5622	13,5790	13,5491	13,5452	sec
	M/H	= 36692	36690	36682	36781	36838	[cm ³]
	Θ	= 0,00325	0,00325	0,00325	0,00325	0,00325	
	A	= 0,76818	0,77421	0,78036	0,78353	0,78516	
	A'	= 0,00199	0,00203	0,00201	0,00198	0,00200	
10^{-5}	W	= 13342	13253	13135	13149	13147	[$\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$]
	w	= 14174	14086	13963	13972	13971	$\frac{\text{cm}}{\text{qcm}}$ Hg 0^0

Demnach ist:

	W/w	= 94130	94080	94070	94110	94100
$\frac{\text{Ohm}}{\text{Siemens}}$		= 1,0624	1,0629	1,0631	1,0626	1,0627.

84. Die beiden Hauptmittel sind:

1886	1	Ohm	=	1,06405	Siemens	oder	m/qmm	Quecksilber	0°,
1887	1	„	=	1,06274	„	„	„	„	„

Der Unterschied von 0,0013 zwischen beiden Zahlen beruht theilweise natürlich auf den bei den einzelnen Bestimmungen begangenen Beobachtungsfehlern, aber wohl nur zum kleineren Theile. Denn der mittlere Fehler des einzelnen Resultats beträgt $1886 \pm 0,0_34$ und $1887 \pm 0,0_33$. Die Abweichung scheint also zumeist in den Grössen zu stecken, welche, wie Multiplicatorconstante, Polabstand, auch magnetische Localeinflüsse (p. 752) und Gewohnheitsfehler bei den Dämpfungsbeobachtungen (p. 754) in jede Gruppe besonders eintreten. Wenn man berücksichtigt, wie viele Beobachtungsdata hier zusammenwirken, von denen jedes mehrere Hunderttausendstel, einzelne aber auch Zehntausendstel Fehler bewirken können (vgl. § 9), so erscheinen die Abweichungen durchaus erklärlich.

Gerade bezüglich der constanten Einflüsse kommt den Ergebnissen des zweiten Jahres nun die grössere Glaubwürdigkeit zu.

Denn erstens sind die Hilfsmittel zur Bestimmung der Galvanometerconstante, dem schwierigsten Theile der Arbeit, hier vollkommener, und das Resultat setzt sich aus einer kleineren Anzahl von Einzelmessungen zusammen.

Zweitens geht der Polabstand mit einem etwa dreimal kleineren Einfluss als 1886 in den absoluten Widerstand ein. Weiter haben die 1887 gebrauchten Magnetometer einen fast verschwindenden magnetischen Eigeneinfluss. Endlich ist der Umstand zu beachten, dass die aus verschiedenen Schwingungsweiten erhaltenen log. Decremente 1887 erheblich besser übereinstimmen als 1886.

Schlussresultat.

85. Ich gebe mit Rücksicht auf diese Vorzüge dem zweiten Hauptmittel das doppelte Gewicht und erhalte:

1	Ohm	=	1,0632	Siemens	oder	m/qmm	Quecksilber	0°.
1	Siemens	=	0,9406	Ohm.				

Professor Glazebrook hatte die Güte, unsere Neusilber-normale Nr. I mit der British-Association-Einheit in Cambridge zu vergleichen. Er findet hierbei:

$$1 \text{ B.A.E.} = 1,0489 \text{ Siemens,}$$

sodass nach unserer Messung sich ergibt:

$$1 \text{ B.A.E.} = 0,9866 \text{ Ohm.}$$

Drücken wir unser Resultat schliesslich in der Form aus dass wir den absoluten specifischen Widerstand der Volum-einheit Quecksilber angeben, so ist:

$$1 \text{ cm/qcm Quecksilber } 0^\circ = 94060 \text{ [cm/sec].}$$

Die internationale Commission, welche den Werth für das „legale Ohm“ festgesetzt hat, war leider nicht in der Lage, die Ergebnisse der neueren, damals schon in Aussicht gestellten Untersuchungen über den Gegenstand abwarten zu dürfen, ehe sie ihren Beschluss fasste. Man einigte sich deswegen vorläufig auf die runde Zahl 1,06 m/qmm Quecksilber, welche zugleich dem Mittel der damals vorliegenden Resultate sehr nahe kam. Es wird kaum noch ein Zweifel darüber gestattet sein, dass die Zahl 1,06 etwas zu klein ist.

Würde man nach den jetzt vorliegenden Arbeiten die Festsetzung zu treffen haben, so würde der Werth zwischen 1,062 und 1,063 fallen und der Zahl 1,0625 wohl nahe kommen. Zugleich könnte man mit einiger Wahrscheinlichkeit aussprechen, dass hiermit die von der Commission ursprünglich erstrebte Fehlergrenze von $\pm 0,001$ erreicht sein dürfte.

Da indessen auch von den neueren Resultaten einzelne sich erheblich weiter als 0,001 von dem Mittelwerth entfernen, da also doch keine Sicherheit der Fehlergrenze $\pm 0,001$ vorliegt, da weiter die Technik keinen wesentlichen Nachtheil erleidet, wenn sie vorläufig den Werth 1,06 beibehält, während die Wissenschaft sich von der Majorisirung überhaupt unabhängig stellen wird, so kann man zweifeln, ob eine gesetzliche Aenderung der Zahl 1,06 jetzt schon zweckmässig sein würde.

Mindestens aber scheint eine Maassregel in der techni-

schen Herstellung von Rheostaten und Widerstandseinheiten am Platze zu sein: nämlich deren „Normaltemperatur“, die gegenwärtig meistens ziemlich hoch gewählt wird, umgekehrt niedrig zu greifen. Sind die Rheostaten für etwa 10° anstatt der gebräuchlichen 20° abgeglichen, so wird der Uebergang zu der richtigen Einheit immer ohne Unbequemlichkeit geschehen können.

Strassburg i. E., September 1888.

VI. Untersuchungen über die Aenderungen des galvanischen Leitungswiderstandes verschiedener Körper bei Aenderung ihres Aggregatzustandes; von L. Grunmach.

(Aus dem physikalischen Laboratorium der Königl. Techn. Hochschule zu Berlin-Charlottenburg.)

(Hierzu Taf. VI Fig. 6.)

Clausius hat auf Grund der Untersuchungen von Arndt-sen über den galvanischen Leitungswiderstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen zuerst die Vermuthung ausgesprochen, dass der Leitungswiderstand der einfachen Metalle im festen Zustande nahe proportional der absoluten Temperatur sei.¹⁾ In seiner Abhandlung über Widerstandsmaasse und die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur schliesst sich Hr. Werner v. Siemens²⁾ dieser Vermuthung an; die vorhandenen Abweichungen bei festen Metallen erklärt er als Folgen geringer Verunreinigungen und hält es für wahrscheinlich, dass auch das Quecksilber, welches in flüssigem Zustande eine entschiedene Ausnahme macht, in starrem Zustande und in hinreichendem Abstände vom Schmelzpunkte sich in seinem Verhalten hinsichtlich

1) Clausius, Pogg. Ann. 104. p. 650. 1858.

2) Werner Siemens, Gesam. Abhandl. p. 259 und Pogg. Ann. 113. p. 91. 1861.