

Ueber den  
absoluten elektrischen Leitungswiderstand  
des  
**Quecksilbers.**

(Mit 3 Tafeln.)

---

Von  
**Friedrich Kohlrausch.**

---



1. Ueber den absoluten elektrischen Leitungswiderstand des Quecksilbers oder, wie man jetzt zu sagen gewohnt ist, über die Quecksilbercapacität des Ohms, liegt ausser den älteren Arbeiten<sup>1)</sup> eine reiche Fülle von Literatur aus den achtziger Jahren vor.<sup>2)</sup> In diesen Arbeiten werden erstlich neue Methoden der absoluten Widerstandsbestimmung gegeben oder auch die älteren von Wilh. Weber, Kirchhoff, L. Lorenz stammenden Methoden nach verschiedenen Gesichtspunkten abgeändert und vervollkommet. Eine andere grosse Gruppe der Abhandlungen beschränkt sich nicht auf diesen theoretischen Inhalt, sondern führt eine absolute Widerstandsbestimmung wirklich aus, etwa in der Art eines Vorstudiums der Anwendung der Methode und meistens unter Vergleichung des absolut gemessenen Widerstandes mit einer Siemens'schen Einheit. Diese Arbeiten, wenn sie auch kein abschliessendes Resultat bieten, verfolgen also den sehr verdienstlichen Zweck, die Schwierigkeiten zu beseitigen. Von Bedeutung sind ferner diejenigen Untersuchungen, welche sich besonders auf die Verwendung des Quecksilbers zu Normalwiderständen richten und meist die bisher gebrauchten Einheiten von Siemens und der British Association neu auf diesen Leiter zurückführen.

---

Die Arbeit wurde der k. Akademie der Wissenschaften im Auszuge vorgelegt am 7. Januar 1888. Die beiden Resultate haben sich bei der nochmaligen Revision der Rechnungen einander um 0,0002 angenähert. Der Schlusswert ist ungeändert geblieben.

1) Von Wilhelm Weber, Kirchhoff, dem Comité der British Association, L. Lorenz, Rowland, Fried. Weber, F. Kohlrausch.

2) Von Baille, Dorn, Foster, Fröhlich, Glazebrook und Dodds, Glazebrook und Sargant, Himstedt, Joubert, Lenz, Lenz und Restzoff, Lippmann, L. Lorenz, Mascart mit de Neville und Benoit, Lord Rayleigh, Rayleigh und Mrs. Sidgwick, Rayleigh und Schuster, Roiti, Rowland, Siemens und Halske, Strecker, Friedr. Weber, Heinr. Weber, Wilh. Weber und Zöllner, G. Wiedemann, Wild, F. Kohlrausch.

Eine letzte, doch nicht so zahlreiche Gruppe von Arbeiten endlich stellt sich die praktisch abschliessende Aufgabe, einen endgiltigen Wert der absoluten Widerstandseinheit, in Quecksilber ausgedrückt, zu erzielen, einerseits kalibrierte Quecksilberwiderstände herzustellen, andererseits die absolute Messungsmethode durchzuführen, die Schwierigkeiten nicht nur kritisch zu behandeln, sondern dieselben zu überwinden.

Es ist durch die Ergebnisse dieser Arbeiten sehr wahrscheinlich geworden, dass der von der elektrischen Conferenz im Jahre 1884 einstweilen festgesetzte Wert  $1 \text{ Ohm} = 1,06 \text{ m/mm}^2 \text{ Quecksilber } 0^0$  etwas zu klein ist. Trotz der reichen Literatur aber besteht noch keine genügende Sicherheit über den wahren Quecksilberwert des Ohm. Es hat sich gezeigt, dass die einmal ausgesprochene Behauptung, absolute Widerstandsmessungen lassen sich mit sehr geringen Mitteln in einer Schärfe und Zuverlässigkeit ausführen, die nur in wenigen Gebieten der Physik zu erreichen ist, erst noch bewiesen werden muss. Gerade in den neueren Arbeiten findet man die Anerkennung der Schwierigkeiten genauer Messung rückhaltlos ausgesprochen und macht die Erfahrung, dass grosse Hilfsmittel angewandt werden um diese Schwierigkeiten zu überwinden, was besonders (§ 9) durch die grosse Anzahl der Fehlerquellen erschwert wird.

---

In Erfüllung des von der königlichen Akademie mir erteilten und durch die Bewilligung der Mittel von den höchsten Staatsbehörden ermöglichten Auftrages beehre ich mich die beiden in den Jahren 1886 und 1887 im physikalischen Laboratorium der Universität Würzburg ausgeführten Ohmbestimmungen jetzt eingehend vorzulegen.

---

#### Wahl der Methode.

2. Da die meisten bisher veröffentlichten Arbeiten hier noch mehr fast als auf anderen Gebieten ergeben haben, dass man erst im Laufe der Arbeit die Klippen einer Methode erkennt, so hatte ich für die mir gestellte Aufgabe ein Verfahren zu wählen, welches bereits möglichst durchgearbeitet und in seinen Schwierigkeiten blossgestellt war, und über

welches ich aus eigener Erfahrung schon ein Urtheil besitzen konnte. Ich würde diejenige Methode gewählt haben, die ich schon vor längerer Zeit einmal durchgeführt hatte und von der ich später gezeigt habe, wie man dieselbe von einigen Hindernissen befreien kann.<sup>1)</sup> Indessen war das zur Verfügung stehende eisenfreie Observatorium des physikalischen Instituts zu Würzburg für die gleichzeitige Aufstellung eines Erdinduktors und Galvanometers nebst den zugehörigen erdmagnetischen Instrumenten etwas knapp im Platze.

So habe ich die nächstverwandte Weber'sche sogenannte Dämpfungsmethode mit einer von Dorn vorgeschlagenen Modification gewählt. Es wird hier in absolutem Maße 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 Multiplikator erfährt, sowie aus dem Verhältnis 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; Dorn<sup>2)</sup> führte statt dessen das von Bosscha zuerst gebrauchte empirische Verfahren der Vergleichung mit einer Tangentenbussole mittels Stromabzweigung ein. Man erhält dadurch den Vorteil viel stärkerer Dämpfung der Nadel.

Dieses Verfahren habe ich gebraucht. Dem Geschick, dass man manche Schwierigkeiten erst während der Arbeit erkennt, habe ich mich auch nicht entziehen können. Ueber die sehr vereinfachte Gestalt, die ich dem Verfahren schliesslich gegeben habe, vgl. § 8 ff.

In Bezug auf die Arbeiten mit Quecksilber hat mir die von K. Strecker<sup>3)</sup> im hiesigen Laboratorium vor vier Jahren ausgeführte eingehende Untersuchung als Grundlage gedient. Die Leitung, deren absoluter Widerstand gemessen wurde, erhielt zu dem Zweck einen Widerstand, welcher demjenigen des besten, nur mit geringen Kaliberfehlern behafteten Strecker-

1) Pogg. Ann. Ergänz. Bd. 6 S. 1, 1871. Sitz.-Ber. d. k. Akad. 1883, S. 315.

2) Dorn, Wied. Ann. Bd. 17, S. 775. 1882.

3) K. Strecker, Abh. d. k. Akad. II. Classe Bd. 15 II. 188; Wied. Ann. Bd. 25 S. 252. 1885.

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 Differentialmultiplikators im übergreifenden Nebenschluss<sup>1)</sup> (§ 36). Schwierigkeiten haben sich bei den Arbeiten mit Quecksilber nicht ergeben.

**3.** Die Messungen erfordern grossenteils zwei gleichzeitig arbeitende Beobachter. Die erste Reihe habe ich mit Herrn Kreichgauer ausgeführt, welcher auch bei den Vorarbeiten, bei der Herstellung des ersten Multiplikators und des Verzweigungs-rheostaten, der Bestimmung der elektrischen und magnetischen Temperaturcoefficienten, der magnetischen Lokaleinflüsse, des Selbstinductionscoefficienten, dann der Verifikation vieler Skalen und der Controle der Quecksilberrohren eine sehr wertvolle Unterstützung geleistet hat. Bei der zweiten bis vierten Reihe arbeitete ich mit Herrn Sheldon, welchem ich ausser der Teilnahme an den entscheidenden Messungen gleichfalls die geschickte Ausführung zahlreicher kleinerer Aufgaben, einen Teil der vorbereitenden Rechnungen und manche Controle verdanke. Während der zweijährigen Beobachtungszeit hat endlich Herr Heydweiller, der bereits in Florenz bei den Arbeiten von Professor Roiti wertvolle Erfahrungen gesammelt hatte, vielfach an den Messungen Teil genommen, insbesondere so oft drei Beobachter erfordert wurden und dann, was vor allem schätzenswert ist, durch die Ausführung derjenigen Rechnungen, welche zur Beurteilung der Resultate rasch nach den Beobachtungen angestellt werden mussten.

Für diese wertvolle 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 elektrochemischen Aequivalents des Silbers<sup>2)</sup> entstanden. Ich werde diese Arbeit öfters zu zitiren haben.

Die mechanische Herstellung der Hilfsmittel zu der Untersuchung verdanke ich der mechanischen Werkstätte von Herrn Eugen Hartmann

---

1) Berlin. Sitz.-Ber. 1883 März 29; Wied. Ann. Bd. 20, S. 76. 1883.

2) F. und W. K. Wied. Ann. Bd. 27, S. 1. 1886.

und zum grösseren Teile Herrn Universitätsmechanicus Siedentopf in Würzburg, der insbesondere den Verzweigungsreostaten und die grosse Tangentenbussole sorgfältig und geschickt ausgeführt hat.

Ueber Einzelheiten soll am Orte berichtet werden.

Die schliesslichen Rechnungen habe ich alle selbst besorgt und zwar auf eine Stelle mehr als hier mitgeteilt wird. Da trotz mindestens doppelter Ausführung und vielfacher eigener und fremder Controle in einem der verwickeltesten Rechenmechanismen ein Versehen nicht mit aller Bestimmtheit verneint werden kann, so bleibt nichts übrig, als die Messungen so vollständig mitzuteilen, dass man die Richtigkeit des rechnerischen Verfahrens hinterher controliren kann.

Uebersicht über die absolute Widerstandsbestimmung.

#### 4. Es sollen bedeuten

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

$M$  den Magnetismus der Nadel,

$H$  die horizontale Feldstärke im Multiplikator,

$\tau$  die Schwingungsdauer,

$\mathcal{A}$  das natürliche logarithmische Dekrement 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 Multiplikatorleitung bekanntlich

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

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

$G_0'$  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 Multiplikator und die Tangentenbussole;

$\alpha$  und  $\alpha'$  seien die bezüglichen Ausschlagswinkel oder

$x$  und  $x'$  die bezüglichen Skalenausschläge, wenn

$A$  und  $A'$  die Skalenabstände bedeuten.

Dann hat man, wieder vorbehaltlich einiger 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 Magnetonadel bestimmt, deren Feld wir zunächst auch gleich  $H$  annehmen. Wir nennen

$\varphi$  den Ablenkungswinkel dieser Nadel, wenn

$a$  ihr Abstand von dem Magnete  $M$  ist.

$\mathcal{L}$  sei der „Polabstand“ des Magnetes  $M$ .

Man hat dann, wenn die Ablenkung aus der 1. Gauss'schen Hauptlage stattfindet,

$$4_1) \quad \frac{M}{H} = \frac{1}{2} a^3 \operatorname{tg} \varphi \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\mathcal{L}^2}{a^2} \right);$$

oder aus zweiter Hauptlage

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

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

$$5_1) \quad W = \frac{\pi}{2} \frac{1}{r} G_0'^2 \left( 1 + \frac{3}{8} \frac{l'^2}{r^2} \right) \left( \frac{i'}{i} \frac{H}{H'} \frac{A'}{A} \frac{x}{x'} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} a^3 \operatorname{tg} \varphi \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\mathcal{L}^2}{a^2} \right) \frac{\sqrt{\pi^2 + A^2}}{A},$$

oder bei zweiter Hauptlage

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

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

8. Concentrische Aufstellung von Multiplikator und Tangentenbusssole. Construiert 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 Vorteile, die nicht nur auf die Bequemlichkeit, sondern zugleich auf die Genauigkeit der Messung günstig wirken.

Erstens fällt die Correction  $\left(\frac{H A'}{H' A}\right)^2$  weg, denn man beobachtet mit derselben Skale 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  $\mathcal{Q}$  durch die erste Hauptlage. Würde man so aus zweiter Hauptlage beobachten, so würde der Correctionsfaktor von der Nadellänge, da nun  $l = \mathcal{Q}$  ist,  $1 + \frac{3}{4} \frac{\mathcal{Q}^2}{R^2}$  werden, also einen grossen Einfluss erlangen. Bei der ersten Hauptlage aber haben die Correctionsglieder entgegengesetztes Vorzeichen, die Gesamttcorrection wird

$$1 + \frac{3}{8} \frac{\mathcal{Q}^2}{R^2} - \frac{1}{2} \frac{\mathcal{Q}^2}{a^2}.$$

Die Correction hebt sich also jedenfalls teilweise fort. Wählt man

beiläufig  $3 a^2 = 4 R^2$  oder  $a/R = 1,15$ , so lässt sich die ganze aus der Nadellänge entspringende Correction auf einen beliebig kleinen Betrag bringen.

Ich habe eine spätere Gruppe von Beobachtungen, welcher ich deswegen ein grösseres Gewicht beilegen muss, mit der letztbeschriebenen Anordnung ausgeführt.

### Kritisches.

9. 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 Verhältnis der Abzweigungswiderstände, dem Verhältnis zweier Skalenausschläge, die von dem wechselnden Erdmagnetismus befreit werden müssen. Bei dem ersten Verfahren kommt noch das Verhältnis zweier Skalenabstände, 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 Skalen-Ausschlag und Abstand, das Torsionsverhältnis des Magnetometers, das Verhältnis des magnetischen Feldes im Multiplikator 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  $\tau$ , in welcher ausser den Fehlern der Zeitbestimmung nur der Gang des Chronometers und der verschwindende Einfluss der Amplitude steckt. Deklinationsschwankungen des Erdmagnetismus bilden hier wohl die versteckte wesentlichste Fehlerquelle.

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

Jedes log. Dekrement  $\mathcal{A}$  enthält drei Umkehrpunkte der schwingenden Nadel, auch die Inconstanz der Galvanometerfunction, und wird von

den Deklinationsschwankungen beeinflusst. Der Einfluss der Luftdämpfung muss besonders ermittelt werden.

Die genannten Messungsbestandteile sind aber grösstenteils selbst keine Elementarbeobachtungen. Jeder Skalenabstand setzt sich zusammen aus der direkten geometrischen Abmessung, aus zwei Glasdicken, meistens noch einem Abstände des Spiegels vom Aufhängefaden, dann der Neigung und Höhe des Spiegels, auch der Krümmung der Skale. Die Längen, seien es Kreishalbmesser oder Wirkungs- oder Skalenabstände oder Skalenausschläge sind mit dem Comparator nachzumessen und wegen der Temperatur zu reducirern. Die Aenderungen des magnetischen Feldes bestehen aus lokalen und instrumentalen Einflüssen, die einzeln zu ermitteln sind, und zwar jeder durch eine grössere Anzahl von Ablesungen. Die zeitlichen erdmagnetischen Schwankungen enthalten ausser den direkten Ablesungen die Temperatur und die Constante des Variometers. Der Polabstand sowie der Inductionscoefficient 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 Multiplikators beeinflussen, 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 Maßstäben, 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 hundert zu niedrig gegriffen sein.

Man könnte hiernach die Vermutung 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 Vorteil, dass sie keine einzelnen an sich besonders schwierigen Bestandteile 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 Summierung relativ selten werden. Man darf sich aber nicht wundern, wenn bei einer solchen Anzahl von Fehlern, von denen mancher 1/10000 erreichen mag, die Resultate um Tausendtel auseinandergehen, wie das sich bei den besten absoluten Widerstandsbestimmungen gezeigt hat.

## Beschreibungen.

### Das Galvanometer (Fig. 1 und 2).

**10.** Der Rahmen besteht aus Mahagoniholz. Die vertikalen Wände sind 1,4 cm stark, 35 cm lang und 16 cm hoch. Der 24 cm lange Ausschnitt ist in dem mittleren Teil 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 Multiplikators beträgt 12,0 cm.

Um den Magnet anstatt der gebräuchlichen, um den Rahmen herumgreifenden Suspension 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 Vertikal-Durchbohrung von 9 mm Durchmesser hat. Die Drahtwindungen weichen also oben nach der Mitte zu um 3 mm aus ihrer sonstigen Windungsebene nach aussen. Die vertikalen 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 Multiplikators beobachtet werden können. Die Bretter, welche mit 1½ 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 Multiplikator 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 Herr Dorn die Güte aus elektrolytischem Kupfer selbst fertigen zu lassen. Er wurde von Herrn 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 Multiplikator 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 gegen einander schalten. Eine jetzt auftretende Wirkung der elektrostatischen 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 ausgestemmte Vertiefung liess durch eine Oeffnung der Seitenwand ein in  $1/5^0$  geteiltes Thermometer einführen, welches also mit der untersten Drahtlage in Berührung stand. Auch in die von den Drahtwindungen neben dem Klötzchen (vor. S.) freigelassenen kleinen Dreiecke können Thermometer eingesenkt werden, wovon aber selten Gebrauch gemacht wurde, da die Temperaturänderung meist sehr langsam stattfand.

**13. Magnet.** Der kreisylindrische Magnet ist 20 cm lang und 1,5 cm dick. Mittels einer konischen Querbohrung in der Mitte wurde derselbe an einen 4 mm starken, 16 cm langen kupfernen Stiel mit konischem 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 Multiplikators über den Stiel geschoben werden. Der Spiegel sitzt mit seinem hori-

zontalen 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 = 8,2 sec.

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 Multiplikator inducirten Ströme entstehen könnten, zu vermeiden, waren die Gewichte aufgeschnitten und wurden mit untergelegten Papiercylindern auf die Magnetenden aufgeschoben (vgl. § 27).

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

Drehung des Magnets mit dem Multiplikator. Auf dem Multiplikator sitzt eine kupferne Hülse mit je drei Klemmschrauben oben und unten. Durch die letzteren kann der durchgehende Stiel des Magnets gefasst und dann also mit dem Multiplikator 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 Hilfsspiegel an der Fassung, mittels deren der Stiel an den in die Fassung gelöteten 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-Teilung, an welcher die Höhe des Magnets im Multiplikator 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 Aenderung der Empfindlichkeitsconstante um  $1/10000$  eintrat.

Alle zum Multiplikator verwendeten Teile 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 Galvanometerconstante $G$ .

Ueber die Bestimmung der Veränderlichkeit mit dem Ausschlage vgl. § 66. Die hierzu dienende Drehvorrichtung des Multiplikators s. § 14. Eine Ansicht der Verbindungen s. Fig. 3, ein Schema Fig. 4.

15. Ein Strom  $i'$  geht ungeteilt durch die Tangentenbussole. Ein Zweigstrom  $i$  wird von  $i'$  abgenommen und durch den Multiplikator geführt. Der, eigentlich für die Widerstandsvergleichung mit Quecksilber dienende, sechsnäpfige Commutator aus Hartkautschuk (Fig. 3 und 4) wurde in diesem Falle benutzt, um die Stromrichtung in dem Kreise der Tangentenbussole allein umzukehren. Ein zwischen der Stromquelle  $E$  (ein oder zwei grosse Daniell-Elemente) und  $C$  befindlicher zweiter Commutator  $C_1$ , welcher den Gesamtstrom wenden liess und der Commutator  $C_2$ , welcher die Multiplikatoren des Differentialgalvanometers vertauschte, ist in Fig. 4 nicht gezeichnet.

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

Die Abzweigung des Stromes  $i$  von bekanntem Verhältnis zum Stammstrom  $i'$  geschieht mittels bekannter Widerstände des Verzweigungs-rheostaten.

### Der Verzweigungsrheostat (Fig. 3).

**16.** Die getroffene Einrichtung, um die Abzweigungswiderstände genau verbürgen zu können, ist schon früher erläutert worden.<sup>1)</sup> 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 Siem. 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 0,00005 Siem. 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 notwendigen Stromverbindungen verwendet.

**17.** Isolirungen. Im Anfange (1886 Feb.) waren die Zuleitungen zu den Verzweigungsrheostaten durch Drähte gebildet, welche an das Fichtenholz des Kastens angeschraubt waren. Die Kabel zu dem Multiplikator waren mit Baumwolle besponnen und lagen zwischen Papier auf dem steinernen Fussboden. Das Holzstativ der Tangentenbussole stand mit seinen Stellschrauben auf gewöhnlichen metallenen Unterlagsscheiben auf einer eingemauerten Console. Nachträglich fanden sich Nebenschlüsse, welche durch das Holz und das Mauerwerk gebildet wurden, von der Ordnung  $20 \cdot 10^6$  Ohm. Da solche Nebenleitungen bei Verzweigungswiderständen von 9000 bis 10000 Ohm, wenn sie ungünstig wirken, merkliche Fehler verursachen konnten, so wurden die Ueberzüge der längeren Leitungsdrähte sämmtlich paraffinirt und die Zuleitungen an dem Rheostatenkasten mit Kautschukschlauch bezogen. Das hiermit gewonnene Resultat (1886 Aug.) stimmt indessen merklich mit dem zuerst gewonnenen überein.

---

1) Sitz.-Ber. d. k. Akademie 1887 S. 11.

Nachdem der Kautschukschlauch brüchig geworden war, setzte man die Leitungen zum Verzweigungsreostaten auf paraffinirtes Holz, welches sogar einem Goldblattelektrometer gegenüber isolirte. Die Tischplatte war mit Guttaperchapapier belegt. Schliesslich wurden auch die Tangentenbussole und der Multiplikator auf Unterlagen aus paraffinirtem Holz oder Hartkautschuk gestellt. Die Isolirung war nun merklich vollkommen.

18. Stromabzweignungsverhältnis. 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 Am änderte den Widerstand um höchstens 1/10000.

Durch diesen Zehner geht der Hauptstrom. Von der Eintritts- und Austrittsstelle wird der Zweigstrom durch den Multiplikator und einen zugefügten aus den Zehntausendern gebildeten Widerstand abgeleitet. In Fig. 3 und 4 ist angenommen, dass das Abzweignungsverhältnis ungefähr 1:100 betragen soll: die Zehntausender sind zu diesem Behufe ebenfalls alle nebeneinander geschaltet.

Für das Verhältnis 1:1000, welches bei den ersten beiden Bestimmungen gebraucht wurde, wird selbstverständlich in den Zweigstrom einfach ein Zehntausender geschaltet.

Fig. 4a endlich zeigt die angewandte Verbindung für das Verzweignungsverhältnis von etwa 1:900. Der Widerstand im Zweigstrom setzt sich zusammen aus einem Zehntausender und der neben denselben geschalteten Summe der übrigen neun Zehntausender und beträgt also  $10000 \cdot 90000/100000 = 9000$  Siem.

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

Um das Verzweignungsverhältnis genau zu bestimmen ist für die Verbindung Fig. 4 nur nötig, die hintergeschalteten Hunderter mit den nebengeschalteten Zehntausendern zu vergleichen. Für die anderen Verbindungen wird noch die Vergleichung der Zehntausender untereinander verlangt (§ 18).

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 mittels 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 Verhältnis der einzelnen Zehntausender zu einander wurde, wo es nötig war, ebenso ermittelt, indem man jedes Stück mit demselben Stücke von  $Rh$  verglich.

Durch ein einfaches Interpolationsverfahren wurde die ganze Arbeit mit jeder wünschenswerten Genauigkeit in wenigen Minuten ausführbar gemacht. Man verglich die Widerstände entweder vor und nach der correspondirenden Strommessung mit Multiplikator und Tangentenbussole oder schob die Vergleichung umgekehrt mitten ein.

Beispiele, Rechnungsweise und Resultate gibt § 68 und 69.

#### Tangentenbussole und Bestimmung von $G$ 1886.

19. Hier ist die von W. Kohlrausch und mir zur Bestimmung des elektrochemischen Aequivalents benutzte Tangentenbussole mit dickem Kupferreif<sup>1)</sup> benutzt worden. Die Anordnungen sind die gewöhnlichen. Beide Instrumente waren thunlichst entfernt von einander an zwei Punkten aufgestellt, deren Verhältnis der magnetischen Felder zu einander ermittelt worden war (§ 48 bis 51). Der Strom  $i'$  der Tangentenbussole und der Zweigstrom  $i$  des Multiplikators wurde durch den gemeinsamen Commutator  $C_1$  (Fig. 3) und durch den Rheostaten  $Rh$  so gehandhabt, dass die Multiplikatornadel immer nur Schwingungen von wenigen Skalenteilen um die jeweilige Gleichgewichtslage machte. Die Nadel der Tangentenbussole kam durch ihre Dämpfung rasch zur Ruhe. Ein Beobachter las dann einige, gewöhnlich fünf Umkehrpunkte der Multiplikatornadel ab, ein zweiter gleichzeitig die Einstellung der Tangentenbussole. Der Strom änderte sich wenig; der Erdmagnetismus war ziemlich ruhig.

1) F. K. Wied. Ann. Bd. 15, S. 552 1882 und F. u. W. K. ib. Bd. 27, S. 19. 1886.

Ueber den gegenseitigen Einfluss beider Instrumente vgl. § 67; über die Ausführung und Wiederholung der Beobachtungen § 70.

### Grosse Tangentenbussole 1887.

**20.** Um die § 8 und 9 hervorgehobenen Vorteile 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.<sup>1)</sup>

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 8 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 verteilte 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 (Fig. 7 und 8).

Alle Materialien waren auf Abwesenheit von Magnetismus geprüft.

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

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

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

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 (Fig. 8). 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 Multiplikators 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 Fixirung des letzteren.

Der magnetische Meridian wurde nach einer Bussole mit 12 cm langer Nadel bestimmt.

Excentricität und Neigung der Tangentenbussole. Um dem Aufhängedraht des Multiplikator magnetes 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 vorteilhaft, 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.

Näheres vgl. § 62.

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

21. Beobachtungen 1887. Man sendet den Strom  $i'$  durch den grossen Ring, den Strom  $i$  gleichzeitig durch den Multiplikator in ent-

gegengesetzter Richtung. Der kleine Nadelausschlag, positiv in derjenigen Richtung gerechnet, welche dem Multiplikatorstrom 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

$$x_0 = C(Gi - G'i') \quad x' = C \cdot G'i',$$

woraus

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

$x'$  wurde wegen der kleinen Stromschwankungen vor und nach  $x_0$  bestimmt und mit dem Mittelwerte eingesetzt.

Die beobachteten Werte s. § 70.

Die Zuleitungen zur Tangentenbussole wurden dicht nebeneinander geführt. Ein Versuch überzeugte noch von ihrer Wirkungslosigkeit auf die Nadel.

## Vorrichtungen zur Messung von $MH$ .

### Magnetometer.

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

I) ein Magnetometer mit Holzgehäuse und Stahlspiegel, mit einem sehr guten Kupferdämpfer;<sup>1)</sup>

II) und III) zwei Magnetometer mit Elfenbeingehäuse und luftgedämpfem Spiegel mit aufgekitteter Magnetnadel;<sup>2)</sup>

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. 9). Die widerwärtigen magnetischen Eigeneinflüsse der Instrumente lassen sich offenbar am ehesten durch einen ganz symmetrischen Bau vermeiden. Zu diesem Zwecke ist sowohl das Mahagonigehäuse wie der aus elektrolytischem

1) Wied. Ann. Bd. 15, Taf. 8, Fig. 1, 1882.

2) F. und W. K., ib. Bd. 27, S. 28. 1886.

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.

Herr 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 Zweimeterstabe aus Ahornholz, dessen recht constante Länge von Zeit zu Zeit an einem an die Teilung angelegten verifizirten gläsernen Maßstabe mit der Lupe oder mit einem Ocular-Mikrometer-Mikroskop gemessen wurde.

Die Einstellung der ebenfalls 4 mm vor den Teilstrichen befindlichen Cocons wurde mit den zum Maßstabe senkrecht gerichteten Ablesefernrohren, oder unter Anwendung der Lupe mit einem an den Massstab gelegten kleinen Spiegel, oder endlich mit Visirmarken an der etwa 1 m hinter dem Maßstabe befindlichen Wand beurteilt.

1886 standen alle Instrumente auf einem von eingemauerten Trägern gehaltenen Holzbalken. Die Anordnung 1887 zeigt Fig. 8. Der Zweimeterstab ist hier, nach Azimut und Höhe gemäss der langen Bussole und der Wasserwage regulirbar, unter dem Stativbrett befestigt, welches den grossen Holzrahmen trägt. Die Magnetometer stehen auf soliden Stativen auf dem Steinfussboden.

Die Magnetometernadeln wurden immer sorgfältig auf die Höhe des Hauptmagnets gebracht.

Ueber die beobachteten Ausschläge vgl. § 73.

**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  $5^{\circ}$ , also für Skalenabmessungen schon etwas unbequem gross.

In der Richtung von Ost nach West, in welcher also 1887 die Apparate angeordnet werden mussten, hat der Beobachtungsraum nur 5 m Länge. Dieser Umstand brachte es mit sich, dass man die Visirlinie der Fernrohre für  $M/H$  vorteilhaft nicht nordsüdlich, sondern schräg wählte. Fig. 10 stellt den Grundriss des Beobachtungsraumes dar. Die Spiegel standen hier also nicht senkrecht zu den Nadeln. Da die Skalen an demselben Horizontalbalken sassen, so wird der eine (westliche) Skalenabstand also grösser als der andere. Man berechnet die Tangenten der Ausschlagswinkel hier auf jeder Seite für sich, während sonst einfacher das Mittel der Ausschläge zur Rechnung diene.

**26.** Skalenabstände. Dicht neben den Einstellungsstrichen des Zweimeterstabes werden an dem letzteren kleine mm-Stäbchen befestigt, welche die Richtung der Visirlinie haben. Auf diese Teilungen werden die Magnetometercocons bezüglich ihres Abstandes von der Skale bezogen.

Um den Skalenabstand zu bestimmen, wurde neben dem Nullpunkte der mm-Stäbchen ein Senkel aus feinem weichen Draht aufgehangen. An die Skale wurde ein kleiner, zugeschärfter, horizontaler, spiegelnder Glasmassstab angestossen, vor dem gleichfalls ein Senkel herunterhing.<sup>1)</sup> Die Senkel wurden auf einen langen verifizirten, nivellirten Holzmassstab bezogen.

Zuletzt wurde auch ein etwas bequemerer Verfahren gebraucht. Unter den Skalenmitten einerseits und unter den kleinen Maßstäben an dem Zweimeterstabe befanden sich auf den steinernen Fussböden mm-Teilungen, deren Abstand von einander mit dem Glaszweimeterstabe bestimmt worden war. Nach diesen Teilungen wurde von den Maßstäbchen

---

1) F. u. W. K. Wied. Ann. Bd. 27, S. 8. 1886. Der Skalenabstand vom Multiplikator wurde ebenso bestimmt; derjenige von dem Spiegel der Tangentenbussole mit zwei spitzen Glasmaßstäben.

und von der Skale herabgesenkelt. Die langstieligen Senkelgewichte hatten unten Nähnadelspitzen, deren Stellung dicht über den Teilungen scharf abgelesen werden konnte. Torsionsschwingungen der Senkel sicherten gegen Fehler der Excentricität.

Sämmtliche Skalen waren aus Glas und auf der Vorderfläche geteilt. Die Ebenheit wurde controlirt oder eine kleine Krümmung corrigirt mittels eines vor der Skale geradlinig ausgespannten feinen Drahtes, dessen scheinbarer Abstand von seinem Spiegelbilde durch 2 geteilt den Drahtabstand von der Skale gibt.

Die Skalenabstände selbst s. § 54 ff.

Die Berechnungsweise von  $M/H$  s. § 72.

---

Ueber Schwingungsdauer und Dämpfung wird das notwendige in § 74 und 76 ff. gesagt; über Selbstinduction, Polabstand, Temperaturcoefficient, Inductionscoefficient, Torsionsverhältnisse, magnetische Lokaleinflüsse etc. s. § 41 bis 52.

## Die Quecksilbervergleichung.

### Quecksilberrohr.

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

27. Es wurde immer das von Strecker mit Nr. 3 bezeichnete Rohr benutzt. Dasselbe hat bei  $10^0$  eine Länge (Strecker § 17)

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

Die Endhalbmesser  $r_1$  und  $r_2$  verhalten sich nach der von Strecker gegebenen graphischen Darstellung des Kalibers (ib.) zum mittleren Halbmesser  $r$

$$r_1/r = 1,012 \quad r_2/r = 1 - 0,024.$$

Da der mittlere Halbmesser (vgl. weiter unten) ungefähr  $r = 0,000538 \text{ m}$  ist, so wird

$$r_1 = 0,000544 \text{ m} \quad r_2 = 0,000525 \text{ m.}$$

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

**28.** Ausbreitungswiderstand. Nach der Näherungsrechnung von Maxwell setzte Strecker für den Widerstand, welcher der Ausbreitung des Stromes aus einem Rohrende vom Halbmesser  $r$  entspricht,

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

wo  $\sigma$  den specifischen Leitungswiderstand der Flüssigkeit bedeutet.

**29.** Da zur Zeit des Beginnes meiner Arbeit eine empirische Bestätigung des Faktors 0,80 nicht vorlag, so hat Herr Kreichgauer eine solche nach einer hier genügenden Methode ausgeführt. Hierzu dienten zwei Bechergläser mit Elektroden und mit seitlichen Ansatzröhren von  $r = 4,28$  mm Halbmesser (Fig. 11). Auf die Enden der Röhren waren senkrecht zu denselben Glasplatten von beiläufig quadratischem Querschnitt mit 12 cm Seite aufgekittet 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 Elektroden 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 Siem. Einh.

Der specifische Leitungswiderstand der Schwefelsäure war anderweitig = 150000 bestimmt worden, d. h. 1 cbmm Schwefelsäure hat (bei der Beobachtungstemperatur) einen Widerstand = 150 Siem. Einh. Hieraus berechnet sich der doppelte Ausbreitungswiderstand nach obiger Formel =  $2 \cdot 0,80 \cdot 150 / 4,28 \cdot \pi = 17,86$  Siem. Einh. Die Uebereinstimmung beider Werte 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 durchgebrochenen Quecksilberröhre fast genau dasselbe.<sup>1)</sup>

**30.** Kalibrirung des Rohres. Der Querschnitt des Rohres verläuft mit unbedeutenden Wellen ziemlich gleichmässig schwach konisch (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 Wert 1,00051. Herr 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 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, stets auf  $10^0$  reducirt (cf. Tab. 1)

1886 Feb. 11	m = 15,2123 g
" " "	15,2122
" " 12	15,2121
" Juni 28	15,2126
1887 Juni 29	15,2124
" Juli 19	15,2133
" Nov. 2	15,2126
1888 März 4	15,2126

Im Mittel also m = 15,2125 g

Strecker hatte gefunden m = 15,2109 g

Ich setze das Mittel m = 15,2117 g.

1) Détermination de l'Ohm p. 66, Paris 1884.

**32. Elektroden.** Mit dem Quecksilber kam nur Glas, Platin und Kork in Berührung (Fig. 12). Die Zuleitung des Stromes geschah durch Platinbleche von etwa  $24 \times 16$  qmm Fläche.<sup>1)</sup> Der Widerstand wurde gemessen zwischen zwei Punkten, die etwa 8 mm vor den Rohrmündungen im Quecksilber lagen. Dass für die Ableitungselektroden kurze, aus dünnen Glasröhren vorstehende Platindrähte dienten, hatte eigentlich keinen praktischen Nutzen, da das Potential in dem weiten Quecksilbergefäß in Abständen von mehr als 8 mm sich nicht mehr merklich ändern konnte. Da die Messungsmethode (§ 36) aber diese kleinen Elektroden gestattet, so sind sie beibehalten worden, um genau definirte Verhältnisse zu haben.

**33. Herstellung des Quecksilbers.** Gewaschenes und bei etwa 100 bis 150<sup>0</sup> getrocknetes Quecksilber wurde nach der von Leonhard Weber angegebenen Weise im Vacuum destillirt.<sup>1)</sup> 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 Körke, durch welche die Rohrenden in die Gefäße mit den Elektroden eingeführt waren, wurden mit Kollodium oder besser Guttapercha gedichtet. Bei längerem Nichtgebrauch liess man das Wasser aus dem Bade ab. Zwei Thermometer, in  $\frac{1}{10}$  geteilt, durch den Deckel des Wasserbades durchgesteckt und je in 25 cm vom Rohrende mit den Kugeln neben dem Quecksilberrohre befindlich gaben die Temperatur. Herr Strecker hatte dieselben auf das Luftthermometer zurückgeführt. Seine Correctionen, nach den frisch bestimmten Nullpuncten abgeändert, sind an den Ablesungen überall angebracht worden.<sup>3)</sup>

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

---

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

2) Leonh. Weber, Carl Rep. Bd. 15. S. 52. 1879.

3) Dass nicht, etwa durch Mitwirkung des Wasserdampfes, Nebenschlüsse von 0,00001 Ohm vorhanden waren, wurde constatirt.

$$\sigma_t = \sigma_0 [1 + 0,000900 t + 0,00000045 t^2], \quad 8)$$

wo  $\sigma_t$  den Leitungswiderstand des Quecksilbers bei der Temperatur  $t$  bezeichnet.

Meistens wurden die Rechnungen zunächst auf die Temperatur  $10^0$  reducirt. Es ist

$$\sigma_{10} = 1,00904 \cdot \sigma_0.$$

**35.** Widerstand  $\gamma$  der Quecksilbernornale. Nach den im Vorigen gegebenen Daten ist bei  $10^0$  unser Widerstand, wenn  $s = 13,5713$  die Dichtigkeit des Quecksilbers bei  $10^0$  bedeutet,

$$\gamma_{10} = \frac{\sigma_{10}}{\sigma_0} C \frac{s}{m} L [L + 0,80 (r_1 + r_2)] \quad 9)$$

$$= 1,00904 \cdot 1,00050 \cdot \frac{13,5713}{15,2117} 1,23409 [1,23409 + 0,80 (0,00054 + 0,00053)]$$

$$= 1,37268 \text{ m/qmm Quecksilber } 0^0 \text{ oder Siem. E.}$$

Für eine andere Temperatur  $t$  gilt<sup>2)</sup>

$$\gamma_t = \gamma_{10} [1 + 0,000884 (t - 10) + 0,00000045 (t^2 - 100)], \quad 9 a)$$

oder wenn  $t$  sich nicht weit von 10 entfernte

$$\gamma_t = \gamma_{10} [1 + 0,00089 (t - 10)]. \quad 9 b)$$

Die Glasausdehnung ist in diesen Formeln einbegriffen.

Die Widerstandsvergleichung mit Quecksilber.

**36.** Dieselbe geschah immer nach der früher von mir beschriebenen<sup>1)</sup> Methode des Differentialmultiplikators 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. 13 stellt den Multiplikator  $Mu$  in der Verbindung mit dem Quecksilberrohre  $Hg$  bei dieser Vergleichung dar. Vgl. auch § 80.

1) Wied. Ann. Bd. 20, S. 76. 1883.

2) Streckers Zahl 0,000892 ist durch 0,000884 zu ersetzen. Seine Resultate werden nicht merklich hierdurch beeinflusst.

Der mit dem Quecksilber zu vergleichende Widerstand  $w$  war stets ein wenig grösser gehalten 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  $w$  notwendig war, um beide zusammen dem Quecksilberwiderstande  $\gamma$  gleich zu machen, so ist

$$\frac{1}{w} + \frac{1}{R} = \frac{1}{\gamma},$$

also

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

$R$  war gross gegen  $\gamma$ , nämlich zwischen 200 und 1500 gegen 1,4 Siem., so dass für die Rheostatentemperatur diejenige des Zimmers gesetzt, und  $\gamma$  im Nenner mit einem Mittelwert für jede Beobachtungsreihe eingeführt werden durfte.

Schwierigkeiten kamen hier nicht vor. Jede Bestimmung, indem man die beiden Multiplikatorhälften mittels des kreuzförmigen Commutators  $C_2$  (Fig. 3), welcher in Fig. 13 weggelassen ist, vertauschte, controlirte sich obendrein selbst, so dass es unnötig sein würde, Einzelheiten der Messung anzugeben. Es mag nur bemerkt werden, dass die angewandten Ströme, in der Regel von einem kleinen Daniell-Element, nicht stärker genommen wurden, als für die Empfindlichkeit der Messung notwendig war. Ausserdem schloss man den Strom nur ganz kurz, obwohl die Versuche ergaben, dass auch eine Dauer von mehreren Sekunden keinen merklichen Fehler durch Erwärmung bewirkte.

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

Bei einigen Versuchen verglich man den Multiplikator, dessen absoluter Widerstand bestimmt worden war, direct mit dem Quecksilber. Dies geschah aber nur bei dem zweiten, bifilar gewickelten Multiplikator; Man stöpselte in diesem Falle den kleinen Commutator, der sich auf diesem Multiplikator (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.

## Neusilber-Normalen.

37. Der Multiplikator Nr. I, den man nicht so umschalten konnte, gab bei dem Stromschluss einen bedeutenden Selbstinduktionsstoss, 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 copiert, 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 (Fig. 14) 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. Die Kugel des letzteren hatte die mittlere Höhe der Neusilberdrähte. Durch oben in den Holzrollen angebrachte Löcher cirkulirte das Petroleum. Dass man nach grösseren Temperaturänderungen hinreichend lange wartete, bis die Temperatur ausgeglichen war und dass, wenn nötig, vor einer Messung hinreichend gerührt wurde, braucht kaum erwähnt zu werden.

Diese mit dem Petroleum in unmittelbarer Verbindung stehenden Drähte von grosser Masse und ausserdem von grösserer specifischer Wärme und von kleinerem Temperaturcoefficienten als das Quecksilber wurden auch durch längeren Schluss<sup>1)</sup> der schwachen Ströme nicht merklich beeinflusst, wovon man sich durch die Anwendung stärkerer Ströme sorgfältig überzeugte.

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

---

1) Es ist kaum nötig zu bemerken, dass der Magnet während dieser Bestimmungen mit den Klemmschrauben an seinem Stiel festgelegt wurde. Bei dem Multiplikator Nr. II war dies nicht notwendig, was auch einen Vorteil der bifilaren Aufwindung bildet, denn das Festlegen und das Warten, bis nach dem Losschrauben die Nadelschwankungen verschwunden sind, kostet Zeit.

Die Abgrenzung des zur Vergleichung kommenden Widerstandes war so bewirkt worden, dass die Enden des Neusilberdrahtes mit 3,5 mm dicken und je 0,2 m langen Kupferdrähten sehr gut verlötet wurden, welche letzteren an der Holzrolle unverschiebbar befestigt waren. Der Gesamtwiderstand der Kupferstücke war also kleiner als 0,001 Ohm. Die Lötstellen befanden sich im Petroleum. Der zur Messung dienende Strom trat durch eine Endklemme in die Kupferdrähte ein; auf markirten Stellen der letzteren sassen ferner Klemmschrauben, welche die Stromabzweigung nach dem Differentialgalvanometer lieferten und ausserdem die Verbindung mit dem Rheostaten *Rh* im Nebenschluss (§ 36) darboten, wann letzterer, bei den Vergleichungen mit Quecksilber, an die Neusilbernormale angelegt werden musste.

Bei den Vergleichungen des Multiplikators mit den Neusilbernormalen erhielt der erstere den Nebenschluss (zwischen 60 und 250 Siem.) durch den ausgleichenden Rheostaten, da man den Multiplikatorwiderstand, eventuell durch Hinzufügung von etwas Ballast B (Fig. 3), stets etwas grösser hielt als den Neusilberwiderstand.

Es zeigte sich, dass der Widerstand der Neusilberdrähte nach ihrer Herstellung (1886 Jan. 30, 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).

Nach der Beendigung der Messungen im Dezember 1887 wurde der eine Widerstand, um zu einer Vergleichung mit der British Association-Einheit an Professor Glazebrook nach Cambridge gesandt zu werden, aus dem Petroleum herausgenommen. Nach 6 Tagen noch einmal in das Bad gebracht, erwies der Widerstand sich um etwa 0,0003 kleiner. Vielleicht hatte sich die Spannung des Drahtes durch das teilweise Ablaufen und Verdunsten des Petroleums aus der Holzrolle geändert. Als man nachher denselben Draht wiederholt länger aus dem Bade genommen und dann wieder eingehängt hatte, wurden Aenderungen nicht weiter wahrgenommen. Eine erneute Quecksilbervergleichung im März 1888 nach der Rücksendung aus England gab denselben Widerstand um etwa 0,0002 grösser als vor der Absendung.

Man sieht aus diesem allen, wie vorsichtig man mit Drahtwiderständen umgehen muss; eine Erfahrung, welche übrigens nicht neu ist.

**38.** Temperaturcoefficient der Neusilbernormalen. Der kleinere Widerstand wurde in ein Petroleum-Bad von einer nahe constanten Temperatur von etwa  $19^{\circ}$  gesetzt; er betrug 1,386 Siem. E. Der andere kam in ein Bad, dessen Temperatur von  $14$  bis  $30^{\circ}$  geändert wurde. Neben letzteren Widerstand wurde so viel Rheostatenwiderstand  $R$  geschaltet, dass der Widerstand von beiden dem ersteren gleich war. Betragen diese Ausgleichungswiderstände  $R$  und  $R'$  bei zwei Temperaturen  $t$  und  $t'$ , (welche schon wegen der kleinen Schwankungen des anderen Bades corrigirt seien)  $w$  und  $w'$ , so ist also

$$w = 1,386 \frac{R}{R-1,386} \quad w' = 1,386 \frac{R'}{R'-1,386}$$

und der Temperaturcoefficient  $\beta$

$$\beta = \frac{1}{t'-t} \frac{w'-w}{w} = \frac{1,386}{R} \frac{R-R'}{R'-1,386} \cdot \frac{1}{t'-t}$$

Es war für

$$t = 14^{\circ},20 \quad R = 1213$$

$$t' = 29^{\circ},99 \quad R' = 222,9$$

also

$$\beta = 0,000323.$$

Eine andere Bestimmung zwischen  $12^{\circ}$  und  $25^{\circ}$  ergab  $\beta = 0,000322$  für den anderen Neusilberwiderstand. Dass beide sich gleich verhielten, wurde ausserdem durch Erwärmen in gemeinschaftlichem Bade festgestellt.

Wir setzen

$$\beta = 0,000323.$$

#### Quecksilberwert der Neusilbernormalen.

**39.** Ich lasse in Tab. 1 einen Auszug aus den Vergleichen der Neusilberwiderstände mit dem Quecksilber folgen, wobei zur Uebersicht alle Bestimmungen auf  $18^{\circ}$  des Neusilbers umgerechnet worden sind (§ 38). Das Quecksilber ist immer mit  $0^{\circ}$  in die Rechnung gekommen. Es wird genügen, um die hierbei angewandten Temperaturcorrectionen (§ 34) einer möglichen späteren Neubestimmung des Quecksilber-Tempe-

raturcoefficienten anzupassen, wenn in runder Zahl die jedesmalige Temperatur des Quecksilberbades, von welcher diejenige des Neusilberbades niemals erheblich abwich, zugesetzt wird.

Beispiel der Bestimmung. Die erste Widerstandsvergleichung (1886 Feb. 11) gab die folgenden Werte.

Temperatur		Ausgleichungswiderstand $R$ neben dem Neusilber bei der Commutatorstellung			
Quecksilber	Neusilber	Ia	IIa	IIb	Ib
11 <sup>0</sup> ,21	12 <sup>0</sup> ,35	165,5	171,7	172,0	165,5 Siem. E.

Im Mittel also  $R = 168,7$  Siem. E.

I und II bedeuten die Stellungen des Commutators, welcher die inneren und äusseren Stromzuleitungsdrähte verwechselte,  $a$  und  $b$  diejenigen, welcher die Windungen des Differentialmultiplikators vertauschte.

Bei der Temperatur 11<sup>0</sup>,21 ist der Wert des Quecksilberrohres in Siem. Einh. d. h. in m/qmm  $Hg$  von 0<sup>0</sup> (§ 35)

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,37268 [1 + 0,00089 (11,21 - 10)] \\ &= 1,37416.\end{aligned}$$

Hieraus folgt der Widerstand des Neusilbers bei der Beobachtungstemperatur 12<sup>0</sup>,35 nach Formel 10

$$w = \gamma \frac{R}{R - \gamma} = 1,37416 \frac{168,7}{168,7 - 1,37416} = 1,38545 \text{ Siem. E.}$$

Also bei 18<sup>0</sup>,00 (§ 38)

$$w_{18} = 1,38545 [1 + (18 - 12,35) \cdot 0,000323] = 1,38798.$$

Solche Vergleichen im Laufe der Zeit ergaben die folgenden Werte. In der letzten Spalte stehen die auf 10<sup>0</sup> reducirten Quecksilbermassen  $m$  in Gramm, welche das Rohr füllten (§ 31).

Tab. 1. Widerstand der Neusilbernormalen bei 18° in Siemens'schen Einheiten d. h. in  $m/mm^2$  Quecksilber 0°.

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

	Quecksilber	Temp.	Neusilbernormale		Rohrfüllung mit Hg 10°; m =
			Nr. I	Nr. II	
1886 Feb. 11	1 mal destillirt 1884	11°	Siem. E. 1,3880	Siem. E. 1,3843	g 15,2123
—	2 mal dest. 1886 Jan. 29	11	1,3880	1,3842	15,2122
Feb. 12—15	dasselbe, neue Füllung	11	1,3880 1,3880	1,3843 1,3842	15,2121
Feb. 16	2 mal dest. Jan. 27	11		1,3843	
Juni 28	2 mal dest. Jan. 29	18	1,3892 1,3892	1,3853 1,3853	15,2126
—	2 mal dest. Jan. 30, Glasrohr vorher gereinigt	18	1,3891	1,3853	15,2124
Aug. 17	dasselbe, gefüllt seit Juni	17	1,3893		
—	2 mal dest. Jan. 30	17	1,3893 1,3893	1,3854 1,3855	
1887 Juni 28	dasselbe, stehen geblieben	18	1,3896	1,3857	
—	2 mal dest. 1886 Jan. 29	18	1,3896	1,3858	
Juli 1	nur gewaschen und getrocknet	18	1,3895	1,3857	
—	1 mal dest. 1887 Juni 27	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. 1887 Oct. 30	12		1,3859	15,2126
—	dasselbe, frische Füllung	15		1,3860	

**40.** Zeitliche Aenderungen der Neusilbernormalen. Da die Widerstandsänderung eines Drahtes ein allgemeineres Interesse bietet, so mögen die beobachteten Quecksilberwerte der beiden Neusilbernormalen graphisch übersichtlich gemacht werden.

Fig. 15 zeigt, wie die beiden Widerstände fast genau gleich verzögert anwachsen, im ganzen um beinahe 0,002 Siem. E. oder 0,14 ‰.<sup>1)</sup> Der Gang lässt sich bis auf weniger als 1/10000 durch die Formel darstellen

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

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

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

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

Die Unterschiede zwischen den beobachteten und den so berechneten Werten bleiben unterhalb 1/10000. Bis auf diesen Betrag wird man also die Widerstände der Quecksilbersäule als constant ansehen dürfen. Und dabei sind 15 verschiedene Füllungen des Rohres angewandt worden. Auch das nur gewaschene Quecksilber (1887 Juli 1) hat merklich denselben Wert ergeben wie das einmal oder zweimal destillirte und selbst die Füllung, welche 10 Monate (1886 Aug. 17 bis 1887 Juni 28) stehen geblieben war, lässt keine Abweichung erkennen.<sup>2)</sup>

Es gibt kaum ein besseres Zeugnis, welches man der von Siemens vor 30 Jahren eingeführten Quecksilbernormale ausstellen könnte, als diese Beobachtungsreihe.

Die Formel 11 ist im Folgenden gebraucht worden, um von der

1) Aenderungen von nahe gleichem Betrage fand Herr Himstedt bei mehreren Neusilberwiderständen. Wied. Ann. Bd. 31 S. 617. 1887.

2) Später wurde noch einmal eine Rohrfüllung mit Quecksilber ausgeführt, welches nach längerem Stehen etwas Oxyd zeigte. Dessen Widerstand schien etwa um 2/10000 grösser zu sein, als der von reinem Quecksilber.

ersten, etwa eine Woche nach der ersten absoluten Messung angestellten Quecksilbervergleichung auf jene zurückzurechnen. Sonst ist für jede Gruppe der Ohmbestimmung der Mittelwert aus den um dieselbe Zeit angestellten Beobachtungen eingesetzt worden nämlich in Siem. 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.

### Selbstinductionscoefficient $\Pi$ des Multiplikators.

41.  $\Pi$  ist der Faktor, welcher mit der Geschwindigkeit der Stromänderung multiplicirt. die elektromotorische Kraft des Extrastroms gibt.  $\Pi$  braucht nur genähert bekannt zu sein.

Von der mehrfachen Messung gebe ich ein Beispiel. Es wurde die von mir beschriebene Methode der plötzlichen Verschiebung einer Galvanometernadel durch einen Inductionsstoss gebraucht.

Die beiden Ströme eines Differentialinductors liefen, der eine durch den Multiplikator Nr. I mit seiner den Windungen parallel festgelegten Magnetnadel, der andere durch einen inductionslosen Weg von gleichem Widerstande. Sie flossen dann zusammen durch ein Galvanometer und gemeinsam zu der Verzweigungsstelle des Differentialinductors zurück.<sup>1)</sup>

Der Galvanometerwiderstand war  $W = 0,451$  Ohm. Multiplikator  $w = 1,246$  Ohm, ein Zweig des Differentialinductors  $\gamma = 1,022$  Ohm. Durch einen raschen Inductionsstoss erfolgte eine plötzliche Nadelverschiebung (ohne Endgeschwindigkeit)  $x' = 6,86$  mm.

1) Sitz.-Ber. d. k. Akad. 1887 S. 3. Wied. Ann. Bd. 31. S 595, 1887.

Ferner wurde ein voller Inductionstoss der einen Inductorhälfte unter Einschaltung eines Widerstandes  $R = 94,3$  Ohm durch das Galvanometer gesandt. Der erste Ausschlag betrug  $x = 155,2$  mm.

Das Dämpfungsverhältnis der Nadel bei letzterem Versuch war  $k = 1,60$ , die Schwingungsdauer ohne Dämpfung  $\tau = 20,0$  sec.

Hieraus wird der Coefficient der Selbstinduction erhalten. wenn  $A = \log \text{nat } k$  ist,

$$12) \quad \Pi = \frac{\tau}{\pi} (w + \gamma) \frac{2W + w + \gamma \frac{x'}{x} k}{R + W + \gamma \frac{x'}{x} k} - \frac{1}{\pi} \text{arctg} \frac{x}{A} = 0,0171 \text{ Ohm Sec.}$$

oder  $\Pi = 171.10^5$  cm.

Das verwandte Verfahren in der Wheatstone-Kirchhoff'schen Verzweigung<sup>1)</sup> gab  $\Pi = 166.10^5$  cm, wenn die Magnetnadel entfernt war.

Herr Kreichgauer erhielt nach der Dorn'schen Anordnung des unterbrochenen Hydrostromes in der Wheatstone'schen Verzweigung<sup>2)</sup> mit Nadel  $\Pi = 168.10^5$ , ohne Nadel  $164.10^5$ .

Ich setze

$$\Pi = 168.10^5 \text{ cm.}$$

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

Bei den Ohmbestimmungen 1886 Februar befand sich zum Multiplikator der kleine Inductor zugeschaltet, mit welchem die Nadel in Schwingung versetzt wurde. Der Inductioncoefficient wurde für die beiden Instrumente zusammengenommen gefunden

$$\Pi_1 = 178.10^5.$$

1) F. K. ib. S. 8, bez. S. 598.

2) Dorn. Wied. Ann. Bd. 17, S. 783. 1882.

## Magnet.

### Polabstand $\varrho$ des Magnets.

42. Das Verfahren ist dasselbe, wie früher beschrieben wurde,<sup>1)</sup> nur dass zuweilen zwei Magnetometer gleichzeitig gebraucht wurden.<sup>2)</sup> Alles wurde sorgfältig nivellirt, der Magnet in der Höhe der beiden Magnetometernadeln aufgestellt.

Es sind vier Bestimmungen ausgeführt worden, die erste und zweite mit Beobachtungen aus drei Abständen. Hier wurden die Deklinationsschwankungen gleichzeitig beobachtet und in Abzug gebracht. Bei den letzten beiden Sätzen sind nur zwei Abstände gebraucht worden, jedesmal aber zwei Magnetometer gleichzeitig. Da die Ablesungen rasch auf einander folgten, da die Deklinationsschwankungen sich zur Hälfte erheben, da dieselben endlich nicht grösser sind als die Unsicherheiten, welche bei dem Auflegen des Magnets auf seinen Teilstrich vorkommen, und da die Zahlen als Mittelwerte aus vielen (40 bis 50) Ablesungen auftreten, so wurde die Deklination nicht beobachtet.

Die Skalenabstände brauchen nur genähert bekannt zu sein, da sie für beide Ablenkungen gleich bleiben. Nur eine Krümmung der Skale kann dies beeinträchtigen. Daher wurde mit dicht vor der Skale gespanntem feinen Faden aus dem Abstände von dessen Spiegelbild diese Krümmung bestimmt.

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

Die Resultate sind nach den von mir gegebenen bequemen Formeln<sup>3)</sup> berechnet worden. Die ersten Sätze mit der Beobachtung aus 3 Abständen liefern zugleich eine Prüfung dieser Formeln, welche durch die nahe Uebereinstimmung der beiden berechneten Werte zu ihren Gunsten ausfällt.

Sind  $a_1$  und  $a_2$  zwei Abstände, aus denen der Magnet die Ablenkungs-

1) F. und W. Kohlrausch, Wied. Ann. Bd. 27. S. 45. 1886.

2) F. K. und Hallock, Wied. Ann. Bd. 22, S. 412. 1884.

3) F. K. Sitz.-Ber. d. k. Akad. 1887 S. 29; Wied. Ann. Bd. 31, S. 614. 1887.

winkel  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  bewirkt,  $\mathcal{Q}$  und  $\mathcal{I}$  die Polabstände (magnetischen Längen) des Stabes und der Magnetometernadel, so hat man

$$\mathcal{Q}^2 - 4 \mathcal{I}^2 = 4 \frac{a_1^2 \operatorname{tg} \varphi_1^{2/3} - a_2^2 \operatorname{tg} \varphi_2^{2/3}}{\operatorname{tg} \varphi_2^{2/3} - \operatorname{tg} \varphi_1^{2/3}}. \quad 13)$$

Sind zwei Magnetometer gleichzeitig gebraucht worden, so kann das Mittel aus den beiderseitigen  $\mathcal{I}^2$  (§ 46) eingesetzt werden.

1885 Dec. 10.  $13^\circ$ . Skalenabstand  $A = 2997$  mm.

Skalen etwas hohl gekrümmt. Gegen die Teilstriche des grössten Ausschlags treten diejenigen des mittleren Ausschlags um  $AA = 0,32$  mm, die des kleinen Ausschlags um  $0,37$  mm zurück. Deswegen sind die beobachteten Ausschläge durch  $1 + AA/A$ , d. h. die mittleren durch  $1,00011$ , die kleinen durch  $1,00012$  dividirt worden.

Abstand des Magnetometercocons in beiden Aufstellungen =  $190,007$  cm. Verschiebungen des Magnets aus der Mittellage  $20,013$  cm nördlich,  $20,004$  cm südlich. Also die drei Abstände

$$a_1 = 74,995 \quad a_2 = 95,003 \quad a_3 = 115,012 \text{ cm.}$$

Die zugehörigen wegen Skalenkrümmung corrigirten Ausschläge sind

$$\begin{array}{r} 2x_1 = 1041,32 \quad 2x_2 = 512,47 \quad 2x_3 = 289,43 \text{ mm} \\ \mathcal{Q}^2 - 4\mathcal{I}^2 = \quad \quad 247 \quad \quad \quad 252 \end{array}$$

Als Magnetometer diente Nr. II (§ 22 und 46); also ist

$$\begin{array}{r} \mathcal{I} = 1,57 \text{ cm und} \\ \mathcal{Q} = \quad \quad 16,0 \quad \quad \quad 16,2 \text{ cm.} \end{array}$$

1885 Dec. 24.  $13^\circ$ .  $A = 3000$  mm;  $\mathcal{I} = 1,56$  mm (Nr. III).

Skalenkrümmung  $AA_2 = +0,28$   $AA_3 = +0,35$  mm;

also Correctionsdivisor =  $1,00009$   $1,00012$ .

Abstand des Magnetometercocons in beiden Stellungen =  $190,004$  cm. Verschiebungen des Magnets wie Dec. 10. Also

$$\begin{array}{r} a_1 = 74,993 \quad a_2 = 95,002 \quad a_3 = 115,011 \text{ cm} \\ 2x_1 = 1039,64 \quad 2x_2 = 511,79 \quad 2x_3 = 289,06 \text{ mm} \\ \mathcal{Q} = \quad \quad 16,4 \quad \quad \quad 16,2 \text{ cm.} \end{array}$$

1886 Mai 21. 22°.  $A = 3002$  mm.  $l_1 = 1,57$ ,  $l_2 = 1,56$  (Nr. II u. III).

Correctionsdivisor für den kleinen Ausschlag = 1,00002

Abstand der Magnetometercocons = 190,012 cm

Verschiebung des Magnets = 30,010 cm. Also

$$\begin{aligned} a_1 &= 80,001 & a_2 &= 110,011 \text{ cm.} \\ 2x_1 &= 851,76 & & 328,38 \text{ mm.} \\ \varrho &= & & 15,9 \text{ cm.} \end{aligned}$$

1887 Dec. 22. 16°.  $A = 3000$  mm.  $l = 1,37$  bez. 1,90 (Nr. I u. V).

Correctionsdivisor für kleinen Ausschlag = 1—0,00003.

Abstand der Cocons 190,017 cm.

Verschiebung 30,008 cm, also

$$\begin{aligned} a_1 &= 80,004 & a_2 &= 110,013 \text{ cm} \\ 2x_1 &= 854,24 & 2x_2 &= 329,31 \text{ mm} \\ \varrho &= & & 15,8 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Im Mittel aus allen Bestimmungen kommt der Polabstand

$$\varrho = 16,08 \text{ cm.}$$

Hierzu ist folgendes zu bemerken. Im Januar 1886 fiel der Magnet und verlor dadurch etwa 1,5% seines Magnetismus. Man hatte vorher in der durch Herrn Mielberg vorgeschlagenen Weise<sup>1)</sup> über den horizontal gelegten Magnet eine Glasplatte gelegt und feines Eisenpulver darauf gestreut. Es gelang freilich nicht, scharfe Figuren zu erzielen. Die beiden Convergenzpunkte schienen etwa 15,5 cm auseinander zu liegen. Nach dem Falle wurde dies wiederholt und man schätzte den Abstand auf 16,5. Hiernach wären die Nahpole des Magnetes nach dem Falle auseinander gerückt. Die vorigen Messungen durch Ablenkungen würden den Polabstand aber nach dem Falle etwas kleiner ergeben, was eigentlich wahrscheinlicher ist, da der Stoss und vielleicht auch die Zeit an sich die nicht geschützten Enden des Magnets, wie man vermuten sollte, eher abschwächen würden als die Mitte. Doch sind dies nur Vermutungen.

1) Mielberg, Rep. für Meteor. Bd. 10, Nr. 1. Petersb. 1885.

In der Rechnung ist obiger Mittelwert gebraucht worden, da die Abweichungen durch Beobachtungsfehler erklärt werden können. Denn 0,1 mm Fehler des kleineren Doppelausschlages im letzten Beispiel macht  $\mathcal{Q}$  um 0,3 cm falsch.

#### Temperatur-Coefficient $c$ des Magnets.

43. Setzt man den Magnetismus des Stabes bei der Temperatur  $t$

$$M = M_0(1 - c \cdot t), \quad 14)$$

so wurden für  $c$  folgende Werte gefunden.

Nach der Weber'schen Compensationsmethode fand Herr Kreichgauer zwischen  $2^\circ$  und  $30^\circ$  0,00049.

Aus der Schwingungsdauer im kalten und warmen Zimmer zwischen  $0^\circ$  und  $13^\circ$  derselbe 0,00044.

Nach der von mir vorgeschlagenen Anordnung mit dem um  $90^\circ$  abgelenkten Magnetometer<sup>1)</sup> zwischen  $5^\circ$  und  $40^\circ$  fand Herr Kreichgauer 0,00046. Nach derselben Methode Herr Klupaty 0,00046.

Bei dieser Uebereinstimmung und da der Coefficient das Endresultat kaum beeinflusst, ist die Mitteilung von Einzelheiten überflüssig. Ich setze

$$c = 0,00046.$$

#### Magnetischer Inductionscoefficient $\mu$ .

44.  $\mu$  bezeichnet den durch das magnetische Feld Eins nach der Axe des Stabes inducirten Magnetismus.

1) Die Herren Kreichgauer und Sack drehten nach dem Weber'schen Verfahren eine 40 cm lange Spule, in welcher der Magnet steckte, um  $180^\circ$  und erhielten durch „Multiplikation“ bei den zehn ersten Drehungen eine Summe der Skalenausschläge = 1076 mm. Die Spule allein gedreht gab ebenso 368 mm. Ein kleiner Magnet vom Moment 318 [cm, g] endlich lieferte 10 mal abwechselnd in die Spule eingeschoben und herausgezogen die Summe 7994 mm. Der durch den horizontalen

1) F. K. Wied. Ann. Bd. 19, S. 420. 1883.

Erdmagnetismus bei dem Umkehren des Stabes in demselben inducirte Magnetismus ist danach gleich

$$\frac{1076-368}{7994} \cdot 318 = 28,2.$$

Der horizontale Erdmagnetismus war = 0,1961 [cm, g], folglich ist

$$\mu = \frac{1}{2} 28,2/0,1961 = 71,8.$$

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

2) Dieselben Beobachter fanden in einer Spule vom elektromagnetischen Felde = 0,2055 [cm, g] und zwar in Uebereinstimmung mit meiner früheren Beobachtung<sup>1)</sup> für verstärkende und abschwächende Kraft merklich gleich, das inducirte magnetische Moment = 14,27, also

$$\mu = 14,27/0,2055 = 69,4.$$

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

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

Wir setzen<sup>2)</sup>

$$\mu = 69,6.$$

Ueber die Plötzlichkeit des Entstehens und Verschwindens des inducirten Magnetismus.

44 a. 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. Herr 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

1) F. K. Gött. Nachr. 1883 S. 407, Wied. Ann. Bd. 32, S. 415. 1884.

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

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 Herr 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  $\frac{1}{20}$  Sk.-T. mit der nachher beobachteten. 1 Sk.-T. 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 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 Dorn<sup>1)</sup> 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  $\mu$ , der Quere nach das Moment  $\mu'$  inducirt,

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

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

1) Dorn, Wied. Ann. Bd. 17. S. 776. 1882.

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

Es ist nun  $l = 20,0$ ,  $l' = 1,5$  cm, also  $V = 0,75^2 \pi \cdot 20,0 = 35,4$  cbcm. Weiter wird  $N = 0,162$ ,  $L = 6,20$  gefunden. Aus  $\mu = 69,6$  ergibt sich dann  $z = 2,9$  und endlich

$$\mu' = 5,4.$$

#### Nadellängen $l$ der Magnetometer.

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

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

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

Magnetometer III. Nadellänge = 1,87 cm, also  $l = \frac{5}{6} \cdot 1,87 = 1,56$  cm.

Magnetometer IV. Nadellänge = 1,50 cm, also  $l = \frac{5}{6} \cdot 1,50 = 1,25$  cm.

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 1. Hauptlage und  $0,8 \cdot 2,20 = 1,76$  cm für 2. Hauptlage (§ 42) gesetzt.

Die Zahlen haben keinen erheblichen Einfluss auf das Resultat.

#### Torsionsverhältnisse $\theta$ und $\vartheta$ .

47. Dieselben betragen:

Hauptmagnet (Multiplicator):

$$\theta = 0,00097 \quad 1886 \text{ I}$$

$$\theta = 0,00320 \quad 1886 \text{ II und } 1887 \text{ I}$$

letzteres mit dickerem Aufhängedraht.

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

mit demselben, etwas verkürzten Drahte.

1) Vgl. Wied. Ann. Bd. 22, S. 415. 1884 und Bd. 31, S. 617. 1887.

## Magnetometer:

Nr. I	$\mathcal{S} = 0,00022$	1886 I,	$0,00012$	1886 II
II	$\mathcal{S} = 0,00007$	1886 I und II		
III	$\mathcal{S} = 0,00006$	1886 I,	$0,00004$	1886 II
IV	$\mathcal{S} = 0,00039$	1887 I,	$0,00050$	1887 II
V	$\mathcal{S} = 0,00013$	1887 I,	$0,00020$	1887 II.

Correctionen  $\mathcal{S}$  der magnetischen Felder.

## Magnetischer Instrumentaleinfluss des Multiplikators.

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

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

Multiplikator I; 1886. Der Multiplikator wurde auf seinem Teilkreise gedreht, während die Magnetnadel unberührt blieb. An 3000 mm weiter Skale fand sich als Mittel aus mehreren Beobachtungen ein Dreh-einfluss von  $-0,011$  mm/Grad. Von dieser kleinen Grösse kommt dem Deckglase der Teil  $-0,005$  mm<sup>0</sup> zu, wie man aus der Brennweite des Deckglases =  $-700$  m und seinem Abstand 35 mm vor der Spiegelfläche berechnete und ferner dadurch controlirte, dass die Nadel während der Drehung des Multiplikators von einem feststehenden Stative aus an ihrem Stiele geklemmt war. Also betrug der magnetische Einfluss allein die Differenz  $-0,006$  mm<sup>0</sup>. Ein Bogengrad entspricht an 3000 mm weiter Scale einem Einstellungsunterschiede von 105 mm, also ist der magnetische Einfluss =  $-0,006/105$  oder

$$\frac{\Delta H}{H} = \mathcal{S} = -0,00006.$$

Auch durch andere Beobachtungen wurde constatirt, dass der Multiplikator fast unmagnetisch war. Es wurde die Schwingungsdauer beobachtet, während die Multiplikatorwindungen der Nadel parallel oder rechtwinklig zu ihr standen. Herr Kreichgauer hatte die auf gleiche Temperatur und gleichen Erdmagnetismus reducirten Werte gefunden

	parallel	gekreuzt
1886 Januar	8,2316	8,2323 sec
1885 Juni	8,2447	8,2454 „

Um endlich zu prüfen, ob nicht die starke Magnetsnadel in der benachbarten Backstein-Wand etc. einen rückwirkenden Einfluss inducirt, wurde der Nadel ein Bügel gegeben, mit welchem sie sammt Aufhänge- draht an einen anderen Ort gehängt werden konnte, dessen Localmagnetismus mit dem Ablenkungsvariometer demjenigen des Multiplikator-Ortes gleich gefunden worden war. Man fand

	Im Multipl.	Umgehängt
1886 Dec. 2	9,0155	9,0147 sec
„ „ 3	9,2182	9,2184 „

Die Unterschiede fallen in die Beobachtungsfehler, besonders da die erste Reihe grösseren constanten Fehlern unterliegt, weil die Schwingungsdauer einer ganzen Anzahl von Sekunden so nahe kommt. Aus diesem Grunde war am zweiten Tage eine kleine Belastung hinzugefügt worden.

Multiplikator II; 1887. Derselbe zeigte einen ähnlichen sehr kleinen diamagnetischen Einfluss. Von dem gesammten Dreheinfluss — 0,010 mm/<sup>0</sup> denjenigen — 0,005 mm/<sup>0</sup> des Deckglases allein, beides an 2600 mm weiter Scale gemessen, abgerechnet, bleibt — 0,005. Hieraus wird gefunden

$$\xi = -0,00005.$$

In paralleler und gekreuzter Stellung fand ich die Schwingungsdauer

13,5651 und 13,5645 sec.

## Magnetischer Instrumentaleinfluss der Magnetometer.

49. Das zu untersuchende Magnetometer wurde auf ein drehbares Tischchen mit Kreisteilung 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 Teil 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 geteilt, gibt den Instrumentaleinfluss  $\zeta$ .

I. Magnetometer aus Holz mit Stahlspiegel und Kupferdämpfer.<sup>1)</sup>

1886 Jan. 25.  $\pm 5^\circ$  Drehung gab im Mittel einen Ausschlag von  $\mp 0,072$  mm an 3000 mm weiter Scale. Der Torsionscoefficient war  $\theta = 0,00022$ , also würde die Fadentorsion eine Nadeldrehung um  $0,00022 \cdot 6000 \cdot 5^0/57^0,3 = \pm 0,113$  mm bewirken. Der magnetische Einfluss einer Drehung um  $\pm 5^\circ$  oder in Sc. T. um  $\pm 6000 \cdot 5/57,3 = 523$  mm beträgt also  $\mp 0,185$  mm, also ist  $\zeta_1 = -0,185/523 = -0,00035$ .  $\pm 10^\circ$  gaben ebenso  $-0,00039$  und am folgenden Tage  $-0,00033$ . Ich setze

$$\zeta_1 = -0,00036 \quad .1886 \text{ I.}$$

Juni und August 1886 wurde gefunden  $-0,00043$  und  $-0,00039$ , also

$$\zeta_1 = -0,00041 \quad 1886 \text{ II.}$$

II. Magnetometer mit engen Elfenbeingehäuse und Luftdämpfung am Spiegel. Hatte i. J. 1884 und 85 durchschnittlich  $-0,00052$  gezeigt. Gab ferner 1885 December  $-0,00046$ , 1886 Juni  $-0,00051$ , August  $-0,00057$  und  $-0,00058$ . Ich setze

$$\zeta_2 = -0,00050 \quad 1886 \text{ I} \quad \text{und} \quad -0,00055 \quad 1886 \text{ II.}$$

1) Dieser Dämpfer war kurz zuvor abgedreht worden und zeigte sich danach erheblich magnetisch. Abkochen in 5% Schwefelsäure stellte dann die schwach diamagnetische Beschaffenheit her, welche sich in den obigen Zahlen ausspricht. — Es hat Interesse, zu untersuchen, ob elektrische Spannungsdifferenzen merklich werden können. Nachdem der Stahlspiegel durch Neigen des Instrumentes einige Male mit dem Dämpfer in Contact gebracht worden war, wurde  $\zeta = -0,00032$  gefunden. Der Unterschied fällt in die Beobachtungsfehler.

III. Ein Instrument wie Nr. II. Gab i. Jan. 1886  $+0,00038$  und  $0,00049$ ; Juni  $+0,00040$ ; August  $+0,00066$  und  $+0,00053$ . Also

$$\xi_3 = +0,00043 \quad 1886 \text{ I} \quad \text{und} \quad +0,00053 \quad 1886 \text{ II.}$$

(1886 II war zur Verstärkung der Dämpfung in das Elfenbeingehäuse noch eine Papierhülse eingeschoben.)

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

IV. Magnetometer mit weitem Holzgehäuse und Luftdämpfungsflügel unten. Verschwindender Einfluss

$$\xi_4 = -0,00005.$$

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

$$\xi_5 = +0,00003.$$

IV und V kommen 1887 zur Verwendung.

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

Den kleinen Teil des Dreheinflusses, welcher vom Deckglase herrührt, höchstens  $0,00002$ , habe ich nicht ausgeschieden, weil die Spiegelfläche mit der Drehungsaxe der Nadel nahe zusammenfällt und weil also eine Scheidung überflüssig ist.

Wenn man in Tab. 5 § 73, wo die Magnetometer immer paarweise vorkommen, die Ausschläge wegen Torsion und Skalenabstand einzeln corrigirt und mit einander vergleicht, so findet man dieselben nahe den gefundenen  $\xi$  entsprechend (vgl. § 75). Das ist von Bedeutung, denn eine gewisse prinzipielle Unsicherheit haftet dieser Art der Bestimmung durch Drehung immerhin an. Deswegen ist auch 1886 I und II zwischen den Magnetometern gewechselt worden. 1887 kommen solche Einflüsse überhaupt nur mit verschwindendem Betrage vor, da das besondere Magnetometer der Tangentenbussole wegfällt.

Dass die Multiplikatoren keine in Betracht kommenden magnetischen Einflüsse besaßen, ist jedenfalls ziemlich hoch zu schätzen.

### Lokale magnetische Variationen.

50. Dieselben wurden mittels des von mir beschriebenen Lokalvariometers mit vier Ablenkungsstäben<sup>1)</sup> bestimmt, indem man dasselbe alternierend 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.

Als Beispiel diene die letzte Vergleichung zwischen dem Orte des Multiplikators und des westlichen Magnetometers 1887 Juli. Die erste Spalte gibt den Stand des auf constante Temperatur reducirten Zeitvariometers, welches den gleichen Scalenwert hatte wie das Lokalvariometer. Dann folgt unter  $p_1$  die Nadeleinstellung des Lokalvariometers in derjenigen Stellung der Ablenkungsstäbe, in welcher eine Verstärkung des Erdmagnetismus Gang auf grössere Zahlen bewirkt, und unter  $p_2$  die entgegengesetzte Einstellung; beide als Mittelwerte aus mehreren Einstellungen, die immer nahe übereinstimmten. In der vierten Spalte steht die Differenz, welche um die Beträge der fünften Spalte wegen der Aenderungen des Erdmagnetismus (Spalte 1) corrigirt, die sechste Spalte liefern. Endlich folgen die Ueberschüsse der Abweichungen Mult.—Magn., aus je einer Zahl und den beiden Nachbarn berechnet. Der ersten von den drei Zahlen legen wir nur das Gewicht  $\frac{1}{2}$  bei, weil die Zunahme der Temperatur der Ablenkungsstäbe durch die Nähe des Beobachters später jedenfalls gleichmässiger ist.

1) F. K. Sitz.-Ber. d. k. b. Akad. 1883. S. 1; Wied. Ann. Bd. 19, S. 130. 1883.

O r t	Zeit- Variom.	$p_1$	$p_2$	$p_1 - p_2$	Corr. auf 107,0 des Zeit-Var.		Magn. minus Multipl.
					$p$	$p$	
Magnetometer . . .	107,12	104,30	95,57	+ 8,73	- 0,24	+ 8,49	
Multiplikator . . .	106,98	104,00	95,85	+ 8,15	+ 0,04	+ 8,19	+ 0,77
Magn. . . . .	106,82	104,37	95,30	+ 9,07	+ 0,36	+ 9,43	+ 0,97
Mult. . . . .	106,96	104,30	95,65	+ 8,65	+ 0,08	+ 8,73	+ 0,87
Magn. . . . .	106,95	104,87	95,20	+ 9,67	+ 0,10	+ 9,77	+ 0,89

Der Drehungswinkel des Rahmens mit den Ablenkungsmagneten betrug zwischen den Anschlägen  $2\varphi = 65^\circ$ , der Skalenabstand  $A = 252 \text{ mm} = 504 \text{ Sk.-T.}$  Also entspricht die Einstellungsdifferenz von 1 Sk.-T. einer relativen Aenderung des horizontalen Erdmagnetismus um  $\frac{1}{2}(\text{tg } 32^\circ,5)/1008 = 0,000316$ . Am Orte des Multiplikators ist nun die Differenz um  $-0,89 \text{ Sk.-T.}$  grösser, der Erdmagnetismus also um  $-0,89 \cdot 0,000316 = -0,00028$  Teile grösser als an dem Orte des Magnetometers.

Aus ebensolchen Vergleichen ergab sich am Orte des Multiplikators der horizontale Erdmagnetismus relativ grösser als am Orte

der Tangentenbussole 1886 bei zwei Messungen  
 um  $-0,00021$  und  $-0,00029$ , also im Mittel um  $-0,00025$   
 des nördlichen Magnetometer um  $-0,00013$   
 des südlichen " "  $-0,00008$   
 also der beiden Magnetometer 1886 im Mittel um  $-0,00011$   
 des östlichen Magnetometers um  $+0,00008$   
 des westlichen " "  $-0,00028$   
 also der beiden Magnetometer 1887 im Mittel um  $-0,00010$ .

#### Gesamttcorrection der magnetischen Felder.

51. Wir wollen gleich durch Hinzunahme der instrumentellen Einflüsse (§ 48. 49) die für die Rechnungen notwendigen Gesamttcorrectionen bilden.  $H$  sei das magnetische Feld der Multiplikatornadel,  $H'$  dasjenige der anderen Nadel. Die anzugebenden Zahlen bedeuten alsdann den Wert  $(H - H')/H$ .

An der Tangentenbussole 1886 ist noch zu berücksichtigen, dass der Multiplikator magnet an deren Orte eine Abschwächung des Erdmagnetismus um 0,00006 hervorbrachte, wie sich durch Beobachtungen an einem am Platze der Tangentenbussole aufgestellten Intensitätsvariometer ergab und durch Rechnung aus den Coordinaten der Orte bestätigt wird.

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

$$(H - H')/H = -0,00025 - 0,00006 + 0,00006 + 0,00036 = +0,00011.$$

Tangentenbussole 1886 II (Magn. Nr. III)

$$-0,00025 - 0,00005 + 0,00006 - 0,00053 = -0,00077.$$

Für die Magnetometer haben wir einfach zu den Zahlen von S. 676 die Instrumentaleinflüsse  $\xi$  Multiplikator minus  $\xi$  Magnetometer hinzuzufügen.

$$\begin{aligned} 1886 \text{ I, Magn. Nr. II und III; } \frac{1}{2} (\xi_2 + \xi_3) &= \frac{1}{2} (-0,00050 + 0,00043) \\ &= -0,00004 \text{ also } (H - H')/H = -0,00011 - 0,00006 + 0,00004 \\ &= -0,00013. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1886 \text{ II, Magn. Nr. I und II; } \frac{1}{2} (\xi_1 + \xi_2) &= \frac{1}{2} (-0,00041 - 0,00055) \\ &= -0,00048 \text{ also } (H - H')/H = -0,00011 - 0,00006 + 0,00048 \\ &= +0,00031. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1887, \text{ Magn. Nr. IV und V; } \frac{1}{2} (\xi_4 + \xi_5) &= \frac{1}{2} (-0,00005 + 0,00003) \\ &= -0,00001 \text{ also } (H - H')/H = -0,00010 - 0,00005 + 0,00001 \\ &= -0,00014. \end{aligned}$$

Bei einigen Messungen von  $M/H$  wurde nur das Magnetometer V gebraucht, dann kommt

$$(H - H')/H = -0,00010 - 0,00005 - 0,00003 = -0,00018.$$

Zeitliche Aenderungen der erdmagnetischen Horizontalintensität.

**52.** Das für diese Bestimmungen gebrauchte Intensitätsvariometer mit vier Ablenkungsstäben <sup>1)</sup> hat den Skalenabstand = 506 Sk.-T. Der

1) F. K. Wied. Ann. Bd. 15, S 540. 1882.

Temperaturcoefficient der Stäbe ist = 0,00098. Die Aufstellung fand immer so statt, dass wachsende Einstellung einen zunehmenden Erdmagnetismus bedeutete. Der Winkel  $\varphi$  der Direktionskraft der Ablenkungsstäbe mit dem Meridian war 1886  $\varphi = 32^{\circ},5$ , 1887  $\varphi = 32^{\circ},0$ . Es bedeutet also ein Skalenteil die relative Zunahme des horizontalen Erdmagnetismus um  $E = \operatorname{tg} \varphi/1012$ ; also gilt

$$1886 \quad E = 0,00063 \quad \text{und} \quad 1887 \quad E = 0,00062.$$

Ein Grad Temperaturerhöhung bewirkt eine Zunahme der Einstellung

$$1886 \text{ um } 1,55^{\circ} \quad \text{und} \quad 1887 \text{ um } 1,58^{\circ}.$$

Um zufälligen Temperaturschwankungen entzogen zu sein befand das Variometer mit einem in  $\frac{1}{5}^{\circ}$  getheilten Thermometer sich unter einem Pappkasten, aus welchem nur Fernrohr und Skale hervorragte.

### Controlen für die Dämpfungsbeobachtungen.

53. Der Magnet und die auf denselben gesteckten Belastungsgewichte sind Stromleiter. Die letzteren sind allerdings zur Vermeidung von Cirkularströmen aufgeschnitten. Immerhin war zu constatiren, ob nicht die Ströme, welche von dem Strome im Multiplikator rückwärts in diesen Leitern inducirt werden, einen merklichen Teil der Dämpfung bewirken. Zu dem Zweck wurde der Magnet durch einen ebenso gestalteten Stab aus elektrolytischem Kupfer ersetzt, den man nun, mit Belastungsgewichten oder ohne dieselben, im Multiplikator schwingen liess. Man bestimmte seine Dämpfung, wenn der Multiplikator 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. Der Strom 0,01 [cm, g] bewirkt über  $80^{\circ}$  Ablenkung einer in den Multiplikator gestellten Bussole. Man erhielt

Stromstärke =	0	0,001	0,005	0,01 [cm, g]
brigg. log. Decrem.				
für den Kupferstab	0,00172	0,00172	0,00170	0,00171
mit Gewichten	0,00192			0,00192.

Ein merklicher störender Einfluss im schwingenden Systeme ist hier nach ausgeschlossen.

## Skalenabstände A.

Correctionen der gemessenen Skalenabstände.<sup>1)</sup>

**54.** 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 Glasmaßstäben 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 Multiplikator der Fall war,

4) der Dicke des Deckglases,

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

6) der Spiegelneigung gegen die Verticale,

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

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

Wir wollen zunächst die für jedes Instrument constanten Correctionen 1 bis 5 zusammenstellen.

### 55 a. Correctionen für den Multiplikatorspiegel.

	Correction mm
Vordere Spiegelfläche vor dem Aufhänge draht 13,11 mm (1886 I)	— 13,11

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

	Correction mm
Optische Dicke des Spiegels, bestimmt durch Einstellung eines Mikroskops auf einen Punkt der vorderen Glasfläche und dann auf dessen Spiegelbild. Die notwendige Verschiebung des Mikroskopes betrug 4,06 mm.	+ 2,03
Deckglasdicke = 2,85 mm	- 2,85 · 0,53/1,53 = - 0,99
Krümmungshalbmesser des Spiegels, aus Object und Bildweite bestimmt (l. c. S. 98) = - 186000 mm; Abstand von der Drehungsaxe = 11 mm; Skalenabstand = 3000 mm; Correction = - 3000 · 11/186000	= - 0,18
Deckglaskrümmung: Brennweite, aus Object- und Bildweite bestimmt (l. c. S. 99) = - 700000 mm; Abstand vom Spiegel = 30 mm. Also Correction = - 30 · 2970/(- 700000)	= + 0,13
	Summa = - 12,12

1886 II ist die erste Correction = - 13,19. Die Spiegelnormale war damals horizontal. 1886 I kommt wegen Neigung noch + 0,03 mm, so dass man im ganzen hat

$$\Delta A = - 12,09 \quad 1886 \text{ I und } - 12,20 \quad 1886 \text{ II.}$$

1887 werden genaue Skalenabstände nicht verlangt.

### 55b. Correctionen für die Magnetometerspiegel.

#### Magnetometer I mit Stahlspiegel.

	Correction mm
Spiegelnde Fläche vor dem Cocon	- 0,98
Deckglasdicke = 3,83 mm	- 1,33
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> Δ A = - 2,31.

Bei dem Gebrauche dieses Magnetometers in der Tangentenbussole (1886 I) wurde der Skalenabstand von der Spiegelfläche gemessen, also ist nur  $\Delta A = - 1,33$  mm anzubringen.

## Magnetometer II.

	Correction mm
Vordere Glasfläche vor Cocon	— 0,25
Optische Spiegeldicke = 0,42/1,53	+ 0,28
Deckglasdicke = 3,45 mm	— 1,19
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
$\Delta A$	= — 1,16

## Magnetometer III.

Vordere Glasfläche vor Cocon	— 0,58
Optische Spiegeldicke = 0,76/1,53	+ 0,50
Deckglasdicke = 2,85 mm	— 1,00
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
$\Delta A$	= — 1,08

1886 II in der Tangentenbussole fällt, wie bei I, die erste Correction weg und bleibt  $\Delta A = -0,50$ .

## Magnetometer IV.

Vordere Spiegelfläche vor Cocon	— 0,57
Optische Spiegeldicke 1,4/1,53	+ 0,91
Deckglasdicke = 3,8 mm	— 1,32
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
$\Delta A$	= — 0,98

## Magnetometer V.

Vordere Spiegelfläche vor Cocon	— 0,71
Optische Spiegeldicke 0 8/1,53	+ 0,52
Deckglasdicke = 3,8 mm	— 1,32
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
$\Delta A$	= — 1,51.

## Skalenabstände des Multiplikators und der Tangentenbussole.

**56.** Ueber das Verfahren vgl. Wied. Ann. Bd. 27, S. 8.

Nur an der Tangentenbussole ist der Abstand von der Spiegelfläche ab gemessen worden, sonst von dem Aufhängefaden. Die zugehörigen Differenzen s. § 55 a und b.

Die Protokolle ausführlich wieder zu geben, wäre zu weitläufig. Ich bemerke, dass jede Messung variirt, jede Ablesung von zwei Beobachtern ausgeführt wurde, stets in guter Uebereinstimmung, und dass, um gröbere Versehen, vielleicht aus Ablesefehlern in den cm herrührend, sicher auszuschliessen, auch noch direkte Schätzungen der Abstände mit zwei an einander gelegten Zwei-Meterstäben oder einem Bandmaaße ausgeführt wurden. Man darf jeden Skalenabstand auf höchstens 1/10000 als sicher ansehen.

Skalenabstände des Multiplikators und der Tangentenbussole 1886.

Multiplikator 1886 I	Jan. 31	Feb. 1	Feb. 2	Feb. 9
Vom Aufhängedraht zur Skale	3006,38	3006,31	3006,30	3005,97 mm
Correction (§ 55 a)	- 12,09			
$A =$	2994,29	2994,22	2994,21	2993,88 mm

Tangentenbussole 1886 I (Magnetometer Nr. I).

Von der Spiegelfläche zur Skale	3002,15	3002,16	3002,05	3002,75 mm
Correction (§ 55 b)	- 1,33			
Wegen Spiegelneigung	+ 0,07			
$A' =$	3000,89	3000,90	3000,79	3001,49 mm
$\frac{A'}{A} =$	1,00220	1,00223	1,00220	1,00254.

In der Verticalebene der Skale war nämlich die Spiegelnormale um  $N = + 6$  mm, die Visirlinie um  $F' = - 30$  mm über der Spiegelmitte. Die Correction wegen Spiegelneigung beträgt also

$$N(N - F')/3000 = + 0,07 \text{ mm.}$$

Multiplikator 1886 II	Aug. 6	11	16
Vom Aufhängedraht zur Skale	3001,31	3001,37	3001,20 mm
Correction (§ 55 a)	- 12,20		
$A =$	2989,11	2989,17	2989,00 mm

## Tangentenbussole 1886 II (Magnetometer Nr. III).

	Aug. 6	11	16
Von der Vorderfläche des Spiegels	2991,13	2991,29	2990,90 mm
Correction (§ 55 b)			
Wegen Spiegelneigung			
	$A' = 2990,40$	2990,56	2990,17 mm
	$\frac{A'}{A} = 1,00043$	1,00046	1,00039

$$(N = -19 \text{ mm}, F = -56 \text{ mm}, N(N-F)/3000 = -0,23 \text{ mm.})$$

Skalenabstände der Magnetometer für  $M/H$ .

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

Auch die Spiegelneigung kann, da die Skalen gleich hoch lagen, für jedes Instrument gleich zusammen behandelt werden.  $F$  und  $N$  bedeuten wieder die Höhen der Visirlinie und der Spiegelnormale über der Spiegelmitte. Der Skalenabstand ist ungefähr  $A = 3000$  mm. Die Correction wegen Spiegelneigung ist dann  $+ N(N-F)/A$ . Unter diesen Zahlen steht die Correction des betreffenden Magnetometers für den Skalenabstand, wenn letzterer, wie hier immer geschah, zunächst als Horizontalabstand der Skale vom Cocon gemessen worden war.

Die Zahlen bedeuten hier alle mm.

	1886 Februar		1886 August	
Magnetometer Nr.	II	III*	I	II
$F = +$	61	+ 162	+ 14	+ 18
$N = -$	18	+ 33	- 12	- 13
$\frac{N(N-F)}{3000} = +$	0,47	- 1,42	+ 0,10	+ 0,13
Corr. § 55 b = -	1,16	- 1,08	- 2,31	- 1,16
Summe $\Delta A = -$	0,69	- 2,50	- 2,21	- 1,03
Mittel =	- 1,60		- 1,62	

\* Dies ist allerdings dasselbe Magnetometer wie 1886 II in der Tangentenbussole. Aber im letzteren Falle waren Gewichtchen aufgeklebt, welche die Neigung änderten.

Diese Correctionen sind an den direkt gemessenen Abständen anzubringen. Es ist

1886	Feb. 3	Feb. 6	Feb. 10	Aug. 12	Aug. 13	Aug. 14
Skale bis Cocon	3009,7	3009,2	3009,3	3005,6	3005,5	3005,8
Corrigirt $A =$	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 Skalenabstände östlich und westlich nicht gleich gemacht werden (vgl. § 25), müssen also einzeln aufgeführt werden. Die Correctionen wegen Spiegelneigung aber sind so klein, dass man dieselben mit Mittelwerten gemeinschaftlich behandeln kann. Der Skalenabstand betrug im Mittel etwa 2540, bez. bei der letzten Beobachtung 2020 mm.

Es war	1887 Juli 15 bis Oct. 21	Oct. 30
	Magnetometer Nr. IV	V
	$F = - 8$	$+ 40$
	$N = - 33$	$- 18$
	$N(N-F)/2540 = + 0,33$	$+ 0,43$
	bez. $N(N-F)/2020$	
	Corr. § 55 b	$- 0,98$
	Summe	$- 0,65$
	Mittel $AA =$	$- 0,86$
		IV
		V
		$- 6$
		$+ 44$
		$- 28$
		$- 12$
		$+ 0,32$
		$+ 0,33$
		$- 0,98$
		$- 1,51$
		$- 0,66$
		$- 1,18$
		$- 0,92$ mm

1887 Ost	Juli 15*	16	23	30*	Oct. 21	Oct. 30
Skale bis Cocon	2428,1	2428,1	2428,2	2428,5	2428,1	1926,9
Corrigirt $A =$	2427,0	2427,2	2427,4	2427,4	2427,3	1926,0 mm
West						
Skale bis Cocon	2660,9	2660,7	2660,4	2660,7	2661,0	2118,6
Corrigirt $A =$	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.

Ueber die Einrichtungen dazu vgl. § 15 ff.

\* Juli 15 und 30 verunglückten die Beobachtungen mit Magnetometer Nr. IV durch Reißen des Cocon bez. durch Reibung des nicht gut centrirten Dämpferflügels. Daher ist die Correction  $-1,08$  von Nr. V zu wählen.

Multiplikatorconstante  $G'$  der Tangentenbussole 1886.

58. Das Verfahren bei der Bestimmung des mittleren Halbmessers  $r$  ist früher beschrieben worden.<sup>1)</sup>

Halbmesser  $r$ . Derselbe war früher bei  $13^0 = 20,1440$  cm bestimmt worden, welche Zahl wegen einer Correction der Normaltemperatur des Vergleichsmeters seitens der kais. Normalaichungscommission auf 20,1431 abzuändern ist. Neue Messungen der Herren Kreichgauer und Heydweiller gaben 20,1410 cm. Indem ich der letzteren Messung wegen ihres neueren Datums das doppelte Gewicht beilege, setze ich für die Beobachtungstemperatur

$$\begin{array}{ll} 13^0 & 1886 \text{ I} \quad r = 20,1417 \text{ cm} \\ 20^0 & 1886 \text{ II} \quad r = 20,1442 \text{ cm.} \end{array}$$

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

1886 II stand in der Tangentenbussole des 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 bedeutet,<sup>2)</sup>

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

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

$$\begin{array}{ll} \text{für 1886 I} & G' = 0,31189, \\ \text{für 1886 II} & G' = 0,31181. \end{array}$$

1) F. und W. K. Wied. Ann. Bd. 27, S. 19. 1886.

2) ib. S. 21.

Constante  $G''$  der grossen Tangentenbussole 1887.

**59.** Auf den grossen Rahmen (§ 20) von nahe 160 cm Durchmesser wurden nach dem letzten Abdrehen noch auf der Drehbank 34 Windungen seidebesponnenen Kupferdrahtes aufgewunden, welcher nackt 0,060 und mit der Besspinnung 0,066 cm dick war. Die Breite der Windungslage betrug  $b = 2,40$  cm.

Der Gesamtwiderstand beträgt etwa 12 Ohm. Zur Sicherung gegen Isolationsfehler war der Draht bifilar aufgewunden, so dass jeder Stromübergang zwischen benachbarten Windungen bemerkt werden konnte. Der gegenseitige Isolationswiderstand beider Lagen, zu verschiedenen Zeiten bestimmt betrug mindestens  $4 \cdot 10^6$  bis  $10^9$  Ohm. Wäre ein solcher Nebenschluss ganz an der Eintrittsstelle gelegen, so würde also höchstens  $12/4 \cdot 10^6 = 1/300000$  des Stromes unwirksam gewesen sein. Da der Nebenschluss sich verteilt, so war der Fehler noch kleiner.

Die Kreisgestalt des Rahmens hat sich sehr gut erhalten. An acht Punkten durch die Abmessung von 4 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. Die Fläche, auf welche der Draht aufgewunden wird, hat eine schwach konische Gestalt, indem der Halbmesser am einen Ende etwa  $1/200$  cm kleiner ist als am anderen. Die Umfangmessungen mit dem Bandmaß wurden in der Mitte ausgeführt.

**60.** Halbmesser  $r$ . Das Stahlbandmaß, 0,018 cm dick, 1,3 cm breit, ist von seinem Ende bis zu den bei der Messung verwendeten Mm-Teilstrichen mit dem Comparator sowie auch mittels des gläsernen Zweimeterstabes verificirt.

Nach dem letzten Abdrehen des Rahmens wurde sein 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 Bandmass gefundene Länge des Umfanges wurde durch  $2\pi$  geteilt und dann die halbe Dicke 0,009 des Bandmasses und die halbe Drahtdicke 0,033 cm, zusammen also 0,042 cm, abgezogen.

Der aus lauter Stücken von in Paraffin gekochten Mahagoni-Langholzes verschraubte Rahmen erwies sich nicht ganz so constant, wie ich erwartet hatte. Hätten die Resultate der von Herrn Hildebrand<sup>1)</sup> 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 Paraffinieren gegen hygroskopische Einflüsse nicht genügend.

Der anfängliche Halbmesser von 79,81 cm wuchs in den zwei Monaten bis zu der Verwendung als Tangentenbussole allmählich auf 79,85 und in abermals 3 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 Herrn Hildebrand's Beobachtung dieses Wachstum hervorgebracht haben oder ob eine andere Nachwirkung nach dem Kochen in Paraffin vorliegt.

Von Einfluss sind diese kleinen Aenderungen natürlich nur in so fern, als man den Umfang von Zeit zu Zeit neu messen muss, was übrigens je in 5 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

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

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

1) R. Hildebrand, Wied. Ann. Bd. 34, S. 393, 1888.

## Neigung und Excentricität des Rahmens.

Vgl. hierüber § 20.

**62.** Neigung  $\nu$ . Dieselbe wurde mittels Senkel, welche von dem oberen Rand des Rahmens herabgingen, bestimmt, jedesmal an zwei Stellen. Man fand z. B. Juli 9 diese Neigung  $\nu$  nördlich =  $3,00/151 = 0,0199$ , südlich =  $2,80/151 = 0,0186$ , im Mittel also  $\nu = 0,0192$ . Als Correctionsfactor kommt der Cosinus des Neigungswinkels oder

$$1 - \frac{1}{2}\nu^2 = 0,99982.$$

An den Tagen der Messung war

1887 Juli 13 bis 29	Oct. 19	29
$\nu = 0,0192$	0,0200	0,0197
$\cos \nu = 1 - \frac{1}{2}\nu^2 = 0,99982$	0,99980	0,99981

so dass man ein für allemal 0,99981 setzen kann.

**62 a.** Excentricität  $e$ . Man spannte einen dünnen Faden von dem nördlichen zum südlichen Rande des Rahmens in der Höhe des ost-westlichen horizontalen Holzmaßstabes (Fig. 8) und projecirte so unter Einrechnung der Breite des Holzrandes und der halben Breite der Windungslage die Mitte der letzteren auf diesen Maßstab. Der Aufhänge-draht der Nadel, welcher sich dicht vor demselben Maßstabe befand, wurde ebenfalls auf dessen Teilung projecirt, von dem Unterschiede noch die Neigung des Rahmens von der gemessenen Höhe bis zur Nadelmitte abgerechnet. Der Rest ist die Excentricität  $e$ .

Z. B. traf Oct. 29 der gespannte Faden den Teilstrich 99,45 cm. Hierzu die Randbreite 0,36 und die halbe Breite 1,20 der Windungslage gibt 101,01. Der Aufhänge-draht war vor dem Teilstrich 100,00, also 1,01 cm excentrisch. Da aber die Nadelmitte 17,6 cm unter dem Holzmaßstabe liegt und da sich bis zu dieser Höhe also die Excentricität (vgl. vor. S.) um  $17,6 \cdot 0,0197 = 0,35$  vermindert, so ist  $e = 1,01 - 0,35 = 0,66$  cm.

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 <sub>I</sub>	Juli 21 <sub>II</sub> und 29	Oct. 19	Oct. 29
$e = 0,89$ cm	0,65	0,75	0,66
$1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2} = 0,99981$	0,99990	0,99987	0,99990.

**63.** Nadellänge  $\mathcal{Q}$ . Da die Multiplikatornadel, welche zugleich für die grosse Tangentenbussole dient, eine magnetische Länge gleich etwa dem fünften Teile des Durchmessers hat, so wird die hieraus entspringende Correction beträchtlich, nämlich etwa gleich  $\frac{1}{130}$ . Anstatt Bedenken zu erregen ist dies aber im Gegenteil vorteilhaft, denn die Correction hat im Gesamtergebnisse 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 teilweisen Aufhebung bringen (§ 8 a).

Es ist aber notwendig, die Correction hier gründlicher zu behandeln, als dies bei einer Tangentenbussole mit kurzer Nadel geschieht, insbesondere auch die höheren Correctionsglieder zu berücksichtigen.

Unsere Nadel von der magnetischen Länge  $\mathcal{Q}$  befindet sich symmetrisch neben dem Kreisstrome  $i'$  vom Halbmesser  $r$ . Nach der von Kinkelin gegebenen Formel<sup>1)</sup> beträgt das Drehungsmoment

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

Entwickelt man die Brüche in Reihen und vernachlässigt  $\frac{e^4}{r^4}$  sowie  $\frac{\mathcal{Q}^4 e^2}{r^6} \dots$ , so kommt

$$\frac{2\pi}{r} Mi' \left( 1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2} \right) \left[ 1 + \frac{3}{16} \frac{\mathcal{Q}^2}{r^2} - \frac{9}{8} \frac{\mathcal{Q}^2 e^2}{r^4} + \frac{45}{1024} \frac{\mathcal{Q}^4}{r^4} \right] = \frac{2\pi}{r} Mi' \left( 1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2} \right) \cdot K \quad 19)$$

$e$  und  $1 - \frac{3}{2} \frac{e^2}{r^2}$  siehe oben. Es ist (§ 42)  $\mathcal{Q} = 16,08$ ,  $r$  nahe  $= 79,8$  cm

1) Wiedemann, Elektrizität 3. Aufl. 3. Bd. S. 204. 1883. Unser  $\mathcal{Q}$  ist dort  $= 2l$  gesetzt Wegen der durch die Nullmethode bedingten Symmetriestellung fallen die Glieder mit  $\sin \alpha$  fort.

und der Correctionsfactor  $K$  in der steilen Klammer, welcher hauptsächlich durch das Glied  $\frac{3}{16} \frac{\Omega^2}{r^2} = 0,00762$  bedingt wird, hat, da das mit  $e$  veränderliche Glied  $\frac{9}{8} \frac{\Omega^2 e^2}{r^4}$  bei seiner Kleinheit kaum einen Einfluss hat, den constanten Wert

$$1,00769.$$

**64.** Zahlenwert der Galvanometerconstante des grossen Rahmens. In der Formel

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

die unter § 60 bis 63 gegebenen Werte eingesetzt, erhält man

1887 Juli 13	18	21 <sub>I</sub>	21 <sub>II</sub>	29	Oct. 19	29
$G'' = 2,6947$	2,6946	2,6945	2,6947	2,6946	2,6940	2,6950.

Vergleichung der beiden zur Tangentenbussole gebrauchten Stromkreise.

**65.** Die Tangentenbussole bildet die Grundlage der ganzen Messung. Da die beiden Hauptresultate um 12/10000 auseinandergehen, so hielt ich für gut, noch eine direkte 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 Stromverteilung von dieser Wirkung äusserst unwahrscheinlich ist, dieselbe doch nicht mit unbedingter Sicherheit verneint werden kann, so erschien dies um so mehr geboten.

Es wurden mit Hilfe 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 Bandmass gut ausgemessen werden konnten. Der Isolirwiderstand zwischen den alten und neuen Windungen betrug mehr als  $4 \cdot 10^9$  Ohm.

Der Umfang betrug mit dem Bandmass gemessen 502,11 cm, der hieraus berechnete Halbmesser 79,913 cm. Davon ab die halbe Bandmassdicke 0,009 und die halbe Drahtdicke 0,013 cm bleibt der Halbmesser  $R = 79,891$  cm. Für den zweiten Beobachtungssatz gilt  $R = 79,886$  cm. Zur Messung verwendete ich das Magnetometer III, welches den Polabstand  $l = 1,56$  cm seiner Nadel hat, also beträgt die Galvanometerconstante  $G_2$  der vier Windungen

$$G_2 = \frac{2\pi \cdot 4}{R} \left( 1 + \frac{3}{16} \frac{l^2}{R^2} \right) = 0,31461 \text{ bez. } 0,31463.$$

$G_2$  ist also der Constante des kleineren dicken Stromringes (§ 58) so nahe gleich, dass nun zur Vergleichung beider Stromringe ein durchaus einwurfsfreies einfaches Verfahren gewählt werden konnte.

Beide Stromkreise wurden nämlich genau gegen die Magnetometernadel centrirt vertical nordsüdlich aufgestellt und nun 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 Wert der Tangente des einfachen Ausschlages proportional corrigirt. Dann ist, wenn  $i$  die Stromstärke vorstellt,

$$(G_2 + G') i = C \cdot X \quad (G_2 - G') i = C \cdot x,$$

woraus

$$\frac{G_2}{G'} = \frac{X+x}{X-x} = 1 + 2 \frac{x}{X} + 2 \left( \frac{x}{X} \right)^2 \dots \quad (21)$$

Zwei Beobachtungsreihen bei 17° ergaben die Mittelwerte aus mehreren gut stimmenden Zahlen

$x$	$X$	$G_2/G'$	$x$	$X$	$G_2/G'$
mm	mm				
3,28	747	1,00882	4,93	1103	1,00899
4,03	901	1,00900	5,06	1122	1,00907
3,95	888	1,00894	4,99	1114	1,00900
Mittel		$\frac{G_2}{G'} = 1,00892$			1,00902
woraus		$G' = 0,31183$			0,31182

Der früher aus den Dimensionen des Kupferringes berechnete Wert ist für  $17^{\circ}$  und für das hier gebrauchte Magnetometer (§ 58 am Schluss)

$$G' = 0,31183,$$

so dass ein Unterschied zwischen dem jetzt beobachteten und dem aus der Berechnung folgenden Verhältnis der Galvanometerconstanten beider Stromkreise sich nicht ergeben hat.

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

#### Inconstanz der Galvanometerfunktion.

**66.** Bildet die Galvanometernadel mit der Windungsebene des Multiplikators den Richtungswinkel  $\varphi$ , so ist das Drehungsmoment des Stromes auf die Nadel kleiner als in der maximalen Parallelstellung, um einen Betrag, welcher dem Quadrate von  $\varphi$  proportional ist. Diese Correction kann man in zwei Teile trennen, nämlich erstens in das Heraustreten der Nadelpole aus dem Bereich der Maximalwirkung des Stromes und zweitens in den Umstand, dass die elektromagnetischen Kräfte nicht mehr rechtwinklig am Magnet angreifen. Wir wollen vorläufig beides zusammenfassen und setzen

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

**66 a.** Multiplikator I, 1886. Die Constante  $g$  wurde so bestimmt, wie ich früher angegeben habe.<sup>1)</sup> Derselbe constante Strom durchläuft den Hauptmultiplikator und eine Wiedemann'sche Bussole, deren Empfindlichkeit man durch Regulirung des Rollenabstandes der-

1) Wied. Ann. Bd. 26, S. 431. 1885.

jenigen des Multiplikators nahe gleich gemacht hat. Man dreht nun den Multiplikator auf seiner horizontalen Kreisteilung um gemessene Winkel und beobachtet gleichzeitig die Einstellungen seiner Nadel und derjenigen des Hilfgalvanometers. 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 Scale vom Abstände  $A$  beobachtet worden, stellt also

$$\alpha = 57,03 \cdot \frac{x}{2A}$$

den vorläufig in Bogengraden gemessenen Ablenkungswinkel vor, ist ferner hierbei der Multiplikator aus seiner dem magnetischen Meridiane parallelen Stellung um  $\Phi$  Grade gedreht worden, so ist der Richtungswinkel

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

Wenn  $C$  eine für denselben Strom constante Zahl bedeutet, so wird nun sein

$$G(1 - g \varphi^2) = C \cdot \sin \alpha.$$

In der Parallelstellung ( $\varphi = 0$ ) werde der Ausschlag  $\alpha_0$  beobachtet, so ist ebenso

$$G = C \cdot \sin \alpha_0;$$

also

$$g = \frac{1}{\varphi^2} \frac{\sin \alpha_0 - \sin \alpha}{\sin \alpha_0}.$$

Mit Rücksicht auf

$$\sin \alpha = \frac{x}{2A} \left(1 - \frac{3}{8} \frac{x^2}{A^2}\right) \quad \sin \alpha_0 = \frac{x_0}{2A} \left(1 - \frac{3}{8} \frac{x_0^2}{A^2}\right)$$

kann man hierfür setzen

$$g = \frac{1}{\varphi^2} \frac{x_0 - x}{x_0} \left(1 - \frac{3}{8} \frac{x(x_0 + x)}{A^2}\right)$$

oder endlich, weil  $x$  und  $x_0$  nicht sehr verschieden sind,

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

Die Parallelstellung, wie sich aus den folgenden Versuchen selbst ergibt, war bei  $90^{\circ},0$  der Kreisteilung. Man hatte dieselbe bei  $89^{\circ},9$  geschätzt. Der bei letzterer Stellung beobachtete Ausschlag ist nur um  $0,01$  mm kleiner als der Maximalausschlag  $x_0$ .

Die Stromstärke wurde so gewählt, dass der Nadelausschlag  $4^{\circ},0$  (420 mm an 3000 mm weiter Scale) betrug. Der Richtungswinkel  $\varphi$  ergibt sich also, indem man die Kreiseinstellung von  $90^{\circ},0$  abzieht und je nach der Stromrichtung  $\pm 4^{\circ},0$  zufügt.

Der Correctionsfactor beträgt  $1 - \frac{3}{4} \frac{x_0^2}{A^2} = 0,985$ .

Ein Beobachtungssatz ergab

Ablenkung nach kleinen Zahlen					nach grossen Zahlen				
Kreis	$\varphi$	$x$	$x_0 - x$	$g$	Kreis	$\varphi$	$x$	$x_0 - x$	$g$
		mm	mm				mm	mm	
77 <sup>o</sup> ,9	+8 <sup>o</sup> ,1	408,96	11,88	0,00043	85 <sup>o</sup> ,9	+8 <sup>o</sup> ,1	412,53	11,26	0,00040
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 = 0,000408					Mittel = 0,000422				
Hauptmittel = 0,000415.									

Zwischen den aus kleineren und grösseren Richtungswinkeln erhaltenen Resultaten ist bis  $\varphi = 8^{\circ}$  noch kein Unterschied zu erkennen.

Einige andere Beobachtungen, von denen die letzte nach dem gleich zu beschreibenden Verfahren mit dem concentrisch aufgestellten grossen

1) Die Drehung des Multiplikators wird im allgemeinen an sich schon, teils durch Deckglasverschiebung, teils durch magnetischen Einfluss eine kleine Verschiebung des Skalenbildes verursachen, die man leicht bestimmen und in Rechnung setzen kann. Sie betrug hier nur  $0,1$  Sk.-T. auf  $9^{\circ}$  Drehung. Bei Drehversuchen nach beiden Seiten, wie hier, hebt sich der Einfluss von selbst heraus.

Drahtringe erhalten wurde, ergaben die Werte 0,000409 0,000426 0,000411 0,000410. Im Mittel also würde zu setzen sein

$$0,000414.$$

Der Wert ist bis jetzt auf den in Bogengraden gemessenen Richtungswinkel  $\varphi$  bezogen. Rechnen wir für unsere Zwecke in absolutem Winkelmaß, so wird  $\varphi$  im Verhältnis 57,3 kleiner,  $g$  also im Verhältnis  $57,3^2 = 3283$  grösser. Also ist zu setzen

$$g = 0,000414 \cdot 3283 = 1,360,$$

und

$$G_\varphi = G(1 - 1,360 \cdot \varphi^2). \quad 24)$$

**66 b.** Inconstanz des Multiplikators II, 1887. Einfacher noch als das vorige Verfahren wird die Bestimmung der Inconstanz der Multiplikatorfunktion, indem man die Stromwirkung des Multiplikators auf seine Nadel durch denselben Strom oder einen Zweig desselben, welcher in einer constant stehenden Leitung fliesst, compensirt.

Der grosse Ring (§ 20) lieferte hierzu einfach das Mittel. Der Strom wurde so, wie bei der Bestimmung der Multiplikatorfunktion 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. Die unten mitgetheilten Zahlen sind also Doppelausschläge und zwar immer Mittelwerte aus mehreren Beobachtungen.

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

$$G = C(X - x_0),$$

$$G_\varphi = G(1 - g\varphi^2) = C(X - x),$$

also

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

Beobachtet wurde  $X = 762$  mm; weiter

Kreisstellung	$\varphi$	$x$ mm	$x-x_0$ mm	$g$
83 <sup>o</sup> ,5	— 5 <sup>o</sup> ,94	+ 8,75	11,15	0,000415
86,5	— 2,94	+ 0,36	2,76	418
89,5	+ 0,06	— 2,40		
92,5	+ 3,06	+ 0,56	2,96	415
95,5	+ 6,06	+ 9,32	11,72	418
Mittel				0,000416

Aus der ersten und dritten Spalte nämlich findet man, dass die Symmetriestellung bei der Kreisstellung 89<sup>o</sup>,44 liegt.  $x_0$  ist merklich dem für 89<sup>o</sup>,5 gefundenen Ausschlage gleich.

Ein anderer Satz von Beobachtungen gab für  $\varphi = + 2^0$  und  $+ 4^0$  die Zahlen 0,000429 und 0,000418, im Mittel also 0,000424.

Als Hauptresultat also setzen wir das Mittel 0,000420 und endlich, durch Multiplication mit 3283 (v. S.) für  $\varphi$  in absolutem Winkelmasse

$$g = 1,378$$

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

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 Teilen zusammengesetzt ansehen, nämlich erstens aus der Verminderung des Drehungsmomentes infolge des Drehungswinkels  $\varphi$ , 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 Multiplikatoren durch die um 0,5 verminderten  $g$ , d. h. durch die Zahlen 0,860 und 0,878 gegeben.

## Gegenseitiger Einfluss von Multiplikator und Tangentenbussole 1886.

**67.** Die beiden Instrumente standen nur etwa 5 m auseinander. Den kleinen gegenseitigen Einfluss würde man am einfachsten dadurch eliminieren, dass man mit gleichgerichteten und entgegengerichteten Ausschlägen beobachtete, wenn nicht die Deklinationsschwankungen bei Gegenrichtung die genaue Beobachtung erschwerten. Das Deklinatorium aber kann wegen seiner eigenen Beeinflussung nicht im gleichen Raume aufgestellt werden.

Zwei Bestimmungen der Multiplikatorconstante sind allerdings so ausgeführt worden, dass ein Deklinationsvariometer in einem hinreichend entfernten Raum, um nicht beeinflusst zu werden, aufgestellt und von einem dritten Beobachter nach Glockenzeichen, welche ein Gehilfe gab, zu den richtigen Zeiten abgelesen wurde (1886 August 11 und 16). Aber das war denn doch gar zu umständlich. Deswegen sind die meisten Messungen nur mit gleichgerichteten Ausschlägen gemacht worden, bei denen sich die Deklinationsschwankungen hinreichend herausheben. Der gegenseitige Einfluss wurde durch besondere Beobachtungsreihen bestimmt und in Rechnung gesetzt, wie folgt.

Den Haupteinfluss übt der Multiplikator auf die Tangentenbussole, nicht sowohl durch den Strom selbst als durch den (dem Strom proportionalen) Ausschlag des starken Magnets. Man schloss einen starken Strom bloß durch den Multiplikator und fand z. B. wenn dessen Nadelausschlag  $\pm 515$  mm betrug, bei dem Commutiren einen gleichsinnigen Einstellungsunterschied der Tangentenbussole um 0,40 mm. Ein Ausschlag  $+x$  der Multiplikatornadel bewirkt also eine Ablenkung an der Tangentenbussole  $\Delta x' = +x \cdot 0,20/515 = +0,00039 \cdot x$ . Mehrere solche Sätze gaben diesen Faktor gleich 0,00036 35 39; im Mittel also

$$\Delta x' = +0,00037 \cdot x.$$

Ein Strom in der Tangentenbussole vom Ausschlage  $x'$  bewirkte an dem Multiplikator die Ablenkung

$$\Delta x = +0,00002 \cdot x'.$$

Hier soll zugleich der von den Leitungen auf dem Tische 1886 auf die Tangentenbussole ausgeübte Lokaleinfluss eliminiert werden. Ein starker Strom, der selbst den Ausschlag von ungefähr  $\pm 1500$  mm an der verlängerten Scale bewirkte, lenkte die Nadel um  $\pm 0,23$  mm ab, wenn er nur jene Leitungen durchfloss. Der Einfluss kann also gesetzt werden

$$A_1 x' = + 0,00015 \cdot x'.$$

Wenn nun, wie gewöhnlich, Multiplikator und Tangentenbussole nach derselben Seite ausschlugen, ersterer um  $\alpha$ , letztere um  $\alpha'$ , so hat man wegen der äusseren Einwirkungen für  $\frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha'}$  in der Rechnung zu setzen

$$\frac{\text{tg } \alpha - 0,00002 \text{ tg } \alpha'}{\text{tg } \alpha' - 0,00037 \text{ tg } \alpha - 0,00015 \text{ tg } \alpha'}. \quad (27)$$

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

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

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

$$1,00045 \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha'} \quad \text{bez.} \quad 1,00049 \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha'}. \quad (27a)$$

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

$$\frac{1}{1,00049} \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } \alpha'}. \quad (27b)$$

Controle. Man verglich ad hoc einige gleich- oder entgegengesetzt gerichtete Ausschläge beider Instrumente. Man fand

	gleich	entgegen
Mult.-Ausschlag	554,47	554,47
Tgbuss.-Ausschlag	570,97	570,42

Da die Zähler gleich sind, so müssten die Nenner im Verhältnisse  $1,00049^2 = 1,00098$  stehen. Ihr wirkliches Verhältniss ist  $= 1,00096$ .

1887 war der Abstand der Tischleitungen von der Nadel so gross, dass kein merklicher Einfluss stattfand. Da ausserdem für beide Instrumente die gleiche Nadel diente, so fallen die Correctionen weg.

Galvanometerconstante; Stromabzweignungsverhältnis  $i'/i$ .

68. Der Strom  $i'$  gehe ungeteilt durch die Tangentenbussole (Fig. 4, auch § 15 ff.). In diesem Stromkreis befindet sich ein Stück von 10 Siem. (bestehend aus zehn nebeneinandergeschalteten Widerständen von je 100 Siem.). Zur Vereinfachung der Rechnung will ich diesen Widerstand genau gleich 10 setzen.

Von den Enden desselben ist eine Abzweigung durch den Multiplikator  $w$  und einen diesem zugefügten grossen Widerstand  $R$  geführt. Der Stromzweig im Multiplikator sei  $i$ . Es ist dann das Abzweignungsverhältnis

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

1886. Der Multiplikator war etwa 900 mal empfindlicher als die Tangentenbussole.

Bei den ersten beiden Messungen (Jan. 30 und 31) wurde  $R$  nahe = 10000 genommen. Dieser Widerstand  $R$  war ein Stück aus einer Reihe von zehn Zehntausendern; vgl. Fig. 4, wo die letzteren aber alle nebengeschaltet sind. Das Stück  $R$  soll  $10000_0$  heissen, die übrigen  $10000_1 \dots 10000_9$ .  $10000_0$  muss mit dem Widerstand 10 verglichen werden.

Zuerst verglich man den 100fachen Wert von 10, nämlich die zehn hintereinandergeschalteten Hunderter mit den nebeneinandergeschalteten Zehntausendern,  $\left[\frac{10000}{10}\right]$  genannt. Wenn sich ergeben hatte

$$\left[\frac{10000}{10}\right] = 1000 + \mathcal{A}, \quad 29)$$

so ist also

$$\Sigma[10000] = 100000 + 100 \mathcal{A}. \quad 29a)$$

Nun wurden die Stücke  $10000_1$  bis  $10000_9$  mit  $R = 10000_0$  verglichen. Hierbei sei gefunden worden

$$10000_1 = 10000_0 + \delta_1 \text{ u. s. w. bis } 10000_9 = 10000_0 + \delta_9. \quad 30)$$

Wir setzen

$$\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n = \mathfrak{D}. \quad (31)$$

Dann ist also

$$\Sigma[10000] = 10 \cdot 10000_0 + \mathfrak{D}$$

oder

$$10000_0 = \frac{1}{10} \Sigma[10000] - \frac{1}{10} \mathfrak{D}$$

oder (nach 29 a)

$$10000_0 = 10000 + 10 \mathcal{A} - \frac{1}{10} \mathfrak{D}. \quad (32)$$

Um alle veränderlichen Zuleitungswiderstände auszuschliessen, wurden diese Widerstandsvergleiche so ausgeführt, dass man die zu vergleichenden Stücke nach einander auf einen nahe gleichen Widerstand eines gewöhnlichen Siemens'schen Rheostaten zurückführte. Letzterer befand sich in dem einen Zweige, das andere Stück im anderen Zweige einer gewöhnlichen Differentialverzweigung (Fig. 5). Man beobachtete die Nadeleinstellung ohne Strom, dann diejenige bei Stromschluss, endlich diejenige nach Hinzufügung eines kleinen Rheostatenwiderstandes und interpolirte denjenigen Rheostatenwiderstand, welcher die Nadel auf ihre Nullstellung bringen würde. Genaue Gleichheit der Zweige des Differentialgalvanometers wird wie man sieht bei diesem Verfahren nicht verlangt.

Die sämmtlichen Messungen waren in weniger als 10 Minuten ausgeführt und boten niemals die geringste Schwierigkeit.

Die Vergleichung von  $[10000/10]$  mit  $\Sigma[100]$  wurde immer vor und nach dem Stromdurchgange ausgeführt. Aus den beiden um höchstens  $1/10000$  auseinandergelassenen Resultaten wird das Mittel genommen. Meistens wurden auch die Zehntausender vorher und nachher verglichen, wobei nennenswerte Unterschiede nicht vorkamen.

Als Beispiel wird die erste Bestimmung von 1886 Jan. 30 genügen.

Es war

	zu Anfang	zum Schluss
	$\left[\frac{10000}{10}\right] = 1002,12$	1002,08 des Siem. Rheostaten
	$\Sigma[100] = 1000 = 1002,38$	1002,45 " " "
also nach 29	$\mathcal{A} = -0,26$	- 0,37 Siem.
	Mittel $\mathcal{A} = -0,31$ Siem.	

Die einzelnen Zehntausender wurden ferner mit dem Rheostatenwiderstande 10024 verglichen und grösser als dieser gefunden

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
um	-1,9	-0,3	+0,3	-0,4	-0,5	-2,0	+0,2	-0,4	-1,8	-0,7	Siem.
also $\delta =$	+1,6	+2,2	+1,5	+1,4	-0,1	+2,1	+1,5	+0,1	+1,2	„	
$\mathfrak{D} = \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_9 =$	+ 11,5 Siem.										

Also (32)

$$10000_0 = 10000 - 10 \cdot 0,31 - \frac{1}{10} 11,5 = 9995,7.$$

Da der Multiplikatorwiderstand  $w = 1,4$  Siem., so wird das Stromverhältnis  $i'/i$  (28)

$$\text{Jan. 30} \quad \frac{i'}{i} = \frac{9995,7 + 10 + 1,4}{10} = 1000,71.$$

Ebenso wurde gefunden

$$\text{Jan. 31} \quad \frac{i'}{i} = 1000,82.$$

Um die gleichzeitigen Ausschläge von Tangentenbussole und Multiplikator einander noch mehr anzunähern, was wegen der Deklinations- und Stromschwankungen vorteilhaft ist, wurde in der Folge das Abzweigungsverhältnis nahe = 900:1 gemacht. Zu diesem Zwecke bestand der dem Multiplikator zugefügte Widerstand  $R$  aus 10000<sub>0</sub> und der hierneben geschalteten Summe 10000<sub>1</sub> bis 10000<sub>9</sub>. (Fig. 4a).

Die Rechnung wird die folgende sein.  $\mathcal{A}$  und  $\mathfrak{D}$  sollen die frühere Bedeutung haben. Dann ist

$$R = \frac{10000_0 \cdot (10000_1 + \dots + 10000_9)}{10000_0 + 10000_1 + \dots + 10000_9}. \quad (33)$$

Die Einsetzung von 30 bis 32 liefert leicht

$$R = 9000 + 9 \mathcal{A} - 0,08 \mathfrak{D}. \quad (34)$$

Die Beobachtung ergab

Tab. 2. Stromverhältnis  $i'/i$ .

1886	$\Delta$			$\mathcal{D}$	$R$	$\frac{i'}{i}$
	vorher	nachher	Mittel			
Feb. 1	-0,29	-0,27	-0,28	-15,0	8998,7	901,01
" 2	-0,32	-0,32	-0,32	-11,1	8998,0	900,94
" 9	-0,14	-0,20	-0,17	-7,7	8999,1	901,05
Aug. 6	-0,53	-0,66	-0,59	-16,1	8995,9	900,73
" 11 I	-0,83	-0,89	-0,86	-24,3	8994,2	900,56
" 11 II	-0,89	-0,94	-0,91	-23,4	8993,7	900,51
" 16 I	-0,63	-0,75	-0,69	-18,6	8995,3	900,67
" 16 II	-0,75	-0,80	-0,77	-19,0	8994,6	900,60

1887 wurden, um  $i'/i$  nahe = 100 zu machen, Zehntausender sowohl wie Hunderter neben einander verwendet (Fig. 4). Dann ist (29)

$$R = 1000 + \Delta.$$

Man fand

Tab. 2 fortgesetzt

	$\Delta$	$R$	$\frac{i'}{i}$
1887 Juli 13	-1,03	998,97	101,038
18	-0,86	999,14	101,054
21	-0,93	999,07	101,048
29	-1,10	998,90	101,032
Oct. 19	-0,30	999,70	101,107
29	-0,30	999,70	101,108

Formel zur Berechnung der Galvanometerconstante  $G$ .

69 a. 1886 bedeute für den Multiplikator

 $G$  die Galvanometerconstante (S. 684), $i$  die Stromstärke, $H$  die Horizontalcomponente des magnetischen Feldes, $\theta$  das Torsionsverhältnis,

$A$  den Skalenabstand,  
 $x$  bez.  $\alpha$  den Skalenausschlag bez. Ablenkungswinkel,  
während für die Tangentenbussole dieselben Bezeichnungen mit einem Index dienen.

Der Coefficient der Inconstanz von  $G$  mit dem Ausschlage ist für den Multiplikator  $g = 0,860$  (§ 66 a am Schluss) und für die Tangentenbussole  $g' = \frac{1}{16} \frac{l^2}{r^2} = 0,006$ , da  $l = 1,6$  cm (§ 46) und  $r = 20$  cm.

Hiernach bestehen die beiden Gleichungen, indem man die Correction wegen des Lokaleinflusses der Zuleitung und wegen des Wechseleinflusses ganz in den Ausschlag  $\alpha'$  der Tangentenbussole aufnimmt (§ 67),

$$\begin{aligned} iG(1 - 0,860 \alpha^2) &= H(1 + \Theta) \operatorname{tg} \alpha \\ i'G'(1 - 0,006 \alpha'^2) &= H'(1 + \Theta') \operatorname{tg} \alpha' \cdot (1 - 0,00049) \end{aligned}$$

also

$$G = G' \frac{i'}{i} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'} \frac{1 - 0,006 \alpha'^2}{1 - 0,860 \alpha^2} \frac{H}{H'} \frac{1 + \Theta}{1 + \Theta'} \cdot 1,00049 \quad 36) 1)$$

bez. 1,00045 für 1886 Jan. 30 und 31.

Es war nun (§ 47 und 51)

für 1886 Februar	1886 August
$\Theta = 0,00097$	$\Theta' = 0,00022$ ; $\Theta = 0,00320$
$\Theta' = 0,00004$	
$\frac{H}{H'} = 1 + 0,00011$	$\frac{H}{H'} = 1 - 0,00077$ .

Diese Zahlen eingesetzt erhält man den Correctionsfactor

$$\frac{H}{H'} \frac{1 + \Theta}{1 + \Theta'} \cdot 1,00049 = 1,00134$$

für Feb. und = 1,00287 für Aug. Jan. 30 und 31 wird der Factor = 1,00130.

1) In der Rechnung kann man bequemer setzen

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'} \frac{1 - 0,006 \alpha'^2}{1 - 0,860 \alpha^2} = \frac{A' x}{A x'} \frac{1 - \frac{1}{4} \frac{x^2}{A^2}}{1 - \frac{1}{4} \frac{x'^2}{A'^2}} \frac{1 - 0,006 \frac{x'^2}{4A^2}}{1 - 0,860 \frac{x^2}{4A^2}} = \frac{A' x - 0,0000000039 x^3}{A x' - 0,0000000276 x'^2},$$

letzteres mit Rücksicht darauf, dass die Skalenabstände  $A$  und  $A'$  nahe 3000 mm betragen.

Entgegengerichtete Ausschläge Aug. 11 und 16. Hier kommt 1,00049 in den Nenner und der Factor wird

$$1,00190.$$

**69b.** Bei der grossen Tangentenbussole 1887 fallen die Correctionen weg. Grosse Ausschläge werden auf eine Grösse proportional der Tangente corrigirt. Skalenabstand  $A = 2600$  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).<sup>1)</sup>

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

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

#### Galvanometerconstante; Beobachtungen.

**70.** 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.

Die Skalenabstände sind in § 56 enthalten.

Die Einzelbeobachtungen stimmten stets gut zusammen, so dass sie nicht mitgeteilt zu werden brauchen.

Tab. 3 a bis c enthält die Resultate. Tab. 3 a und b gibt erst die beobachteten Doppelausschläge  $2x$  und  $2x'$  für Multiplikator und Tangentenbussole, an jedem Tage mindestens zwei Bestimmungen.

Darunter steht mit der Bezeichnung  $v$  das Verhältnis  $\text{tg } \alpha / \text{tg } \alpha'$  multiplicirt mit sämmtlichen Correctionen der Formel 36. Es ist also

$$G = v \cdot G' \frac{i'}{i}.$$

Tab. 3 c wird durch § 69 b hinreichend erläutert.

1) Corrigirt auf tangens und wegen Inconstanz der Multiplikatorfunction um  $-0,000000022 \cdot X^3$ .

Tab. 3a. Galvanometerconstante in  $[\text{cm}^{-1}]$ .

1886	Jan. 30	Jan. 31	Feb. 1	Feb. 2	Feb. 9						
	mm										
$2x =$	180,56	333,66	335,15	455,52	374,64	543,78	494,34	358,05	359,22	500,79	502,29
$2x' =$	206,05	381,28	382,79	520,61	385,38	559,72	508,66	368,23	369,41	515,35	516,90
$v =$	0,87936	0,87874	0,87920	0,87929	0,97622	0,97656	0,97657	0,97634	0,97673	0,97683	0,97681
$G =$	274,53	274,34	274,51	274,54	274,41	274,51	274,49	274,42	274,56	274,59	274,58
Mittel $G =$	274,44		274,53		274,46		274,46			274,58	

Tab. 3b.

1886	Aug. 6	Aug. 11				Aug. 16					
	Gleich	Entgegen		Gleich		Entgegen		Gleich			
	mm										
$2x =$	371,03	244,47	534,26	383,00	554,05	387,37	561,98	383,68	547,07	388,97	553,58
$2x' =$	381,54	251,32	549,79	393,68	569,95	398,50	578,59	394,14	562,54	400,05	569,95
$v =$	0,97651	0,97635	0,97676	0,97608	0,97632	0,97624	0,97652	0,97660	0,97659	0,97642	0,97637
$G =$	274,26	274,21	274,33	274,09	274,15	274,11	274,19	274,26	274,26	274,19	274,18
Mittel $G =$	274,27				274,13				274,22		

Tab. 3c.

1887	Juli 13	Juli 18	Juli 21	Juli 29	Oct. 19	Oct. 29		
	mm							
$2x_0 =$	2,423	1,578	2,367	2,409	2,328	2,380	1,982	2,292
$2x' =$	750,1	970,2*	747,7	766,4	761,1	757,7	769,9	767,8
corrigirt =	746,4	965,7	744,0	762,3	757,1	753,7	765,8	763,7
$1 + \frac{x_0}{x'}$	1,00324	1,00327	1,00319	1,00316	1,00308	1,00316	1,00259	1,00300
$G =$	273,15	273,16	273,16	273,13	273,14	273,09	273,09	273,31

\* Juli 13 II ist der Fall, in welchem  $X$  für  $x'$  beobachtet und  $(X + x_0)/(X - x_0)$  zu rechnen ist.

**70 a.** Zur Prüfung vollkommener Isolation wurde 1887 Juli 13 eine Messung so angestellt, dass sowohl die Hunderter als die Zehntausender hintergeschaltet waren, so dass die Verzweigungswiderstände 1000 und ungefähr 100000 betragen. Ein Isolationsfehler hätte nun einen erheblich anderen Wert für  $G$  ergeben müssen. Die Ausschläge waren jetzt freilich klein; man stellte eine grössere Zahl von Beobachtungen an.

Das Stromverhältnis ist jetzt (§ 68, Formel 28)

$$\frac{i'}{i} = \frac{R + w + 1000}{1000}.$$

Nun war  $R = 100000 + 100 A$  (Formel 29 a). Da  $A = -1,03$ ,  $w = 1,4$ , so ist  $i'/i = 100,90$ . Beobachtet wurde  $2x_0 = 0,241$   $2X = 101,2$ . Also kommt (Formel 37)

$$G = G'' \frac{i'}{i} \frac{X + x_0}{X - x_0} = 273,19,$$

d. h. ein innerhalb der Fehlergrenze mit dem anderen übereinstimmender Wert.

#### Mittelwerte der Multiplikatorconstante $G$ .

**70 b.** Die Zahlen zerfallen in vier Gruppen. 1886 Jan. 30 bis Feb. 2, dann Feb. 9 für sich, da der Magnet hier frisch aufgehängt wurde. Weiter 1886 August, wo der Magnet mit den Gewichten beschwert war und 1887 der Multiplikator Nr. II mit constant aufgehängtem Magnet.

Innerhalb der einzelnen Gruppen stimmen die Resultate so gut man erwarten darf überein. Nur der letzte Wert 1887 Oct. 29 weicht um 0,00055 von dem Mittelwerte ab, also um einen grösseren Betrag als die einfache Versuchsanordnung hier erwarten lässt.<sup>1)</sup>

Die Stellung des Magnets zum Multiplikator wurde immer nach Höhe und Seitenverschiebung controlirt. Besondere Versuche hatten gezeigt,

---

1) Vor dieser Bestimmung waren die Instrumente durch Unvorsichtigkeit verschoben worden. Ein Versehen bei der Neu-Orientirung ist freilich unwahrscheinlich, aber nicht undenkbar.

dass innerhalb der vorkommenden Aenderungen die Galvanometerconstante auf  $\frac{1}{10000}$  constant war.

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

Ich setze für  $G$  in jeder Gruppe den Mittelwert. Man würde also haben

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

## Verhältnis des Stabmagnetismus zum Erdmagnetismus $\frac{M}{H}$

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

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

Abstand  $a$  des Magnets von den Magnetometern.

71. Gemessen wurde der Abstand  $2a$  der beiden Teilstriche des Zweimeterstabes, vor denen die Magnetometercocons aufgestellt wurden (§ 24). Der Abstand beträgt

1886 Februar	$2a = 199,965$ cm	$a = 99,982$ cm
1886 August	200,010	100,005
1887 August	209,404	104,702
1887 Oct. 21	209,406	104,703
1887 Oct. 30	186,007	93,003

Formeln zur Berechnung von  $M/H$ .

72.  $M'$  sei zunächst der Eigenmagnetismus des Stabes in der Ostwestlage,  $H'$  die Horizontalintensität im Magnetometer,  $\alpha$  der Wirkungs-

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

abstand,  $\mathcal{Q}$  der Polabstand des Stabes,  $l$  derjenige der Nadel,  $\mathcal{D}$  das Torsionsverhältnis des letzteren;  $\varphi$  endlich ihr Ablenkungswinkel. Kommen zwei Nadeln gleichzeitig zur Beobachtung, so gilt für  $H'$ ,  $\varphi$  und  $\mathcal{D}$  das arithmetische Mittel, während  $l$  berechnet wird aus  $l^2 = \frac{1}{2}(l_1^2 + l_2^2)$ .

Dann ist

$$\text{in 1. Hauptlage } \frac{M'}{H} = P_1 \operatorname{tg} \varphi; \text{ in 2. Hauptlage } \frac{M'}{H} = P_2 \operatorname{tg} \varphi. \quad 38)$$

Die Coefficienten  $P_1$  und  $P_2$  bildet man wie ich gezeigt habe<sup>1)</sup> am rationellsten folgendermassen, wobei für die 1. Hauptlage gleich eine kleine aus unsymmetrischer Magnetisirung des Stabes herrührende Correction einbegriffen werden soll.

Die Ablenkungen waren nämlich in der einen Stellung des Magnets grösser als in der entgegengesetzten und zwar betrug die eine etwa 383, die andere 373 mm, wenn der Wirkungsabstand  $a = 93$  cm war. Hieraus ergibt sich die Unsymmetrie der Magnetisirung  $\alpha$  aus  $\left(\frac{93 + a}{93 - a}\right)^3 = \frac{383}{373}$ , also  $\alpha = 0,4$  cm. Wie man leicht nachrechnen kann, wird hierbei das Mittel der beiden Ablenkungen im Verhältnis  $1 + 6 \cdot 0,4^2/a^2 = 1 + 0,96/a^2$  grösser gefunden, als es bei symmetrischer Magnetisirung sein würde. Man hat also  $1 - 0,96/a^2$  als Correctionsfactor.

Hiernach wird

$$P_1 = \frac{1}{2} a^3 (1 + \mathcal{D}) \left(1 - \frac{1}{4} \frac{\mathcal{Q}^2 - \frac{3}{2} l^2}{a^2}\right)^2 \left(1 - \frac{0,96}{a^2}\right), \quad 39 \text{ I}$$

$$P_2 = a^3 (1 + \mathcal{D}) \left(1 + \frac{1}{4} \frac{\mathcal{Q}^2 - 4 l^2}{a^2}\right)^{3/2}. \quad 39 \text{ II}$$

$M/H$  für die Schlussrechnung. 1) An Stelle von  $M'$  ist zu setzen der wegen der Induction durch den Erdmagnetismus corrigirte Wert  $M_0$ <sup>2)</sup>

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

1) Sitz.-Ber. d. k. Akad. 1887, S. 29; Wied. Ann. Bd. 31, S. 614. 1887.

2) Dorn, Wied. Ann. Bd. 17, S. 777. 1882.

Nun ist der Unterschied des Längs- und des Quer-Inductionscoefficienten  $\mu$  und  $\mu'$  (§ 45)

$$\mu - \mu' = 69,6 - 5,4 = 64,2.$$

Für  $H/M'$ , welches sich innerhalb der Grenzen  $1/36600$  und  $1/36900$  hält, kann man den Mittelwert  $1/36800 = 0,0000272$  setzen. Demnach ist für alle Versuche

$$M_0 = M' \cdot 1,00174.$$

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

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

Man erhält mit Rücksicht auf die Kleinheit der Glieder also

$$\frac{M_0}{H_0} = \frac{M'}{H'} (1 + p) \quad \text{wo } p = 0,00174 - \frac{H_0 - H'}{H_0}. \quad (41)$$

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

Zahlenwerte für  $P$  und  $p$ .  $\mathcal{Q}$  ist constant =  $16,08$  cm (§ 42). Entnimmt man die übrigen Grössen der Formeln 39 l aus § 46,  $\mathcal{Q}$  aus § 47,  $a$  aus § 71, so erhält man

Tab. 4.

	Magneto- meter Nr.	l	$\vartheta$	a	P	$\frac{H_0 - H'}{H_0}$	p
1886 Feb.	II u. III	cm 1,6	0,00006	cm 99,982	$P_2 = 1008870$	- 0,00013	+ 0,00187
„ Aug.	I u. II	1,5	0,00009	100,005	1009630	+ 0,00031	+ 0,00143
1887 Juli	IV u. V	1,6	0,00026	104,702	$P_1 = 567360$	- 0,00014	+ 0,00188
Ebenda	nur V	2,0	0,00013	104,702	567330	- 0,00018	+ 0,00192
1887 Oct. 21	IV u. V	1,6	0,00035	104,703	567430	- 0,00014	+ 0,00188
„ Oct. 27	IV u. V	1,6	0,00035	93,003	396420	- 0,00014	+ 0,00188

Zahlenwerte von  $M'/H'$  und  $M_0/H_0$ .

73. Sämmtliche Bestimmungen von  $M/H$  sind in Tab. 5 zusammengestellt.  $x$  ist der in richtigen mm angegebene halbe Doppelausschlag der Magnetometer aus sechs bis zehn gut stimmenden Ablenkungen erhalten. Die Deklinationsschwankungen sind in Abrechnung gebracht; der Einfluss des gedrehten Magnets auf das Deklinationsvariometer war sehr sorgfältig ermittelt worden.

Die erste Zeile zu jedem Tage enthält die zu Anfang, die zweite die zum Schluss der Beobachtungen erhaltene Ablenkung, letztere mit ausgewechselten Magnetometern.\*)  $n$ ,  $s$  oder  $o$ ,  $w$  bedeuten nördliche und südliche oder östliche und westliche Aufstellung des Magnetometers.

1886 ist dann der Mittelwert aus allen vier Ablenkungen gebildet und der mittlere Skalenabstand  $A$  (§ 57) daneben gestellt. 1887 sind die Skalenabstände west und ost ungleich, weswegen zwei Mittel gebildet werden.

1887 Juli 15 und 30 kommt nur Magnetometer V in Rechnung, da das andere in einer Stellung nicht reibungsfrei aufgestellt war.

In den ersten Spalten ist die Temperatur  $t_0$  und der mittlere Stand  $n_0$  des Intensitätsvariometers während der Beobachtungen enthalten (§ 12 und 52). Das letztere wurde vor und zwischen den Ablenkungen mehreremal immer bei nord-südlich gelegtem Magnet abgelesen, also unter den Bedingungen, welche für die Dämpfungsbeobachtungen gelten. Der Stand  $n_0$  des Intensitätsvariometers ist nach § 52 bereits überall auf dieselbe Temperatur dieses Instrumentes reducirt worden.

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.

---

\*) Nur bei dem ersten Satze Feb. 3 wurde jedes Magnetometer nur einseitig beobachtet. Die geklammerten Werte sind aus diesen Ablenkungen und aus den Umstellungen Feb. 6 und 10 abgeleitet worden, nachdem letztere Beobachtungen auf gleiche Temperatur und erdmagnetische Intensität reducirt worden waren.

Tab. 5. Beobachtete Werte von  $M/H$ .

	Temp. $t_0$	Intens. $n_0$	Magnetometer- Ausschlag $x$		Mittel $x$	Scalen- Abstand $A$	$\frac{M'}{H'}$	$\frac{M_0}{H_0}$
1886 Feb. 3*)	$^{\circ}$ 14,05	$^p$ 91,95	Nr. II mm 220,09 n (219,92)	Nr. III mm 220,33 s 220,16)	220,13	3008,1	36864	36933
Feb. 6	11,50 11,30	91,68 92,55	220,38 n 220,58 s	220,52 s 219,85 n	220,33	3007,6	36905	36974
Feb. 10	13,70 14,05	90,02 91,71	220,55 s 220,11 n	219,78 n 220,18 s	220,15	3007,7	36874	36943
1886 Aug. 12	20,36 20,46	97,44 98,30	Nr. I 218,85 n 219,40 s	Nr. II 219,50 s 219,04 n	219,20	3004,0	36787	36839
Aug. 13	18,65 19,14	99,29 99,79	219,37 s 218,83 n	219,01 n 219,32 s	219,13	3003,9	36777	36830
Aug. 14	19,43 19,83	98,75 98,94	218,83 n 219,32 s	219,44 s 218,94 n	219,13	3004,2	36773	36826
1887 Juli 15	22,86 23,01	99,88 100,71	Nr. IV (315,44 o)	Nr. V 343,45 w 315,42 o	$x \begin{cases} \text{west} \\ \text{ost} \end{cases}$ 343,45 315,42	$A \begin{cases} \text{west} \\ \text{ost} \end{cases}$ 2659,8 w 2427,0 o	36593	36664
Juli 16	22,92 22,98	100,90 101,20	343,29 w 315,29 o	315,40 o 343,10 w	343,19 315,35	2659,8 w 2427,2 o	36577	36645
Juli 23	21,25 21,33	99,31 99,50	315,74 o 343,88 w	343,85 w 315,75 o	343,86 315,75	2659,6 w 2427,4 o	36636	36705
Juli 30	23,06 23,98	98,82 99,24	(343,36 w)	315,67 o 343,36 w	343,36 315,67	2659,6 w 2427,4 o	36602	36673
Oct. 21	14,85 15,34	104,27 104,80	316,37 o 344,48 w	344,32 w 316,45 o	344,40 316,41	2660,1 w 2427,3 o	36704	36773
Oct. 27	13,37 13,39	102,44 102,73	361,04 o 395,84 w	395,57 w 361,24 o	395,71 361,14	2117,7 w 1926,0 o	36782	36851

73 a. Schlusswerte  $M/H$ .  $M_0/H_0$  gilt für den mittleren Stand  $t_0$  des Thermometers und  $n_0$  des Intensitäts-Variometers. Sind die Dämpfungsbeobachtungen bei  $t$  und  $n$  angestellt, so ist anstatt  $M_0/H_0$  in die Schlussrechnung einzuführen (§ 43 und 52)

$$\frac{M}{H} = \frac{M_0}{H_0} \left[ 1 + 0,00046 (t_0 - t) + 0,00063 (n_0 - n) \right] \quad 42)$$

Tab. 6 enthält unter  $t_0$  und  $n_0$  die Mittelwerte der Paare in Tab. 5, dann die dort gegebenen  $M_0/H_0$ ;  $t$  und  $n$  sind aus Tab. 8 entnommen. Die beiden Correctionen sind unter  $\Delta_t$  und  $\Delta_n$  gegeben.

Tab. 6. Schlusswerte von  $M/H$ .

	$t_0$	$n_0$	$\frac{M_0}{H_0}$	$t$	$n$	$\Delta_t$	$\Delta_n$	$\frac{M}{H}$
1886								
Feb. 3	<sup>o</sup> 14,05	<sup>p</sup> 91,95	36933	<sup>o</sup> 14,00	<sup>p</sup> 91,49	+ 1	+ 10	36944
6	11,40	92,11	36974	11,46	91,58	- 1	+ 12	36985
10	13,87	90,86	36943	13,95	90,98	- 1	- 3	36939
Aug. 12	20,41	97,87	36839	20,37	97,00	+ 1	+ 20	36860
13	18,89	99,54	36830	18,91	99,73	- 0	- 5	36825
14	19,63	98,84	36826	19,70	99,29	- 1	- 11	36814
1887								
Juli 15. 16	22,94	100,67	36654	22,55	99,32	+ 7	+ 31	36692
22. 23	21,29	99,40	36705	21,03	100,24	+ 4	- 19	36690
30	23,52	99,03	36673	23,53	98,61	- 0	+ 9	36682
Oct. 21	15,09	104,53	36773	15,17	104,11	- 1	+ 9	36781
27	13,38	102,58	36851	13,46	103,08	- 1	- 12	36838

## Schwingungsdauer $\tau$ und logarithmisches Decrement $\Delta'$ bei offener Kette.

74. Die Zeitbestimmung geschah nach einem Chronometer, dessen Gang, 1886 Feb. und 1887 Oct. — 11 sec, sonst — 9 sec täglich betragend. schon durch Multiplikation mit 1,00013 bez. 1,00010 angebracht worden ist.

Fast immer wurde eine Bestimmung vor, eine zweite nach der Dämpfungsbeobachtung ausgeführt.

In Tab. 7 enthalten die ersten Spalten wieder die Temperatur  $t_0$  und den mittleren Stand  $n_0$  des Intensitätsvariometers für die einzelne Bestimmung und darunter die Mittel für beide; die dritte Spalte die mittleren Amplituden während der Schwingungen. Der Skalenabstand beträgt 1886 2990 mm und 1887 2580 mm. Dann folgen die beobachteten Schwingungsdauern und dann die auf kleine Bögen reducirten Werte  $\tau_0$  mit dem Mittelwert darunter, alles in richtigen Sekunden.

$t$  und  $n$  sind wieder die aus Tab. 8 zu entnehmende Temperatur und Intensität während der Dämpfungsbeobachtungen. Diesen Ständen entspricht also die Schwingungsdauer  $\tau$  (§ 43 und 52)

$$\tau = \tau_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} 0,00046 (t - t_0) + \frac{1}{2} 0,00063 (n_0 - n) \right]. \quad (43)$$

Die Correctionen sind unter  $\Delta\tau$  einzeln angegeben.  $\tau$  ist die in die Schlussrechnung einzuführende Schwingungsdauer.

Tab. 7. Schwingungsdauer  $\tau$  und log. Decrement  $\Delta'$  bei offener Kette.

	Temp.	Intens.	Ampl.	Schwingungsdauer		t	$\Delta\tau$ für t u. n	$\tau$	$\Delta'$
	$t_0$	$n_0$		beob.	kl. Schwing.	n			
1886									
Feb. 3	$13^{\circ},80$	92,33	128	8,2099	8,2098	14,00	+ 0,0001	8,2125	0,00184
	14,15	91,23	133	8,2136	8,2135	91 <sup>p</sup> ,49	+ 0,0007		0,00184
	13,97	91,78			8,2117				0,00184
Feb. 6	11 <sup>o</sup> ,51	91,60	157	8,2102	8,2101	11 <sup>o</sup> ,46	+ 0,0000	8,2104	0,00187
	11,39	91,93	176	8,2097	8,2096	91 <sup>p</sup> ,58	+ 0,0005		0,00192
	11,45	91,76			8,2099				0,00189
Feb. 10	13 <sup>o</sup> ,78	89,93	166	8,2160	8,2159	13 <sup>o</sup> ,95	+ 0,0001	8,2144	0,00195
	14,04	91,97	161	8,2130	8,2129	90 <sup>p</sup> ,98	— 0,0001		0,00197
	13,91	90,95			8,2144				0,00196

	Temp.	Intens.	Ampl.	Schwingungsdauer		t n	$\Delta \tau$ für t u. n	$\tau$	$\mathcal{A}'$
	$t_0$	$n_0$		beob.	kl. Schwing.				
1886									
Aug. 12	$20,33$	$96,88^p$	551	13,6240	13,6222	$20,37$ $97^p,00$	$+ 0,0001$ $- 0,0005$	13,6218	0,00210
Aug. 13	$18^0,75$	$99,29$	522	13,6092	13,6076	$18^0,91$	$- 0,0000$	13,6069	0,00211
	$19,05$	$100,72$	289	13,6043	13,6038	$99^p,73$	$+ 0,0012$		0,00208
	$18,90$	$100,00$			13,6057				0,00210
Aug. 14	$19,58$	$98,92$	291	13,6089	13,6084	$19^0,70$	$+ 0,0001$	13,6083	0,00210
	$19,79$	$100,38$	289	13,6054	13,6049	$99^p,29$	$+ 0,0016$		0,00208
	$19,68$	$99,65$			13,6066				0,00209
1887									
Juli 16	$22^0,31$	$98^p,35$	388	13,5755	13,5743	$22^0,55$	$\pm$	13,5714	0,00196
	$22,80$	$100,15$	394	13,5686	13,5674	$99^p,32$	$- 0,0003$		0,00203
	$22,55$	$99,25$			13,5709		$+ 0,0008^*$		0,00199
Juli 22	$20,93$	$99,75$	456	13,5653	13,5637	$21^0,03$	$+ 0,0000$	13,5622	0,00203
	$21,11$	$100,80$	352	13,5600	13,5590	$100^p,24$	$+ 0,0001$		0,00203
	$21,02$	$100,27$			13,5614		$+ 0,0007^*$		0,00203
Juli 30	$23,21$	$98,62$	654	13,5822	13,5788	$23^0,53$	$+ 0,0001$	13,5790	0,00200
	$23,80$	$98,77$	698	13,5822	13,5783	$98^p,61$	$+ 0,0003$		0,00202
	$23,50$	$98,69$			13,5786				0,00201
1887									
Oct. 21	$14,95$	$104,01$	482	13,5505	13,5487	$15^0,17$	$+ 0,0002$	13,5491	0,00192
	$15,28$	$104,41$	383	13,5494	13,5482	$104^p,11$	$+ 0,0004$		0,00204
	$15,11$	$104,21$			13,5484				0,00198
Oct. 27	$13,42$	$102,77$	437	13,5484	13,5469	$13^0,46$	$+ 0,0001$	13,5452	0,00200
	$13,42$	$102,45$	417	13,5487	13,5473	$103^p,08$	$- 0,0020$		0,00200
	$13,42$	$102,61$			13,5471				0,00200

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.

\* 1887 Juli 16 und 22 ist noch eine kleine Correction ( $+ 0,0008$  bez.  $+ 0,0007$  sec) angebracht. Hier ist nämlich  $M/H$  zu anderer Zeit beobachtet und zugleich  $\tau$  noch einmal bestimmt worden (§ 73). Die Correction reducirt den in Spalte 6 enthaltenen Wert auf das arithmetische Mittel beider auf t und n reducirter Schwingungsdauern. Die Correction ist zu unerheblich, um die Gründe zu diesem Verfahren zu entwickeln.

Controlen für  $M/H$  und  $\tau$ .

75. Innerhalb jeder Gruppe blieb der Magnet\*) und das Intensitätsvariometer ungeändert; in jeder Gruppe ist das letztere auf eine constate Temperatur reducirt. Eine gewisse Controle für die einzelnen Bestimmungen von  $M/H$  und  $\tau$  ist also dadurch möglich, dass man die gefundenen Werte auf gleiche Temperatur und gleichen Erdmagnetismus reducirt und vergleicht. Das Resultat erscheint sehr günstig, denn die Abweichungen vom Mittelwert halten sich für  $M/H$  mit Ausnahme von 1886 Feb. 10, wo  $1/3000$  erreicht wird, innerhalb  $\pm 1/5000$  und für  $\tau$  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  $x$  (Tab. 5) der einzelnen Magnetometer, die ja paarweise unter ganz gleichen Bedingungen gebraucht worden sind, mit einander vergleicht. Mit Rücksicht auf Skalenabstand (§ 55 b), Torsionsverhältnis (§ 47), Nadellänge (§ 46) und magnetischem Eigeneinfluss (§ 49) findet man, dass die Ueberschüsse  $\Delta x$  des Skalenausschlages betragen müssten

Magnetometer Nr.	I—II	II—III	IV—V
für $x =$	220	220	330 mm
berechnet $\Delta x =$	— 0,15	+ 0,34	+ 0,05 mm

während man aus den  $x$  der Tab. 5 im Mittel findet

beobachtet $\Delta x =$	— 0,11	+ 0,32	+ 0,03 mm.
-------------------------	--------	--------	------------

Zwei zu anderer Zeit angestellte Vergleichen ad hoc für Nr. II—III gaben für  $x = 290$  mm

berechnet $\Delta x =$	+ 0,30	+ 0,28 mm
beobachtet	+ 0,22	+ 0,19 mm.

Das Vorzeichen von Rechnung und Beobachtung stimmt also stets überein; die Fehler bleiben unter 0,1 mm. Die berechneten Differenzen

\*) Nur 1886 Feb. 8 wurde der Magnet neu aufgehängt.

sind durchschnittlich um 0,05 mm grösser, was einem Fehler von etwa  $1/6000$  in dem Unterschied der angenommenen Instrumentaleinflüsse entsprechen würde. 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 mit Magnetometern angestellt worden sind, die überhaupt so gut wie keinen magnetischen Einfluss zeigten, einen Vorzug einräumen müssen.

### Logarithmisches Decrement $\lambda$ bei geschlossener Kette.

**76.** Allgemeines. Um von der Vergleichung der Multiplikatorleitung mit dem Quecksilberwiderstand zu den Dämpfungsbeobachtungen überzugehen, ist nach Fig. 13 nur die Umlegung eines Quecksilberbügels notwendig, so dass also in beiden Fällen ganz die gleiche Leitung zur Beobachtung kam.

1886 Februar schwingt der Magnet allein mit dem Dämpfungsverhältnis etwa  $k = e^{\lambda} = 4,0$  und der Schwingungsdauer  $\tau = 8,2$  sec. Später kam durch die Belastungsgewichte (§ 13) etwa  $k = 2,2$  und  $\tau = 13,6$  sec.

Die Schwingungen wurden in regelmässiger Aufeinanderfolge mit einem kleinen Magnetinduktor  $N$  (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 Multiplikator oder das Variometer war stets unmerklich. 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 Vibrations-Bewegungen besass, die sich durch die Dämpfungskraft in Drehbewegung umsetzen könnten.

Der Skalenabstand betrug 1886  $A = 2990$  mm; 1887  $A = 2580$  mm.

1886 Februar war die Schwingungsweite nach drei Umkehrpunkten, später nach fünf Umkehrpunkten auf etwa 20 mm gesunken. Der neue Inductionsstoss bewirkte dann mit dem vorhandenen Reste von Bewegung zusammen je nach dem Widerstande der Leitung eine erste Elongation von 310 bis 390 mm.

1886 Februar blieb die Inductorspule immer eingeschaltet. Von da an habe ich eine Aenderung eingeführt. Wenn der Stabmagnetismus nicht ganz constant wäre, so würde die Dämpfung dadurch beeinflusst werden. Es ist äusserst unwahrscheinlich, dass dies der Fall sei, denn die kleine temporäre Aenderung des Magnetismus durch den Inductionsstrom wird vor der ersten Umkehr der Multiplikatornadel vollständig vergangen sein. Aber um ganz sicher zu sein, habe ich später 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 Thermostrome sicher zu vermeiden.

Die ersten Ausschläge schwankten nun freilich, je nach der etwas früheren oder späteren Herstellung des Nebenschlusses um einige mm, aber das ist sogar vorteilhaft, da constante Ablesefehler der Umkehrpunkte bei dieser Abwechslung nicht so leicht vorkommen.

Ein Satz bestand aus etwa 60 beobachteten Umkehrpunkten, zu denen also 12 bis 20 Inductionsstösse notwendig waren.

Die Ausschläge  $x$  werden zuerst von den Teilfehlern befreit, dann auf Bögen reducirt durch Addition von

$$\Delta x = -\frac{1}{3} \frac{x^3}{A^2} + \frac{1}{5} \frac{x^5}{A^4}. \quad 44)$$

Skalenkrümmung. 1887 wird hier eine kleine convexe Krümmung der Skale mit eliminirt (§ 26). Die drei äusseren Umkehrpunkte lagen nämlich um  $\Delta A = 0,43, 0,25$  und  $0,17$  mm, d. h. im Verhältnis zum Skalenabstande  $A = 2580$  mm um  $\Delta A/A = 0,00017, 0,00010$  und

0,00007 weiter vom Spiegel ab als die gleich weiten beiden inneren Punkte. Die beobachteten Ausschläge, welche etwa 310, 140 und 70 mm betragen, sind deswegen vermindert worden um 0,052, 0,014 und 0,005 mm.

### Schwingungsbögen.

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. Auf jeder Seite der Skale liegen eine grösste, eine mittlere und eine kleine 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

$$k_1 = \frac{a_1 - a_2}{b_1 - b_2} \quad k_2 = \frac{b_1 - b_2}{c_1 - c_2} \quad \text{und} \quad k_3 = \frac{a_1 - b_2}{c_1 - b_2} \quad \text{oder} \quad = \frac{b_1 - a_2}{b_1 - c_2}. \quad 45)$$

$k_3$  sei um der Symmetrie willen als Mittelwert aus den letzten beiden Quotienten berechnet.

$k_1$  bietet den Vorteil der grössten Bögen,  $k_3$  den Vorteil, dass die zusammen gehörigen Umkehrpunkte nur um die einfache Schwingungsdauer auseinanderliegen, während zwischen  $a_1$  und  $a_2$  etc. je die dreifache Schwingungsdauer (zusammen 25 sec.) liegt, so dass Schwankungen des Erdmagnetismus also auf  $k_1$  und  $k_3$  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 40 bis 50 mm beträgt und hat deswegen nur das Gewicht  $\frac{1}{2}$  erhalten.

Als Beispiel will ich den letzten Satz Feb. 10. mittheilen, in welchem eine Deklinationsschwankung merklich ist.

Die erste Halbreihe wird bei der Mittelnahme nicht berücksichtigt.

	$a_2$	$b_1$	$c_2$	$a_1$	$b_2$	$c_1$	
	(159,7	583,5	477,1)	843,0	412,0	520,2	
	154,0	584,9	476,9	843,3	2,0	520,1	
	4,0	4,7	6,8	3,1	2,0	19,9	
	3,8	4,4	6,4	2,9	1,7	9,7	
	3,7	4,2	6,2	2,4	1,3	9,5	
	3,5	4,1	6,1	2,3	1,2	9,3	
	3,7	4,0	6,1	2,4	1,3	9,7	
	3,7	4,2	6,5	3,0	2,1	0,3	
	4,3	5,2	7,3	3,9	3,0	1,0	
	5,0	5,7	7,7	3,8	2,9	0,8	
	4,3	5,0	7,0	3,4	2,6	0,8	
	4,9	5,7	7,6	3,8	2,8	0,8	
Mittel	154,08	584,74	476,79	843,11	412,08	520,18	
Teilfehler	±	+ 0,17	+ 0,08	+ 0,17	+ 0,05	+ 0,06	
Corrigirt	154,08	584,91	476,87	843,28	412,13	520,24	mm
Corr. auf Bogen	+ 1,53	- 0,02	±	- 1,49	+ 0,02	±	
Corrigirt	155,61	584,89	476,87	841,79	412,15	520,24	

Die drei Dämpfungsverhältnisse sind also

$$k_1 = \frac{841,79 - 155,61}{584,89 - 412,15} = \frac{686,18}{172,74} \quad k_2 = \frac{584,89 - 412,15}{520,24 - 476,87} = \frac{172,74}{43,37}$$

$$k_3 = \frac{841,79 - 412,15}{520,24 - 412,15} = \frac{429,64}{108,09} \quad \text{und} \quad \frac{584,89 - 155,61}{584,89 - 476,87} = \frac{429,28}{108,02}$$

$$\text{also im Mittel } k_3 = \frac{429,46}{108,05}.$$

1886 August und 1887. Nach jedem Stoss werden fünf Umkehrpunkte d. h. vier Schwingungsbögen beobachtet. Man bildet das Mittel aus je zwei nahegleichen ansteigenden und abfallenden Bögen. Die aufeinander folgenden werden dann durch einander dividirt und liefern 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 Dämpfungsverhältnis aus den kleinen Bögen fast regelmässig etwas grösser ausfiel als aus den andern. 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 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. Die beiden Hauptresultate meiner Arbeit würden einander dadurch näher gerückt werden und das ganze Resultat würde für den Wert des Ohm etwa 0,2 mm Quecksilber weniger ergeben. Indessen würde ich die Massregel doch nicht für hinreichend gerechtfertigt halten.

In den späteren Beobachtungen ist diese regelmässige Abweichung grösstenteils verschwunden.

Reduction des logarithmischen Dekrements auf kleine  
Schwingungsweite nach K. Schering\*).

78. Schwingt der Magnet nach der Gleichung

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

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

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

$S_2$  hat den Wert

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

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 Wert. In dem Werte von  $S_2$  ist  $\mathcal{A}_0$  das natürliche log. Dekre-

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

ment. Formel 47 gilt selbstverständlich auch für die briggschen Logarithmen, mit denen man zuerst rechnet.

Da der Coefficient von  $d\varphi/dt$  dem Quadrate der Multiplikatorfunction proportional ist, und da  $G_\varphi^2 = G^2(1 - 2g\varphi^2)$  ist, so hat man  $m' = 2g$ , d. h. für Multiplikator 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 oberen Dekremente 1886 Februar (Tab. 8 a) werden, wie die Formel 48 voraussetzt, aus zwei aufeinanderfolgenden Elongationen abgeleitet. Die übrigen Dekremente aber sind alle aus zwei ganzen Bögen  $\beta_1$  und  $\beta_2$  als  $A = \log \beta_1/\beta_2$  gewonnen worden. Man findet leicht für diesen Fall, wenn  $z = e^A = 10^\lambda$  das Dämpfungsverhältnis bedeutet,

$$A_0 = A + A_0 S_2 \frac{z^3 + 1}{(z + 1)^3} \beta_1^2. \quad (49)$$

Für die in Betracht kommenden Werte sollen die Correctionsfactoren tabellarisch zusammengestellt werden.

1886 Februar.						
$\lambda = 0,598$	0,600	0,602	0,604	0,606	0,608	0,610
$\lambda S_2 = 0,278$	0,280	0,281	0,282	0,283	0,284	0,286
$\lambda S_2 \frac{z^3 + 1}{(z + 1)^3} = 0,144$	0,145	0,146	0,147	0,148	0,149	0,150
1886 August			1887			
$\lambda = 0,330$	0,335	0,340	0,330	0,335	0,340	
$\lambda S_2 \frac{z^3 + 1}{(z + 1)^3} = 0,0483$	0,0495	0,0507	0,0492	0,0503	0,0515	

Die Elongationen  $\alpha_1$  und die Bögen  $\beta_1$  werden, wenn  $A$  den Skalenabstand vorstellt, für diese Correctionen aus Tab. 8 a bis c als  $\alpha_1 = 2x_1/4A$  und  $\beta_1 = (x_1 + x_2)/2A$  erhalten.

Zahlenresultate für die logarithmischen Dekremente  $A$ .

79. Tab. 8 a bis c gibt in der ersten Spalte die Temperatur des Multiplikators, welche auch für den Magnet gilt (§ 12), ferner den mittleren Stand des Intensitätsvariometers (§ 52) auf dieselbe Temperatur

reducirt wie bei  $M/H$  und  $\tau$ .<sup>1)</sup> In den meisten Fällen ist auch die mittlere Beobachtungszeit angegeben.

Es folgen dann die Umkehrpunkte der Nadel an der Skale als Mittelwerte aus jedem Beobachtungssatz in richtigen mm. Tab. 8 a enthält die beobachteten sechs Umkehrpunkte in einer Spalte. Daneben stehen die auf Bögen reducirten Zahlen (Formel 44). Dann sind die Bögen in mm angegeben und zwar zuerst  $a_1 - a_2$ ,  $b_1 - b_2$ ,  $c_1 - c_2$  und dann die beiden Bögen  $a_1 - b_2$  bez.  $b_1 - a_2$  und  $c_1 - b_2$  bez.  $b_1 - c_2$  schon als Mittelwerte der beiden nahe gleichen Differenzen. Vgl. auch das Beispiel in § 77.

In Tab. 8 b und c sind die zehn beobachteten Umkehrpunkte in zwei Spalten symmetrisch angeordnet. Dann folgen gleich die auf kreisförmige Skalen corrigirten Bögen. Die kleine Correction wegen Skalenkrümmung (§ 76) ist hier schon mit angebracht. Es werde noch bemerkt, dass diese Bögen schon die Mittelwerte der beiderseitigen symmetrisch gelegenen Schwingungen darstellen.

Die briggischen log. Dekremente  $\lambda$  sind zunächst einfach die Differenzen der Logarithmen der Bögen, neben welchen  $\lambda$  steht. Unter „ $\lambda$  corrigirt“ sind die auf kleine Schwingungen nach § 78 reducirten Dekremente zu verstehen. Unter dem Strich findet sich jedesmal das aus den  $\lambda$  unter Berücksichtigung des verschiedenen Gewichtes (§ 77) genommene Mittel.

Die durch Multiplikation dieser Mittelwerte mit dem Modul 2.3026 erhaltenen natürlichen log. Dekremente  $\mathcal{A}$  stehen in der vorletzten Spalte. Zu dem unten gegebenen Mittelwerte von  $\mathcal{A}$  ist der zugehörige Mittelwert der Temperatur und des Intensitätsvariometers aus der ersten Spalte gesetzt.

Ueber den Quecksilberwiderstand  $w$  vgl. § 80.

---

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

Tab. 8a. Log. Dekrement  $\lambda$  bei geschlossenem Multiplikator und Widerstand der Kette  $w$  in  $m/mm^2$  Quecksilber  $0^0$ .Scalenabstand  $A = 2990$  mm.

Zeit Temperatur Intens.-Var.	Umkehrpunkte		Bogen	Brigg. log. Decr. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $\lambda$	Quecksilber- Widerstand $w$
	beob.	corrig. Bogen		beob.	corr. auf kl. Bogen		
1886 Feb. 3 10 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup>	mm 141,86	mm 143,55	mm 719,72				
13 <sup>o</sup> ,85	594,10	594,07	181,59	0,59808	0,59909		
92p,04	480,37	480,37	45,68	0,59935	0,59941		
	865,06	863,27	450,65			1,3797	10 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>
	412,46	412,48	113,63	0,59833	0,59915		14 <sup>o</sup> ,00
	526,05	526,05			0,59918		1,4118 Si.
11 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	144,13	145,79	708,64				11 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>
14 <sup>o</sup> ,15	589,25	589,23	178,94	0,59771	0,59869		14 <sup>o</sup> ,15
90p,95	477,34	477,34	44,98	0,59973	0,59980		1,4122 Si.
	856,10	854,44	443,79			1,3793	
	410,26	410,28	111,96	0,59812	0,59894		
	522,32	522,32			0,59901		
						1,3795	1,4120 Si.
						14 <sup>o</sup> ,00 91p,49	14 <sup>o</sup> ,07
Feb 6 I 12 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	147,37	148,99	694,71				
11 <sup>o</sup> ,51	582,00	581,98	171,64	0,60719	0,60815		
91p,43	475,05	475,06	42,19	0,60938	0,60944		
	845,21	843,70	433,17			1,4011	
	410,31	410,34	106,91	0,60762	0,60841		12 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>
	517,25	517,25			0,60851		11 <sup>o</sup> ,52
1 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	146,45	148,08	694,78				1,3969 Si.
11 <sup>o</sup> ,49	581,14	581,12	171,57	0,60742	0,60838		
91p,65	474,24	474,24	42,18	0,60932	0,60938		
	844,37	842,86	433,17			1,4015	
	409,52	409,55	106,87	0,60779	0,60858		1 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>
	516,42	516,42			0,60866		11 <sup>o</sup> ,47
							1,3964 Si.

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte		Bogen	Brigg. log. Decr. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $A$	Quecksilber- Widerstand $w$
	beob.	corr. Bogen		beob.	corr. auf kl. Bogen		
1 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	mm 146,10	mm 147,73	mm 695,07				
11 <sup>o</sup> ,46	580,93	580,91	171,63	0,60742	0,60839		
91 <sup>p</sup> ,50	474,05	474,05	42,13	0,61001	0,61007		
	844,31	842,80	433,35			1,4019	
	409,25	409,28	106,88	0,60794	0,60872		2 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>
	516,18	516,18			0,60885		11 <sup>o</sup> ,42
							1,3960 Si.
2 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	147,16	148,78	694,75				
11 <sup>o</sup> ,40	581,82	581,79	171,48	0,60762	0,60858		
91 <sup>p</sup> ,73	475,00	475,00	42,08	0,61019	0,61025		
	845,05	843,53	433,11			1,4024	
	410,29	410,32	106,78	0,60812	0,60890		
	517,07	517,08			0,60904		
						1,4017	1,3964 Si.
						11 <sup>o</sup> ,46 91 <sup>p</sup> ,58	11 <sup>o</sup> ,47
Feb. 10							
11 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	158,17	159,65	686,55				
13 <sup>o</sup> ,82	589,16	589,13	172,59	0,59964	0,60056		
90 <sup>p</sup> ,10	481,22	481,22	43,24	0,60115	0,60121		
	347,74	346,19	429,57			1,3833	
	416,52	416,54	107,92	0,59994	0,60070		
	524,46	524,46			0,60075		11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>
							13 <sup>o</sup> ,85
							1,4104 Si.
12 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	155,87	157,37	686,30				
14 <sup>o</sup> ,00	586,68	586,66	172,66	0,59933	0,60025		
91 <sup>p</sup> ,28	478,63	478,63	43,38	0,59993	0,59999		
	845,19	843,68	429,48			1,3820	
	413,98	414,00	108,02	0,59945	0,60020		12 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
	522,01	522,01			0,60018		14 <sup>o</sup> ,00
							1,4109 Si.
12 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	154,08	155,61	686,18				
14 <sup>o</sup> ,02	584,92	584,89	172,74	0,59905	0,59997		
91 <sup>p</sup> ,56	476,87	476,87	43,37	0,60021	0,60027		
	843,28	841,79	429,46			1,3817	
	412,13	412,15	108,05	0,59928	0,60003		
	520,24	520,24			0,60005		
						1,3823	1,4106 Si.
						13 <sup>o</sup> ,95 90 <sup>p</sup> ,98	13 <sup>o</sup> ,93

Tab. 8b.

Skalenabstand  $\Delta = 2990$  mm.

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte		Bogen	Brigg. log. Decrem. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $\Delta$	Quecksilber- Widerstand $w$
	beobachtet			beob.	corr. auf kl. Bogen		
1886							
Aug. 12	mm	mm	mm				
20 <sup>o</sup> ,35	112,25	898,08	570,59	0,33700	0,33746	0,77735	20 <sup>o</sup> ,36 1,4166 Si.
96p,68	685,31	325,05	262,61	0,33749	0,33759		
	422,41	587,87	120,73	0,33801	0,33803		
	543,23	467,17	55,44		0,33760		
	487,78	522,60					
	898,92	114,50	569,60	0,33685	0,33730	0,77703	(20 <sup>o</sup> ,40) (1,4167 Si.)
20 <sup>o</sup> ,39	327,10	686,77	262,25	0,33729	0,33738		
97p,33	589,39	424,07	120,62	0,33804	0,33806		
	468,79	544,76	55,38		0,33746		
	524,22	489,42				0,77719	1,4166 Si.
						20 <sup>o</sup> ,37 97p,00	20 <sup>o</sup> ,36
Aug. 13							
3h 14m							
18 <sup>o</sup> ,82	109,93	897,52	570,80	0,33923	0,33969	0,78281	18 <sup>o</sup> ,86 1,4083 Si.
99p,64	683,26	324,33	261,37	0,34005	0,34015		
	421,57	585,84	119,45	0,34041	0,34043		
	541,21	466,53	54,55		0,33997		
	486,54	520,96					
	114,20	899,89	569,62	0,33919	0,33965	0,78207	18 <sup>o</sup> ,96 1,4087 Si.
18 <sup>o</sup> ,91	685,57	328,12	260,85	0,33950	0,33960		
99p,49	425,22	588,95	119,37	0,33974	0,33976		
	544,64	469,59	54,59		0,33965		
	490,03	524,17					
	115,10	901,31	569,97	0,33903	0,33949	0,78170	(19 <sup>o</sup> ,01) (1,4092 Si.)
19 <sup>o</sup> ,00	687,57	328,91	261,11	0,33927	0,33937		
100p,05	426,10	590,14	119,55	0,33968	0,33970		
	545,68	470,58	54,68		0,33949		
	490,98	525,25				0,78219	1,4085 Si.
						18 <sup>o</sup> ,91 99p,73	18 <sup>o</sup> ,91

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte beobachtet		Bogen	Brigg. log. Decrem. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $A$	Quecksilber- Widerstand $w$
				beob.	corr. auf kl. Bogen		
Aug. 14	mm	mm	mm				
3 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	113,63	896,82					
19 <sup>o</sup> ,62	684,31	326,12	568,25	0,33799	0,33845	0,77934	3 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 19 <sup>o</sup> ,64 1,4126 Si.
99 <sup>p</sup> ,03	423,00	587,17	260,94	0,33824	0,33834		
	542,85	467,46	119,76	0,33874	0,33876		
	487,90	522,31	54,90		0,33846		
3 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	115,75	899,00				0,77910	4 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> 19 <sup>o</sup> ,75 1,4130 Si
19 <sup>o</sup> ,71	686,41	328,35	568,22	0,33785	0,33830		
99 <sup>p</sup> ,05	425,04	589,49	261,02	0,33827	0,33837		
	544,85	496,69	119,78	0,33851	0,33853		
	489,99	524,71	54,94		0,33836		
4 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	117,86	901,69				0,77858	1,4128 Si. 19 <sup>o</sup> ,69
19 <sup>o</sup> ,78	689,16	330,41	568,85	0,33757	0,33802		
99 <sup>p</sup> ,80	427,30	591,97	261,47	0,33809	0,33818		
	547,39	471,93	120,04	0,33835	0,33837		
	492,29	526,99	55,08		0,33813		
						0,77901	1,4128 Si.
						19 <sup>o</sup> ,70 99 <sup>p</sup> ,29	19 <sup>o</sup> ,69

Tab. 8 c.

Skalenabstand  $A = 2580$  mm.

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte beobachtet		Bogen	Brigg. log. Decrem. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $A$	Quecksilber- Widerstand $w$
				beob.	corr. auf kl. Bogen		
1887	mm	mm	mm				10 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>
Juli 16	205,36	824,24					22 <sup>o</sup> ,37
10 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	657,41	371,19	450,93	0,33350	0,33339	0,76874	1,4163 Si.
22 <sup>o</sup> ,44	448,17	580,71	209,22	0,33381	0,33339		
98 <sup>p</sup> ,94	545,07	483,57	97,01	0,33373	0,33375		
	500,10	528,57	44,98		0,33386		10 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 22 <sup>o</sup> ,51 1,4172 Si.

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte		Bogen	Brigg. log. Decr. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $\lambda$	Quecksilber- Widerstand $w$
	beobachtet			beob.	corr. auf kl. Bogen		
	mm	mm	mm				
10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	204,07	824,53	452,09				
22 <sup>o</sup> ,55	657,38	370,40	209,89	0,33324	0,33362		
99 <sup>p</sup> ,30	447,44	580,55	97,33	0,33375	0,33363	0,76823	
	544,67	483,10	45,14	0,33367	0,33369		11 <sup>h</sup> 11 <sup>m</sup>
	499,55	528,26			0,33364		22 <sup>o</sup> ,58
							1,4178 Si.
11 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	204,98	824,06	451,14				
22 <sup>o</sup> ,66	657,60	371,15	209,58	0,33296	0,33334		
99 <sup>p</sup> ,72	447,89	580,93	97,32	0,33317	0,33325	0,76757	11 <sup>h</sup> 37 <sup>m</sup>
	545,14	483,52	45,15	0,33357	0,33359		22 <sup>o</sup> ,76
	499,98	528,65			0,33335		1,4184 Si.
						0,76818	1,4174 Si.
						22 <sup>o</sup> ,55 99 <sup>p</sup> ,32	22 <sup>o</sup> ,55
Juli 22							4 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>
4 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	207,91	826,97	450,26				20 <sup>o</sup> ,96
21 <sup>o</sup> ,00	659,33	374,63	207,74	0,33595	0,33634		1,4081 Si.
99 <sup>p</sup> ,97	451,61	582,70	95,78	0,33625	0,33633	0,77441	
	547,27	486,78	44,16	0,33622	0,33624		4 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>
	503,15	530,98			0,33632		21 <sup>o</sup> ,04
							1,4087 Si.
5 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	209,10	827,85	450,07				
21 <sup>o</sup> ,07	660,40	375,77	207,75	0,33574	0,33612		
100 <sup>p</sup> ,50	452,64	583,84	95,82	0,33610	0,33618	0,77401	5 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>
	548,36	487,89	44,19	0,33616	0,33618		21 <sup>o</sup> ,09
	504,18	532,08			0,33615		1,4091 Si.
						0,77421	1,4086 Si.
						21 <sup>o</sup> ,03 100 <sup>p</sup> ,24	21 <sup>o</sup> ,03
Juli 30							10 <sup>h</sup> 9 <sup>m</sup>
10 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	212,10	831,30	449,35				23 <sup>o</sup> ,26
23 <sup>o</sup> ,38	662,50	379,77	206,00	0,33872	0,33911		1,3951 Si.
98 <sup>p</sup> ,46	456,52	586,10	94,37	0,33902	0,33910	0,78088	
	550,72	491,53	43,21	0,33926	0,33928		10 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>
	507,54	534,77			0,33913		23 <sup>o</sup> ,45
							1,3959 Si.
10 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	209,83	828,26	448,87				
23 <sup>o</sup> ,53	659,78	377,26	205,91	0,33844	0,33883		
98 <sup>p</sup> ,60	483,83	583,44	94,36	0,33887	0,33895	0,78035	11 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>
	548,07	488,93	43,23	0,33900	0,33902		23 <sup>o</sup> ,58
	504,85	532,16			0,33890		1,3965 Si.

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte		Bogen	Brigg. log. Decr. $\lambda$		Nat. log. Decrem. A	Quecksilber- Widerstand w
	beobachtet			beob.	corr. auf kl. Bogen		
	mm	mm	mm				
11 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	208,34	826,08	448,44	0,33828	0,33867		
23 <sup>o</sup> ,67	657,89	375,55	205,79	0,33863	0,33871	0,77986	11 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>
98p,76	452,09	581,64	94,36	0,33871	0,33873		23 <sup>o</sup> ,75
	546,33	487,12	43,26		0,33869		1,3972 Si.
	503,08	530,39				0,78036	1,3962 Si.
						23 <sup>o</sup> ,53 98p,61	23 <sup>o</sup> ,51
1887							
Oct. 21							10 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>
10 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	203,29	820,56	447,57	0,34006	0,34045		15 <sup>o</sup> ,04
15 <sup>o</sup> ,09	652,00	370,93	204,55	0,34032	0,34040	0,78390	1,3965 Si.
104p,04	447,51	575,84	93,43	0,34047	0,34049		11 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>
	540,78	482,22	42,66		0,34044		15 <sup>o</sup> ,14
	498,13	524,90					1,3971 Si.
11 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	204,99	821,27	446,88	0,33984	0,34023		
15 <sup>o</sup> ,18	653,50	372,83	204,34	0,34004	0,34012	0,78336	
104p,09	449,00	577,32	93,39	0,34031	0,34033		11 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>
	542,36	483,87	42,66		0,34021		15 <sup>o</sup> ,22
	499,71	526,53					1,3974 Si.
11 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup>	203,90	820,89	447,43	0,33980	0,34019		
15 <sup>o</sup> ,24	652,30	371,25	204,61	0,33996	0,34004	0,78332	12 <sup>h</sup> 7 <sup>m</sup>
104p,19	447,88	576,34	93,53	0,34046	0,34047		15 <sup>o</sup> ,28
	541,25	482,62	42,71		0,34019		1,3977 Si.
	498,60	525,40				0,78353	1,3972 Si.
						15 <sup>o</sup> ,17 104p,11	15 <sup>o</sup> ,17
Oct. 27							1 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>
1 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	205,31	821,94	447,09	0,34028	0,34067		13 <sup>o</sup> ,45
13 <sup>o</sup> ,46	654,08	373,34	204,23	0,34039	0,34047	0,78424	1,3970 Si.
102p,89	449,70	577,72	93,27	0,34058	0,34060		1 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>
	542,95	484,41	42,57		0,34059		13 <sup>o</sup> ,46
	500,38	526,99					1,3971 Si.
2 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	205,77	823,36	447,62	0,34075	0,34114		
13 <sup>o</sup> ,46	654,27	373,43	204,25	0,34112	0,34120	0,78583	2 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>
103p,16	450,24	578,20	93,12	0,34186	0,34188		13 <sup>o</sup> ,46
	543,25	484,95	42,38		0,34128		1,3973 Si.
	500,92	527,38					

Zeit Temp. Intens.	Umkehrpunkte beobachtet		Bogen mm	Brigg. log. Decr. $\lambda$		Nat. log. Decrem. $A$	Quecksilber- Widerstand $w$
	mm	mm		beob.	corr. auf kl. Bogen		
2h 31m	206,12	823 31	447,36				
13 <sup>o</sup> ,45	654,92	341,19	204,13	0,34076	0,34115		
103P,19	450,80	578,62	93,09	0,34101	0,34109	0,78541	2h 44m
	543,79	485,41	42,45	0,34098	0,34100		13 <sup>o</sup> ,44
	501,38	527,91			0,34110		1,3969 Si.
						0,78516	1,3971 Si.
						13 <sup>o</sup> ,46 103P,08	13 <sup>o</sup> ,45

## Quecksilberwiderstand des Multiplikators.

80. In geeigneter alternirender Weise gegen die absoluten Widerstandsbestimmungen (Dämpfungsbeobachtungen) wurde der Multiplikator mit dem Quecksilberrohre oder den Neusilbernormalen verglichen (§ 35. 37). Dies geschieht durch blosses Umlegen eines Quecksilberbügels, in der durch Fig. 13 angegebenen Verbindung mit dem Differentialgalvanometer im übergreifenden Nebenschluss (§ 36). Der Strom von einer Säule  $E$ , gewöhnlich einem kleinen Daniell, geht durch das Quecksilberrohr  $Hg$  bez. den an derselben Stelle zu denkenden Neusilberwiderstand und die Multiplikatorleitung  $Mu$  hintereinander.<sup>1)</sup> Von den Eintritts- und Austrittsstellen sind Abzweigungen nach dem Differentialgalvanometer  $D_1 D_2$  geführt. Aus dem Rheostaten  $Rh$ , der zu der Multiplikatorleitung 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 mit einander verbunden werden, sucht wieder das zugehörige, dem früheren nahe gleiche,  $R$ , nimmt das Mittel aus beiden und berechnet den Multiplikatorwiderstand  $w$  in Queck-

1) Der Induktor  $N$  ist in der Figur ausgeschaltet. 1886 Feb. ist er natürlich, wie damals bei den Dämpfungsbeobachtungen, eingeschaltet geblieben.

silbereinheiten aus dem in solchen ausgedrückten Widerstande  $\gamma$  von  $Hg$  mit der Beziehung

$$\frac{1}{w} + \frac{1}{R} = \frac{1}{\gamma}.$$

Es ist ganz unnötig hier Einzelheiten mitzuteilen; der Wert  $w$  ist in der letzten Spalte von Tab. 8 a bis c gleich fertig gegeben. Hinzugefügt ist die gleichzeitig abgelesene Temperatur im Multiplikator und in den meisten Fällen auch die Beobachtungszeit.

#### Mittelwerte von $\mathcal{A}$ und $w$ .

81. Man könnte aus den Beobachtungen eines jeden Tages durch Zusammenstellung zusammengehöriger Werte von  $\mathcal{A}$  und  $w$  mehrere Quecksilber-Werte des Ohm berechnen. Indessen wird dies umständlich, weil die  $M/H$  und  $\tau$  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 Multiplikatorwiderstands sich in den einzelnen  $\mathcal{A}$  und  $w$  im richtigen Sinne äussert. Wird  $\mathcal{A}$  kleiner, so wächst  $w$  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 Multiplikators. Mit Ausnahme des ersten Satzes 1886 Feb. 3, wo die zeitliche Symmetrie der Beobachtungen nicht innegehalten worden war, stimmen diese Temperaturen für  $\mathcal{A}$  und für  $w$  immer bis auf höchstens  $0^0,02$  überein. Diese kleinen Differenzen sind dann schliesslich in Rechnung gesetzt, indem die Quecksilberwiderstände  $w$  des Multiplikators unter Zugrundelegung des Temperaturcoefficienten 0,004 für den Kupferdraht auf die für  $\mathcal{A}$  geltende Temperatur corrigirt worden sind. Nur für 1886 Feb. 3 übersteigt diese Correction  $\frac{1}{10000}$ .

Die Schlusszusammenstellung Tab. 9 enthält diese corrigirten Werte.

## Schlussrechnung für den absoluten Widerstand.

82. Es ist nur noch notwendig, die im § 4 gegebene übersichtliche Formel 1 durch Einführung 1) der Luftdämpfung, 2) der Fadentorsion und 3) der Selbstinductionsconstante  $\Pi$  des Multiplikators zu vervollständigen. Die Formel für letztere Correction ist von Dorn entwickelt worden.<sup>1)</sup>

Die Zeichen stellen wieder vor

$G$  die Empfindlichkeitsconstante des Multiplikators,

$\tau$  die Schwingungsdauer der Magnetnadel bei offener Kette für kleine Schwingungen,

$M/H$  das Verhältniß ihres Stabmagnetismus zum horizontalen Erdmagnetismus im Multiplikator, corrigirt nach § 71 und 73 a,

$\Theta$  ihr Torsionsverhältniß,

$A$  ihr natürliches log. Dekrement bei geschlossener Kette bei kleiner Schwingungsweite,

$A'$  dasselbe bei offener Kette.

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

$$A - \frac{\Pi \pi}{W \tau} \frac{A^2}{\sqrt{\pi^2 + A^2}}.$$

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

$$W = \frac{\pi^2}{2} G^2 \frac{1}{\tau} \frac{M}{H} \frac{1}{1 + \Theta} \frac{1}{\frac{A}{\sqrt{1 + \frac{A^2}{\pi^2}}} - \frac{\Pi}{W \tau} \frac{1}{1 + \frac{A^2}{\pi^2}} - A'} \quad 50)$$

Die ganze von der Selbstinduction herrührende Correction beläuft sich 1886 Feb. auf etwa 2/1000, in den anderen Gruppen auf etwa 1/1000. Für das  $W$  im Correctionsgliede des Nenners genügt also ein Näherungswert, den man aus der Quecksilbervergleichung herleiten kann.

1) Dorn, Wied. Ann. Bd. 17. S. 783 1882 und ib. Bd. 22, S. 265. 1884.

Der Selbstinductionscoefficient beträgt (§ 41)

1886 Februar  $\Pi = 17800000$  [cm]

Später (ohne Inductor)  $\Pi = 16800000$  „

## Resultate.

83. Tab. 9 stellt die zur Rechnung gehörigen Werte  $G$  § 70 b,  $\tau$  § 74 Tab. 7,  $M/H$  § 73 a Tab. 6,  $\theta$  § 47,  $A$  § 81 Tab. 8,  $A'$  § 74 Tab. 7 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. 8, wo derselbe in Siemens-Einheiten ausgedrückt war, hier 10000 mal grösser d. h. also in cm/cm<sup>2</sup> Quecksilber 0<sup>0</sup> gegeben.

$\frac{W}{w}$  stellt also den absoluten Widerstand eines cbcm = Würfels Quecksilber von 0<sup>0</sup> dar.

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

Tab. 9 a. Schlussrechnung.

	1886 Feb. 3	Feb. 6	Feb. 10	Aug. 12	Aug. 13	Aug. 14
$G =$	274,472	274,472	274,58	274,207	274,207	274,207 [cm <sup>-1</sup> ]
$\tau =$	8,2125	8,2104	8,2144	13,6218	13,6069	13,6083 sec
$M/H =$	36944	36985	36939	36860	36825	36814 [cm <sup>3</sup> ]
$\theta =$	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
$10^{-5} \cdot W =$	13274	13117	13259	13312	13234	13279 $\left[ \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right]$
$w =$	14116	13964	14107	14166	14085	14128 $\frac{\text{cm}}{\text{cm}^2} \text{ Hg } 0^0$

Also beträgt der absolute Widerstand eines Cubikcentimeters Quecksilbers bei 0° in [cm/sec]:

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

T a b. 9 b.

1887	Juli 16	Juli 22	Juli 30	Oct. 21	Oct. 27
$G = 273,148$	273,148	273,153	273,153	273,153	273,153 [cm <sup>-1</sup> ]
$\tau = 13,5714$	13,5622	13,5790	13,5491	13,5452	sec
$M/H = 36692$	36690	36682	36781	36838	[cm <sup>3</sup> ]
$\Theta = 0,00325$	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	
$10^{-5} \cdot W = 13342$	13253	13135	13149	13147	$\left[ \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right]$
$w = 14174$	14086	13963	13972	13971	$\frac{\text{cm}}{\text{cm}^2} \text{ Hg } 0^0$

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

$$1886 \quad 1 \text{ Ohm} = 1,06405 \text{ Siemens oder } \frac{\text{m}}{\text{mm}^2} \text{ Quecksilber } 0^0$$

$$1887 \quad 1 \quad \text{„} = 1,06274 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{„}$$

Der Unterschied von 0,0013 zwischen beiden Zahlen beruht teilweise natürlich auf den bei den einzelnen Bestimmungen begangenen Beobachtungsfehlern, aber wohl nur zum kleineren Teile. Denn der mittlere Fehler des einzelnen Resultats beträgt 1886  $\pm 0,0004$  und 1887  $\pm 0,0003$ . Die Abweichung scheint also zum grösseren Teile in den Grössen zu stecken, welche, wie Multiplikatorconstante, Polabstand, auch magnetische Lokaleinflüsse und Gewohnheitsfehler bei den Dämpfungs-

beobachtungen in jede Gruppe besonders eintreten. Wenn man berücksichtigt, wie viele Beobachtungsdata hier zusammenwirken, von denen jedes mehrere Hunderttausendtel, einzelne aber auch Zehntausendtel 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 Teile 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. Auch der Umstand ist zu beachten, dass die aus verschiedenen Schwingungswerten erhaltenen log. Dekremente 1887 besser übereinstimmen als 1886.

### Schlussresultat.

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

$$1 \text{ Ohm} = 1,0632 \text{ Siemens oder } \frac{\text{m}}{\text{mm}^2} \text{ Quecksilber } 0^\circ.$$

$$1 \text{ Siemens} = 0,9406 \text{ Ohm.}$$

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

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

so dass 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 Volumeinheit Quecksilber angeben, so ist

$$1 \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2} \text{ Quecksilber } 0^\circ = 94060 \left[ \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right].$$

Die internationale Commission, welche den Wert 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/mm<sup>2</sup> 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 gegenwärtig die Festsetzung zu treffen haben, so würde der Wert 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 Mittelwert entfernen, da also doch keine Sicherheit der Fehlergrenze  $\pm 0,001$  vorliegt, da weiter die Technik keinen wesentlichen Nachteil erleidet, wenn sie vorläufig den Wert 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 Massregel in der technischen 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.

---

## Uebersicht.

Allgemeines . . . . .	629
Uebersicht über das Verfahren . . . . .	633
Galvanometerconstante $G$ . . . . .	633
Verhältnis des Stabmagnetismus zum Erdmagnetismus . . . . .	634
Concentrische Aufstellung des Multiplikators und der Tangentenbussole und Eliminirung der Magnetlänge . . . . .	635
Kritisches . . . . .	636

### Beschreibungen.

Das Galvanometer . . . . .	638
Biflare Windung des Multiplikators . . . . .	639
Magnet . . . . .	639
Drehvorrichtungen . . . . .	640
Einrichtungen zur Bestimmung der Galvanometerconstante . . . . .	641
Verzweigungsreostat. Isolirungen . . . . .	642
Stromabzweigungsverhältnis . . . . .	643
Tangentenbussole 1886 . . . . .	644
Grosse Tangentenbussole 1887 . . . . .	645
Einrichtungen zur Messung von $M/H$ . . . . .	647
Cylindermagnetometer . . . . .	647
Aufstellung und Abstand $a$ der Magnetometer . . . . .	648
Skalenabstände . . . . .	649

### Quecksilberwiderstandsbestimmung.

Quecksilbernormale . . . . .	650
Ausbreitungswiderstand . . . . .	651
Kalibrirung und Quecksilberwägung . . . . .	652
Elektroden. Herstellung des Quecksilbers . . . . .	653
Temperatur . . . . .	653
Widerstand $\gamma$ der Quecksilbernormale . . . . .	654
Widerstandsvergleichung . . . . .	654
Neusilbernormalen, Tab. 1 . . . . .	656
Zeitliche Aenderung derselben . . . . .	661

### Absolute Widerstandsbestimmung.

Selbstinductionscoefficient $II$ . . . . .	662
Polabstand $\mathcal{L}$ des Magnets . . . . .	664

	Seite
Temperaturcoefficient $c$ des Magnets . . . . .	667
Magnetische Inductionscoefficienten $\mu$ . . . . .	667
Ueber die Plötzlichkeit der magnetischen Induction . . . . .	668
Quermagnetisirung $\mu'$ . . . . .	669
Nadellänge und Torsionscoefficient . . . . .	670
Magnetische Instrumentaleinflüsse . . . . .	671
Magnetische Ortseinflüsse . . . . .	675
Zeitliche Aenderungen des Erdmagnetismus . . . . .	677
Controllen für die Dämpfungsbeobachtungen . . . . .	678
Skalenabstände $A$ , Correctionen . . . . .	679
Skalenabstände, Zahlenwerte . . . . .	681
Galvanometerconstante $G$ . . . . .	684
Constanten $G'$ und $G''$ der Tangentenbussolen . . . . .	685
Vergleichung der beiden Tangentenbussolen . . . . .	690
Inconstanz der Galvanometerfunction . . . . .	692
Gegenseitiger Einfluss des Multiplikators und der Tangentenbussole . . . . .	697
Stromabzweignungsverhältnis $i'/i$ ; Tab. 2 . . . . .	699
Formeln zur Berechnung von $G$ . . . . .	702
Beobachtungen von $G$ ; Tab. 3a bis c . . . . .	704
Verhältnis des Stabmagnetismus zum Erdmagnetismus $M/H$ . . . . .	707
Abstände der Magnetometer $a$ . . . . .	707
Formeln für $M/H$ ; Tab. 4 . . . . .	707
Beobachtungen von $M/H$ ; Tab. 5 und 6 . . . . .	710
Schwingungsdauer $\tau$ und log. Dekrement $A'$ bei offener Kette; Tab. 7 . . . . .	713
Controllen für $\tau$ und $M/H$ . . . . .	715
Log. Dekrement $A$ bei geschlossener Kette . . . . .	716
Reduction auf kleine Schwingungen . . . . .	720
Zahlenwerte für $A$ ; Tab. 8a bis c . . . . .	721
Quecksilberwiderstand $w$ des Multiplikators . . . . .	729
Mittelwerte von $A$ und $w$ . . . . .	730
Schlussrechnung für den absoluten Widerstand $W$ des Multiplikators . . . . .	731
Resultate; Tab. 9a und b . . . . .	732
Die beiden Hauptmittel . . . . .	733
Schlussresultat . . . . .	734

#### Berichtigungen.

- S: 9, Z. 8 lies Anordnung statt Anwendung.  
 „ Z. 27 „  $\frac{3}{2} R^2 \left( \frac{1}{r^2} + \frac{1}{a^2} \right)$  statt  $\frac{3}{2} \frac{R^2}{R^2}$ .  
 S. 19, Z. 5 „ § 8a statt § 9.





Fig. 1.

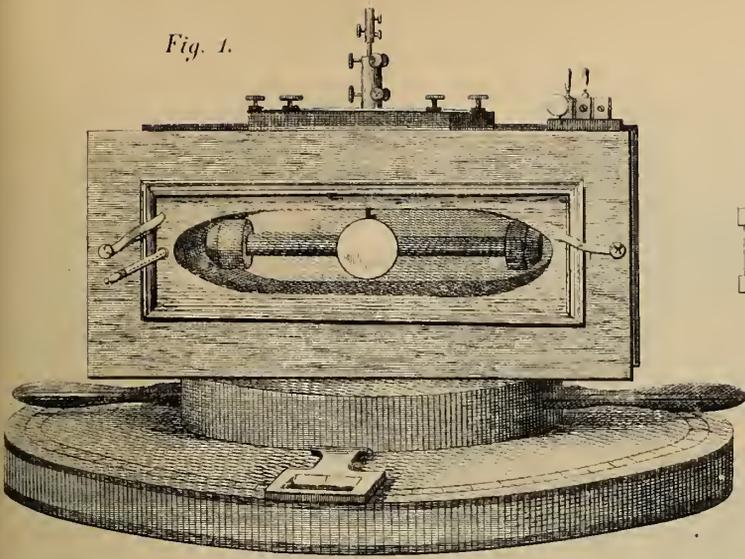


Fig. 2.

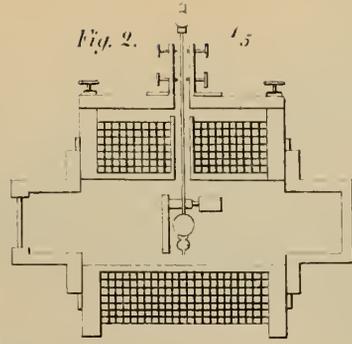


Fig. 6.

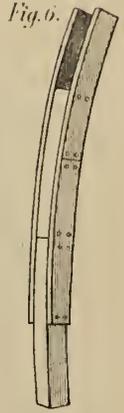


Fig. 3.

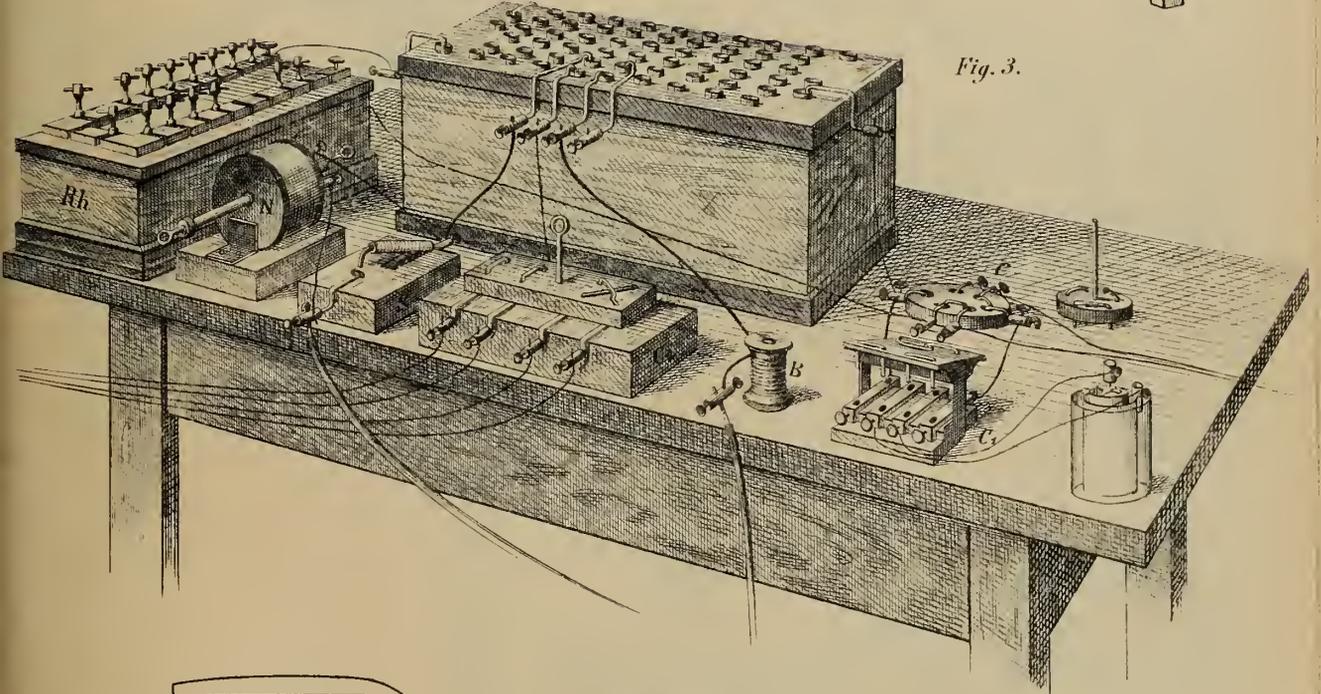


Fig. 5.

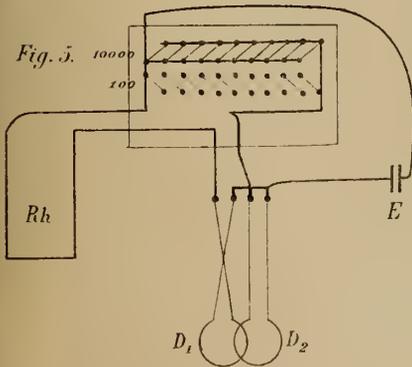


Fig. 4.

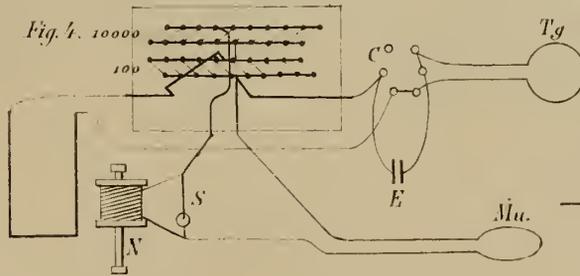
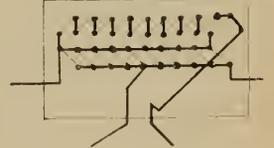
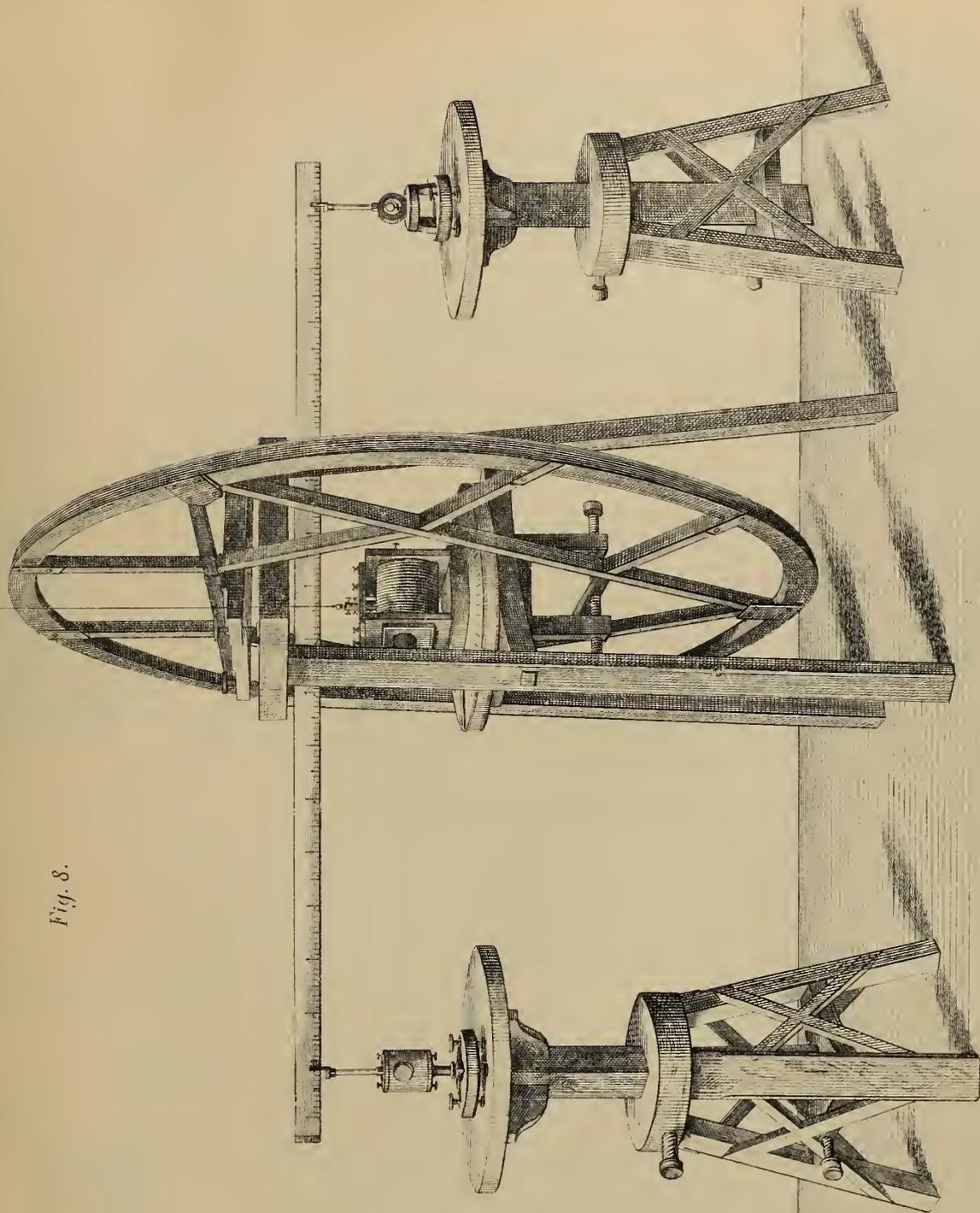


Fig. 4 a

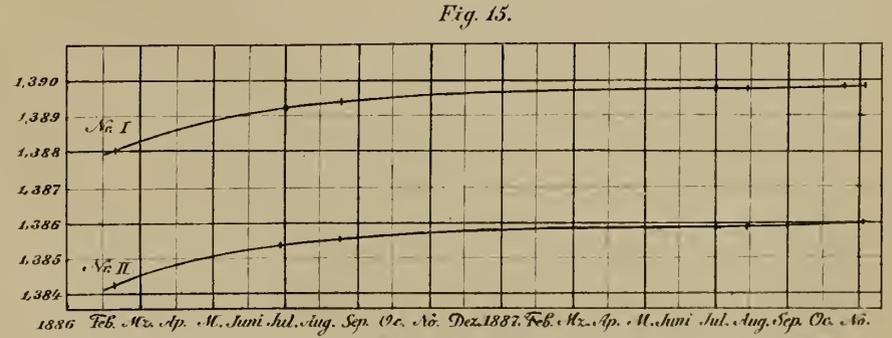
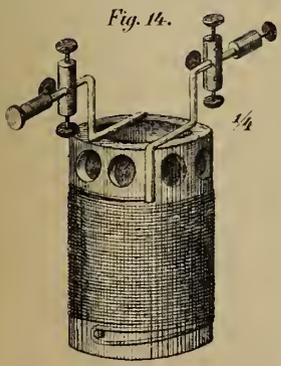
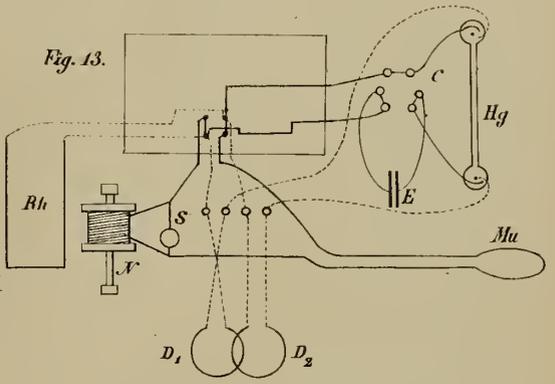
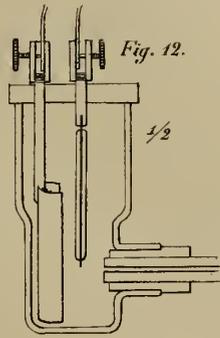
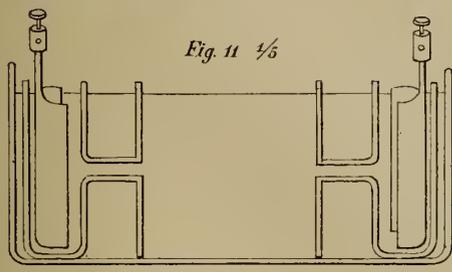
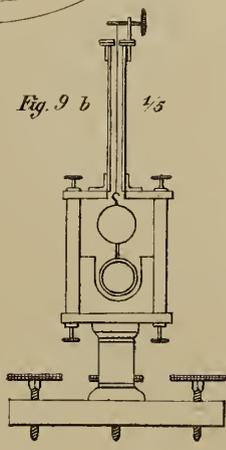
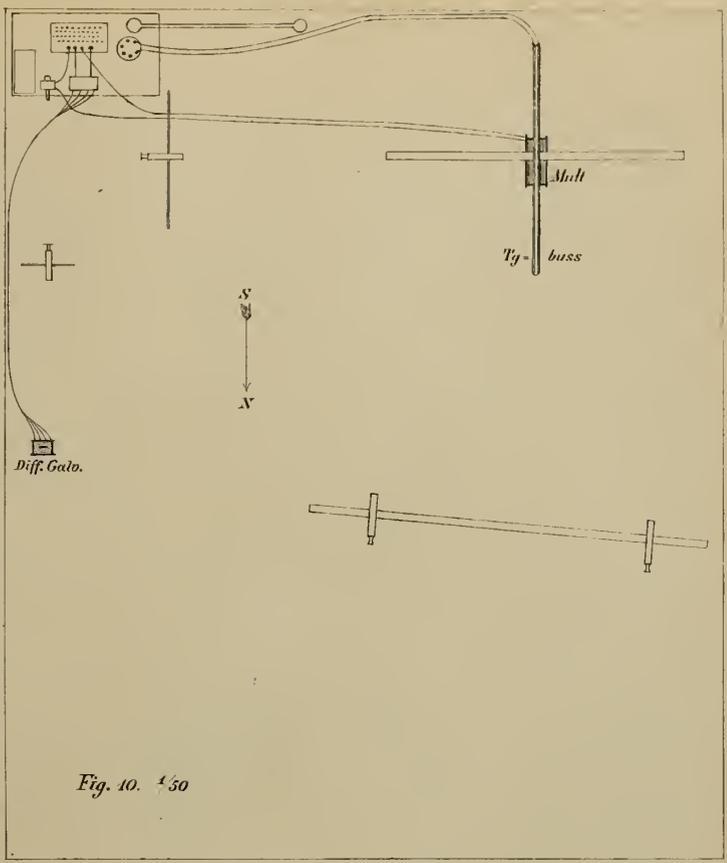
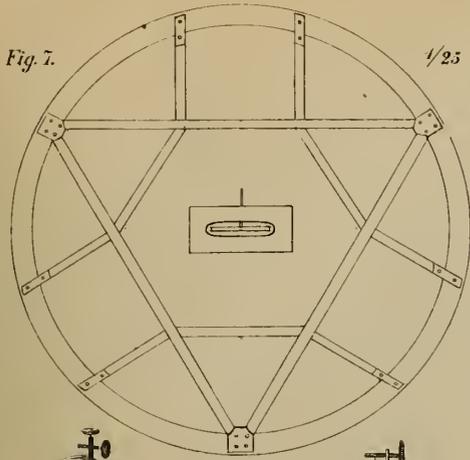






*Fig. 8.*





1886 Feb. Mr. Ap. M. Juni Jul. Aug. Sep. Oc. Nö. Dec. 1887. Feb. Mr. Ap. M. Juni Jul. Aug. Sep. Oc. Nö.